

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи магістра на тему:
**«Електронна система контролю технологічного процесу на малому
виробничому підприємстві»**

Завідуючий кафедрою

Опанасюк А. С.

Консультант

з техніко-економічної частини

Маценко О. М.

Керівник

кваліфікаційної роботи

Опанасюк А. С.

Виконав студент

групи ЕС.м-91

Ковпак О. Ю.

Суми 2020 р.

Сумський державний університет
Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки»
Спеціальність 8.171 «Електроніка»
Освітня програма «Електронні системи та компоненти»

Затверджую:
Зав. кафедрою ЕКТ
Опанасюк А.С.
« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Ковпаку Олександрю Юрійовичу

Тема роботи : «**Електронна система контролю технологічного процесу на малому виробничому підприємстві**»

Затверджена наказом по університету від « ____ » _____ 2020 р. № _____

Термін виконання роботи: 15.12.2020 р.

Початкові дані до роботи: Контроль роботи системи на базі мікроконтролера; моніторинг стану обладнання та режимів роботи; підтримання заданих режимів роботи обладнання; запис інформації про параметри та стан датчиків виробничого процесу в реальному часі; аварійне сповіщення операторів; дистанційне керування обладнанням.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- огляд літератури та постановка задачі проектування;
- розробка алгоритму, структурної та функціональної схеми системи;
- розробка та розрахунок принципової схеми системи.
- розрахунок собівартості системи.

Перелік графічного матеріалу: креслення схеми алгоритму; креслення схеми електричної структурної; креслення функціональної схеми; креслення схеми електричної принципової.

Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділи	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічна частина	Маценко О. М.		

Дата видачі завдання 20.09.2020 р.

Керівник роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Перелік етапів виконання роботи:

Термін виконання:

- | | |
|-------------------------------------------------------|---------------|
| 1. Огляд літератури та постановка задачі проектування | 09.10.2020 р. |
| 2. Науково-дослідницька частина | 19.10.2020 р. |
| 3. Розробка алгоритму функціонування | 26.10.2020 р. |
| 4. Розробка та обґрунтування структурної схеми | 30.10.2020 р. |
| 5. Розробка та розрахунок принципової схеми | 16.11.2020 р. |
| 6. Техніко-економічна частина | 27.11.2020 р. |
| 7. Оформлення пояснювальної записки | 04.12.2020 р. |
| 8. Оформлення графічного матеріалу | 11.12.2020 р. |
| 9. Представлення роботи на рецензування | 15.12. 2020р. |

Студент _____

Керівник роботи _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 81 сторінку, 48 рисунків, 11 таблиць, вступ і 4 розділів тексту.

Графічна частина роботи містить алгоритм, структурну, функціональну та принципову схеми.

У першому розділі проведений огляд літературних джерел по вибраному напрямку проектування.

Другий розділ присвячений науково-дослідній частині.

Третій розділ містить розробку та обґрунтування алгоритму функціонування, структурної, функціональної схеми пристрою, а також вибір елементної бази, розробка схеми електричної принципової, написання програмного забезпечення.

Четвертий розділ містить в собі розрахунки собівартості проектованої системи.

Приведені 21 літературних джерел. За результатами роботи приведено висновки.

Ключові словосполучення: електронна система (electronic system), мікропроцесорна система (microprocessor system), виробничий процес (production process), автоматизована система контролю (automatic control system), виробництво паливного брикету (production of fuel briquettes).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	7
1.1 Проблеми та завдання моніторингу та контролю виробничих процесів	7
1.2 Сучасні системи контролю та моніторингу виробничих процесів.....	8
1.3 Принципи роботи автоматизованої системи контролю технологічними процесами.....	12
1.4 Структура та характеристики лінії виробництва паливного брикету ...	17
1.5 Програмовані логічні контролери	19
1.6 Постановка задачі проектування	23
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	24
2.1 Пропорційно-інтегрально-диференціальне регулювання як складова автоматизованої системи керування	24
2.2 Окремі випадки ПІД-регулювання.....	28
2.3 Модель ПІД регулятора для регулювання температури.....	37
3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОНОЇ СХЕМИ ПРИСТОЮ	46
3.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою	46
3.2 Розробка структурної схеми пристрою	48
3.3 Розробка функціональної схеми пристрою	49
3.4 Вибір елементної бази	52
3.5 Розробка схеми електричної принципової	59
3.6 Розробка програмного забезпечення	64
4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	69
4.1 Розрахунок економічного ефекту проектованого пристрою.....	69
4.1.1 Розрахунок повної собівартості розроблюваного пристрою.....	69
4.1.2 Визначення ціни приладу	73
4.1.3 Визначення річних витрат користувача.....	74
4.1.4 Розрахунок повної ціни користувача.	76

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електронна система контролю технологічного процесу на малому виробничому підприємстві. Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Ковпак О. Ю.					3	81
Перевір.		Опанасюк А. С.						
Т. Контр.								
Н. Контр.		Гапич В. М.						
Затверд.		Опанасюк А. С.				СумДУ, зр. ЕС.м-91		

4.1.5	Оцінка конкурентоспроможності проектного приладу.	76
	ВИСНОВОК.....	79
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	80

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

На сьогоднішній день завдяки стрімкому технічному розвитку та доступності електронних компонентів системи для віддаленого керування, моніторингу та автоматизації набули широкого розповсюдження як в промисловості, так і в побуті.

Системи автоматизації та контролю дозволяють частково або повністю звільнити людину від виконання циклічних процесів, або процесів, що виконуються по строго заданому алгоритму. В даний час важко собі уявити виробництво, де все або частину процесів контролюються без відома людини, повідомляючи його тільки в разі несправності або перед аварійної ситуації.

Розвиток автоматика отримала завдяки промислово-технічного прогресу. Навіть автоматизація в побуті бере свій початок на промислових виробництвах, де прагнення до прискорення процесу і, відповідно, збільшення виручки сприяло впровадженню новітніх на той момент наукомістких засобів автоматизації. Так само автоматизовані виробництва дозволяли вивільняти велику кількість робочих рук, оптимізуючи час і зайнятість персоналу.

Якщо в кінці минулого століття автоматиці відводили роль виконавця рутинних циклічних операцій, то тепер, завдяки розвитку програмно-обчислювальних засобів, автоматизують цілі лінії виробництва, здатні працювати без участі людини.

З недавнього часу активно розробляються, удосконалюються і впроваджуються системи автоматизованого управління технологічними процесами, створеними на базі самого передового мікропроцесорного обладнання. Постійно вдосконалюються обчислювальні потужності систем, удосконалюються пристрої польового рівня, наприклад датчики, перетворювачі, витратоміри.

На відміну від локальних систем автоматики, автоматизована система управління має контроль над усіма вузлами обладнання, відповідно може більш точно запобігати розвитку аварійних ситуацій.

Застосування найостанніших розробок в області мікропроцесорної техніки дозволяє об'єднувати системи автоматизації в АСУ ТП вищого рівня, крім збору та діагностики інформації, такі системи займаються груповим регулюванням роботи агрегатів та інших технологічних схем, злагоджена і безвідмовна робота яких підвищує вироблення продукції.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Промислові програмовані логічні контролери досягли колосальної продуктивності, що в комплексі з резервуванням робить їх роботу максимально безвідмовною і швидкодіючою. Випробовуються і впроваджуються все нові системи автоматизації. Розвиток і здешевлення бази мікроелектронних компонентів дозволяє розробникам експериментувати і створювати все більш досконалі системи.

Особливу увагу варто приділити системам контролю та автоматизації на малих вітчизняних підприємствах, де зазвичай працівники виконують кілька задач одночасно і контроль параметрів виробництва не проводиться належним чином. Це особливо стосується тих підприємств, у яких технологічний цикл, а отже і якість продукції, залежить від режимів роботи двигунів, електричних нагрівачів, транспортерів, тощо. На таких підприємствах задача автоматизації та дистанційного контролю постає особливо гостро, оскільки зазвичай використовується застаріле обладнання, і його модернізацію можливо виконати шляхом інтеграції мікропроцесорної системи керування в уже існуюче обладнання.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Проблеми та завдання моніторингу та контролю виробничих процесів

В умовах зростаючої конкуренції доступність в режимі реального часу оперативної інформації про функціонування промислових комплексів може стати одним з факторів виживання, однак створення відповідної ефективної системи моніторингу доступне лише великим компаніям. Разом з тим відкриті стандарти і хмарні технології дозволяють підприємствам малого і середнього бізнесу створити середовище для оптимізації виробничих процесів.

Сьогодні доступність в режимі реального часу оперативної інформації про функціонування елементів промислових комплексів - не тільки (і не стільки) модне захоплення, а й фактор виживання підприємств. Своєчасна і повна інформація про технологічні процеси дозволяє тримати під контролем параметри виробництва, а також оперативно враховувати і оптимізувати витрати, планувати закупівлі витратних матеріалів та комплектуючих, розподіляти персонал і відстежувати ознаки ймовірних технічних проблем.

Однак далеко не все промислове обладнання, яке є нині на вітчизняних підприємствах, оснащено системами телеметрії або хоча б системами запису «логів» технологічних параметрів. Ще зовсім недавно навіть мікроконтролерні системи моніторингу та управління були рідкістю, а вже про телеметрію через Інтернет або бездротові мережі навіть мови не йшло. Але і сьогодні оснащення верстата засобами телеметрії збільшує його вартість і може виявитися не по кишені більшості покупців.

Крім того, як і раніше немає стандартних інтерфейсів на підключення обладнання до систем дистанційного моніторингу. Більшість невеликих пристроїв, хоча і управляються мікропроцесорними системами, взагалі не мають жодних засобів віддаленого моніторингу технологічних параметрів і процесу функціонування. Безумовно, є «фірмові» стандарти, що поставляються в складі великих виробничих комплексів під ключ, але для України це велика рідкість - особливо в умовах обмежених бюджетів. Переважна більшість діючих виробництв середнього бізнесу оснащується випадковими екземплярами обладнання від випадкових постачальників за принципом «підвернулася вдала пропозиція» і, як правило, були у вжитку. В силу цього не тільки не представляється можливим побудувати систему моніторингу процесів простими

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

засобами, але і взагалі немає яких-небудь стандартних засобів побудови подібних комплексів.

Безумовно, існує величезна кількість промислових комп'ютерних та мікроконтролерних систем, яким до снаги зазначені завдання, але застосування закритих архітектур і різноманітність «фірмових» коштів програмування роблять задачу побудови системи моніторингу справою професіоналів і великих бюджетів, недоступних для більшості малих і середніх виробників.

На відміну від дорогих машин і обладнання, елементи промислової автоматизації дешевшають з кожним днем - датчики різноманітного призначення, приводні системи та системи контролю доступні практично будь-якому покупцеві навіть самого невеликого верстата. Це відкриває широкі можливості для модернізації обладнання не тільки родом з минулого століття, але і цілком сучасного і при цьому недорогого, а тому позбавленого «фірмового» інтелекту. Важливим доповненням до невисоких цін є підтримка галузевих комунікаційних стандартів для датчиків і виконавчих пристроїв автоматизації, що дозволяє застосовувати їх практично без обмеження і незалежно від виробника «мозку» системи - мікроконтролера або керуючого комп'ютера.

Програмно-апаратний комплекс моніторингу, побудований на основі мікроконтролерної системи, відповідає за обслуговування датчиків, первинну обробку інформації і її перетворення в стандартні значення, накопичення і буферизацію даних, а також за обслуговування з'єднання і передачу даних відповідно до встановленого алгоритму і в певному стандарті на сервер в хмарі. Сервер забезпечує віддалений прийом даних апаратної частини, запис даних в базу, обробку отриманої інформації, візуалізацію даних в режимі реального часу, виконання операцій над даними, формування звітів за запитом і форматування даних для подальшої обробки в системах управління.

1.2 Сучасні системи контролю та моніторингу виробничих процесів

Розглянемо функціональні можливості сучасних систем контролю та моніторингу технологічного процесу на основі системи «Моніторинг Онлайн».

Комплекс моніторингу «Моніторинг Онлайн» однаково добре працює як з сучасними верстатами з ЧПУ, так і з обладнанням минулих поколінь, включаючи універсальні верстати. Забезпечується цілодобовий моніторинг з наступними можливостями:

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- дистанційний контроль роботи верстатів в режимі реального часу на ПК;
- автоматичне обчислення коефіцієнта завантаження одного верстата або групи верстатів;
- виявлення причин і тривалості простою виробничого обладнання;
- генерація табличних, текстових і графічних звітів для адміністрації підприємства;
- визначення фактичного машинного і допоміжного часу обробки деталей;
- автоматичне оповіщення про аварійні і позаштатних ситуаціях по електронній пошті;
- інтелектуальна фото і відеозапис виробничого процесу;
- авторизація операторів і документації;
- архів керуючих програм з функцією редагування і прийому / передачі на верстат;
- можливість оцінки виробничої діяльності за критерієм «планфакт».

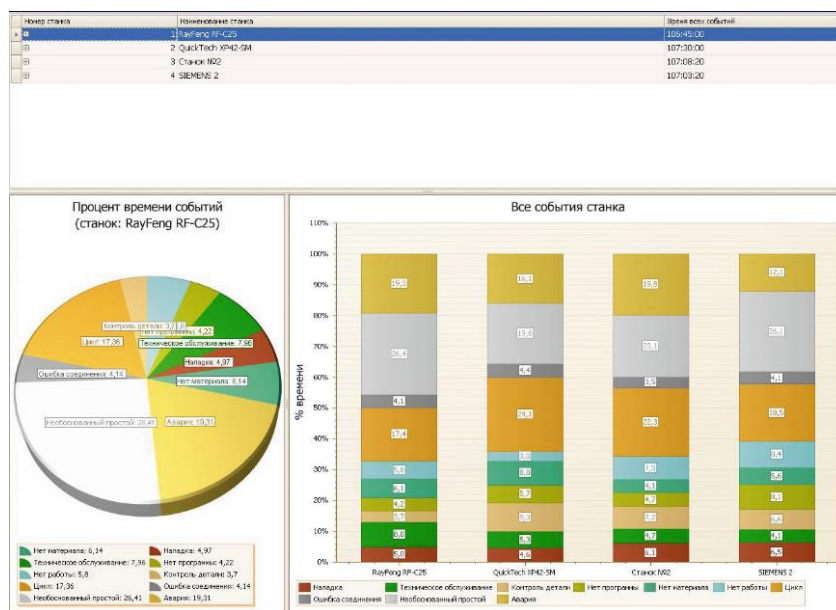


Рисунок 1.1 - Приклад звіту про завантаження устаткування і причини простою

Контроль в режимі реального часу. Встановивши на персональний комп'ютер програму «Моніторинг Онлайн», користувач отримує можливість зі свого робочого місця контролювати в режимі реального часу події, що відбуваються з цеховим обладнанням. Відпадає втомлива необхідність щоранку здійснювати обхід всього верстатного парку: досить натиснути кнопку миші - і вся інформація про роботу верстатів і операторів в наочному вигляді відображається на моніторі. Можливий і віддалений моніторинг: щоб в будь-якій

точці планети отримувати оперативну інформацію про стан виробництва, потрібно мати лише підключення до Інтернету.

Формування звітів та графіків. Програма «Генератор звітів» дозволяє адміністрації підприємства правильно оцінювати різні техніко-економічні параметри виробництва і здійснює випуск звітної документації. Робота з програмою дуже проста і складається з трьох етапів:

- вибір об'єктів - слід вказати назви верстатів або прізвища операторів для формування звіту або графіка;
- вибір часового інтервалу - потрібно за допомогою вбудованого календаря задати дату / час початку і кінця звітної періоду;
- вибір типу звіту - для формування звіту на основі інформації, що зберігається в базі даних на сервері, досить двічі натиснути кнопку миші по ярлику.

У стандартну поставку комплексу входять кілька базових звітів: «Ефективність використання обладнання», «Обґрунтований простий», «Робота поза графіком», «Необґрунтований простий», «Усі події верстата», «Звіт по аваріях», «Ефективність роботи операторів». Сформовані звіти, що містять барвисті 3Dдіаграмми і табличні дані, можуть бути збережені в різних форматах або роздруковані на принтері. Зручний механізм плагінів дозволяє розробнику замовляти будь-які необхідні саме вашому виробництву типи звітів і швидко додавати їх в систему.

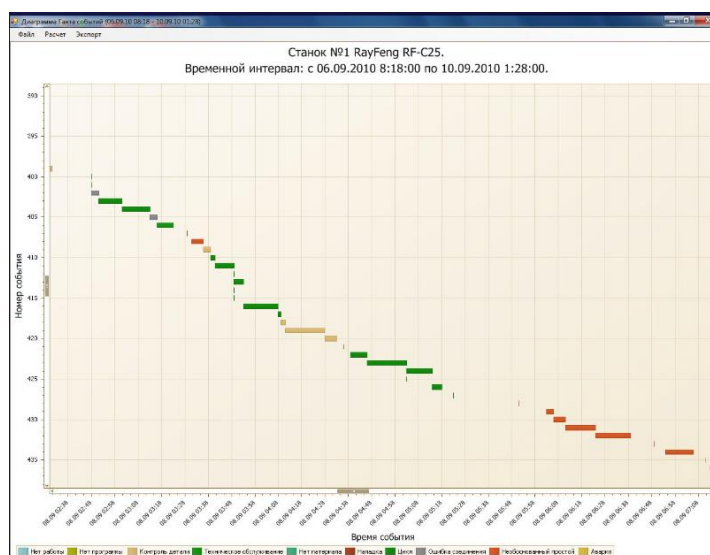


Рисунок 1.2 - Діаграма Ганта подій з конкретним верстатом

Однак сказане зовсім не означає, що комплекс призначений виключно для моніторингу обладнання та персонального контролю над операторами. Функція

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

автоматичного оповіщення дозволяє істотно прискорити роботу деяких цехових служб і оперативно впливати на виникаючі проблеми. Наприклад, якщо на верстаті станеться аварія, система автоматично відправить текстове повідомлення на персональний комп'ютер головного інженера або механіка. Якщо закінчилися заготовки, то оператор може натиснути кнопку «цій сторінці зміст відсутній» на блоці моніторингу, щоб надіслати електронне повідомлення в цехову службу, відповідальну за постачання верстата заготовками. Якщо ж технолог-программіст забуде про необхідність створення і передачі на верстат керуючої програми, то оператор може нагадати йому про це, натиснувши кнопку «Немає програми». Таким чином, комплекс гарантує оперативність вирішення виникаючих проблем, дозволяє швидко відновлювати виробничий цикл і не зривати терміни поставки продукції.

№ станка	Наименование станка	Начало аварии	Конец аварии	Длит-ть	Оператор	Спецобъект	Состояние	Наименование события
		06.09 08:43:01	06.09 09:06:21	0:23:20	Нет оператора			Нет работы
		06.09 11:01:21	06.09 11:09:41	0:08:20			стоп	Контроль детали
		06.09 11:09:41	06.09 11:14:41	0:05:00	Пушкин С.А.			
		06.09 11:14:41	06.09 11:18:01	0:03:20	Нет оператора			
		06.09 12:39:41	06.09 12:43:01	0:03:20			старт	
		06.09 13:13:01	06.09 13:26:21	0:13:20	Краснов Г.А.			
		06.09 13:26:21	06.09 13:26:21	0:00:00	Нет оператора		стоп	Нет работы
		06.09 13:26:21	06.09 13:28:01	0:01:40	Пушкин С.А.			
		06.09 13:28:01	06.09 13:29:41	0:01:40	Нет оператора			
		06.09 16:26:21	06.09 16:28:01	0:01:40			старт	
		06.09 16:28:01	06.09 16:33:01	0:05:00	Пушкин С.А.			
		06.09 19:01:21	06.09 19:09:41	0:08:20	Нет оператора			
		06.09 19:36:21	06.09 19:39:41	0:03:20	Пушкин С.А.		стоп	Контроль детали
		06.09 23:14:41	06.09 23:14:41	0:00:00	Нет оператора			
		06.09 23:14:41	06.09 23:14:41	0:00:00	Краснов Г.А.		старт	
1	Rayfeng RF-C25	07.09 00:51:21	07.09 00:54:41	0:03:20	Савостиков А.В.			
		07.09 02:56:21	07.09 02:56:21	0:00:00	Краснов Г.А.	нет		Нет материала
		07.09 03:04:41	07.09 03:04:41	0:00:00				
		07.09 03:24:41	07.09 03:24:41	0:00:00	Нет оператора		стоп	Наладка
		07.09 03:28:01	07.09 03:28:01	0:00:00	Пушкин С.А.			
		07.09 03:29:41	07.09 03:29:41	0:00:00	Нет оператора			
		07.09 04:53:01	07.09 04:53:01	0:00:00	Пушкин С.А.			Техническое обслужи...
		07.09 08:51:21	07.09 08:56:21	0:05:00	Нет оператора			
		07.09 08:56:21	07.09 08:58:01	0:01:40	Краснов Г.А.		старт	
		07.09 12:21:21	07.09 12:43:01	0:21:40	Пушкин С.А.			
		07.09 12:43:01	07.09 12:48:01	0:05:00	Нет оператора			
		07.09 13:14:41	07.09 13:14:41	0:00:00	Савостиков А.В.			
		07.09 13:18:01	07.09 13:18:01	0:00:00			стоп	Техническое обслужи...
		07.09 13:26:21	07.09 13:29:41	0:03:20	Нет оператора			
		07.09 14:19:41	07.09 14:26:21	0:06:40	Краснов Г.А.			
		07.09 14:26:21	07.09 14:33:01	0:06:40	Нет оператора			
		07.09 14:33:01	07.09 14:44:41	0:11:40	Краснов Г.А.		старт	
		07.09 14:44:41	07.09 14:49:41	0:05:00	Нет оператора			
		07.09 14:49:41	07.09 14:51:21	0:01:40	Краснов Г.А.			

Рисунок 1.3 - Звіт про аварійні ситуації з обладнанням

Впровадження на підприємстві. Сучасна архітектура комплексу «Моніторинг ЧПУ» дозволяє швидко впровадити його на будь-якому підприємстві. При цьому неважливо, яке обладнання ви використовуєте: система дозволяє зв'язати в єдиний інформаційний простір як нові імпортовані обробні центри, так і застарілі радянські верстати з ЧПУ. Простота монтажу пояснюється, по-перше, тим, що всі апаратні засоби перебувають всередині блоку моніторингу, який кріпиться безпосередньо на стійці ЧПК або поруч з нею.

Аналогічні продукти інших фірм встановлюються всередину стійки, що значно ускладнює процес монтажу і робить його дорожче. По друге, підтримка комплексом бездротової передачі даних дозволяє уникнути трудомісткої протягання кабелів по всьому цеху.

1.3 Принципи роботи автоматизованої системи контролю технологічними процесами

При розробці проекту автоматизації в першу чергу необхідно вирішити, з яких місць ті чи інші ділянки об'єкта будуть управлятися, де будуть розміщуватися пункти управління, операторські приміщення, яка повинна бути взаємозв'язок між ними, тобто необхідно вирішити питання вибору структури управління. Під структурою управління розуміється сукупність частин автоматичної системи, на які вона може бути розділена за певною ознакою, а також шляхи передачі впливів між ними. Графічне зображення структури управління називається структурною схемою. Хоча початкові дані для вибору структури управління і її ієрархії з тим або іншим ступенем деталізації обумовлюються замовником при видачі завдання на проектування, повна структура управління повинна розроблятися проектною організацією.

Вибір структури управління об'єктом автоматизації має суттєвий вплив на ефективність його роботи, зниження відносної вартості системи управління, її надійності, ремонтпридатності і т.д.

У найзагальнішому вигляді структурна схема системи автоматизації представлена на рис. 1.1. Система автоматизації складається з об'єкта автоматизації і системи управління цим об'єктом. Завдяки певному взаємодії між об'єктом автоматизації та системою управління система автоматизації в цілому забезпечує необхідний результат функціонування об'єкта, що характеризується параметрами x_1, x_2, \dots, x_n .

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

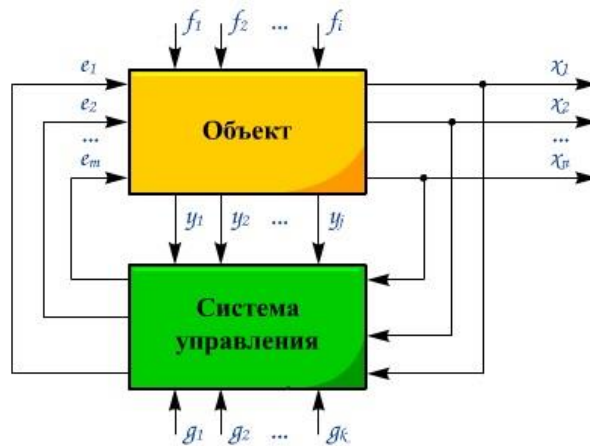


Рисунок 1.4 - Структурна схема системи автоматизації

До цих параметрів можна віднести, наприклад, величини, що характеризують доцільний кінцевий продукт технологічного процесу, окремі параметри, що визначають хід технологічного процесу, його економічність, забезпечення безаварійного режиму і т.д.

Крім цих основних параметрів, робота комплексного об'єкта автоматизації характеризується рядом допоміжних параметрів y_1, y_2, \dots, y_i , які також повинні контролюватися і регулюватися (наприклад, підтримуватися постійними). До такого роду параметрами можна віднести, наприклад, величини, що характеризують роботу установок підготовки технологічної пари, насосних станцій оборотного водопостачання і т. д.

Від цих установок потрібно тільки подача на вхід технологічної установки сировини і енергоносіїв із заданими параметрами. При цьому необхідна дозування подачі сировини і енергоносіїв здійснюється засобами управління, що відносяться до технологічної установки.

В процесі роботи на об'єкт надходять впливи f_1, f_2, \dots, f_i , що викликають відхилення параметрів x_1, x_2, \dots, x_n від їх необхідних значень. Інформація про поточні значення $x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_i$ надходить в систему управління і порівнюється з запропонованими їм значеннями g_1, g_2, \dots, g_k , в результаті чого система управління виробляє керуючі впливу E_1, E_2, \dots, E_m для компенсації відхилень вихідних параметрів.

Таким чином, об'єкт автоматизації в загальному випадку складається з декількох в більшій чи меншій мірі пов'язаних один з одним ділянок управління. Ділянки управління фізично можуть представлятися в вигляді окремих установок, агрегатів і т. д. або в вигляді локальних каналів управління окремими параметрами одних і тих же установок, агрегатів і т. д.

						ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
							13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

У свою чергу, система управління в залежності від важливості регульованих параметрів, кола працівників експлуатаційного персоналу, яким необхідно знати їх значення для здійснення оптимального управління об'єктом, в загальному випадку повинна забезпечувати різні рівні управління об'єктом автоматизації, тобто має складатися з кількох пунктів управління, в тій чи іншій мірі взаємозалежних один з одним.

З урахуванням викладеної структури управління об'єктом автоматизації можуть бути в окремих випадках однорівневими централізованими, однорівневими децентралізованими і багаторівневими. Однорівневі системи управління, в яких управління об'єктом здійснюється з одного пункту управління, називаються централізованими. Однорівневі системи, в яких окремі частини складного об'єкта управляються з самостійних пунктів управління, називаються децентралізованими.

Структурні схеми однорівневих централізованих та децентралізованих систем наведені на рис. 1.5, на якому стрілками показані тільки основні потоки передачі інформації від об'єкта управління до системи управління та управляючі системи на об'єкт управління. На рис. 1.6 окремі частини складного об'єкта управління, керовані відповідно з пунктів ПУ1 - ПУ3, розділені штриховими лініями.

Однорівневі централізовані системи застосовуються в основному для управління відносно нескладними об'єктами або об'єктами, розташованими на невеликій території. Більшість промислових об'єктів в даний час являє собою складні комплекси, окремі частини яких розташовані на значній відстані один від одного.



Рисунок 1.5 - Приклади однорівневих систем управління

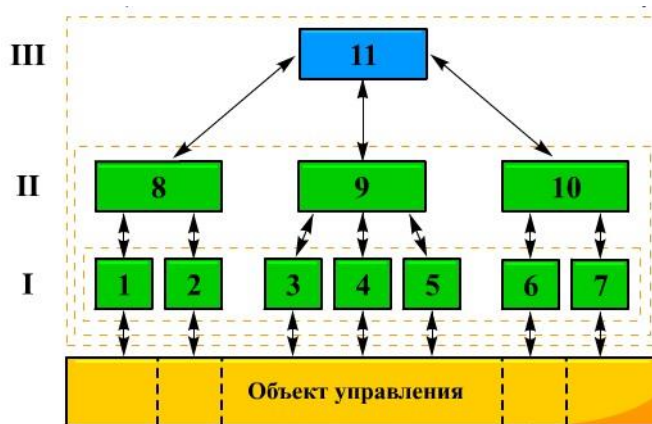


Рис. 1.6 - Приклад трирівневої системи управління:

I - III - рівні управління. Крім основних технологічних установок, об'єкти мають велике число допоміжних установок-підоб'єктів (промислові котельні, компресорні, насосні станції оборотного водопостачання, котли-утилізатори, очисні споруди і т.п.), які необхідні для забезпечення технологічних установок всіма видами енергії, а також для утилізації та нейтралізації залишкових продуктів технологічного процесу.

Якщо управління такого комплексного об'єкта побудувати по однорівневої централізованій системі, то набагато ускладняться комунікації системи управління, різко зростуть витрати на її спорудження та експлуатацію, центральний пункт управління вийде громіздким. Переробка інформації, велика частина якої є непотрібною для безпосереднього ведення технологічного процесу, представляє великі труднощі. Відстань пункту управління від того чи іншого допоміжного підоб'єкту ускладнює прийняття оперативних заходів щодо усунення тих чи інших неполадок. У цьому випадку більш прийнятною стає однорівнева децентралізована система управління.

Однак за допомогою однорівневих систем не завжди представляється можливим оптимально вирішити питання управління технологічними процесами. Це в першу чергу відноситься до складних технологічних процесів. Тоді доцільно переходити до багаторівневим системам управління. Як приклад на рис. 1.6 представлена трирівнева система управління складним об'єктом з розгалуженими технологічними зв'язками між установками. Окремі технологічні установки управляються децентралізовано з пунктів управління 1 - 7. Це перший рівень управління. З пунктів 1 - 7 відповідно управляються об'єкти, які мають суттєву технологічну взаємозв'язок. У зв'язку з цим найбільш відповідальні регульовані параметри установок передаються на пункти управління 8 - 10 другого рівня управління. Основні параметри, що визначають

технологічний процес об'єкта в цілому, можуть управлятися і контролюватися з пункту управління 11 третього рівня.

Для першого рівня при проектуванні доцільно передбачати три режими управління:

- командами, які надходять від рівня більш високого рангу;
- командами, що формуються безпосередньо на першому рівні;
- командами, які надходять як з рівня вищого рангу, так і формуються безпосередньо на першому рівні.

Для рівня другого рангу і вище можливі чотири режими роботи:

- апаратура даного i -го рангу приймає і реалізує в управлінський вплив команди $(i + 1)$ -го рангу;
- команди формуються безпосередньо на апаратурі i -го рангу;
- всі функції управління з i -го рангу передаються на апаратуру $(i - 1)$ -го рангу;
- частина команд на апаратуру i -го рангу надходить з $(i + 1)$ -го рангу, частина команд формується на i -м ранзі, частина функцій управління передана на апаратуру $(i - 1)$ -го рангу.

Апаратура i -го рангу відповідно повинна мати перемикачі режимів на три положення з чіткою сигналізацією положень.

Переклад апаратури з режиму 1 на режим 2 здійснюється по команді або з дозволу оператора системи вищого рангу.

Передача функцій управління тим чи іншим параметром на нижчий ранг здійснюється тільки після прийому команди про передачу і підтвердження оператора системи нижчестоящого рангу про готовність до прийняття на себе тих чи інших функцій управління (формування команд).

Багаторівнева структура системи управління забезпечує її надійність, оперативність, ремонтпридатність. При цьому легко вирішується оптимальний рівень централізації управління з мінімальною кількістю засобів технологічного контролю, управління і ліній зв'язку між ними.

АСУ ТП класифікуються на рівні класів 1, 2 і 3. До класу 1 (АСУ ТП нижнього рівня) належать АСУ ТП, керуючі агрегатами, установками, ділянками виробництва, що не мають в своєму складі інших АСУ ТП. До класу 2 (АСУ ТП верхнього рівня) належать АСУ ТП, керуючі групами установок, цехами, виробництвами, в яких окремі агрегати (установки) мають свої локальні системи управління, не оснащені АСУ ТП класу 1. До класу 3 (АСУ ТП багаторівневі) відносяться АСУ ТП, які об'єднують в своєму складі АСУ ТП класів 1, 2 і

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

реалізують узгоджене управління окремими технологічними установками або їх сукупністю (цехом, виробництвом).

Побудова систем автоматизації за рівнями управління визначається як вимогами зниження трудовитрат на їх реалізацію, так і цілями (критеріями) управління технологічними об'єктами.

1.4 Структура та характеристики лінії виробництва паливного брикету

Лінія для виробництва паливних брикетів Pini Kay має продуктивність до 400 кг/год. Сировиною можуть бути відходи і залишки деревини, тирса, с/г відходи (солома, очерет, лушпиння гречки, рису, проса, гірчиці, лушпиння насіння соняшнику та ін.). Необхідна фракція сировини для роботи лінії - до 5 мм. Вологість сировини, для забезпечення максимально ефективної роботи обладнання, не повинна перевищувати 50%.

Структурна схема такої лінії представлена на рисунку 1.7. Важливий елемент лінії, на який покладено ключові функції - це брикетуючий прес. Брикети, отримані на шнековому пресі-екструдері, мають чотиригранний перетин з технологічним отвором по центру. Брикет формується під впливом сильного тиску, що розвивається шнеком. Шнековий спосіб дозволяє отримувати найбільш щільний (1,0-1,3 гр/см³) і, отже, максимально міцний брикет, що визначає його відмінні споживчі якості. Цей вид брикету може використовуватися і в промислових цілях, і незамінний для приватного споживача, так як є аналогом дров, але набагато довше горить, застосовується в побутових камінах, печах, лазнях, мангалі, в процесі горіння відсутній чад і кіптяву, утворюється мала кількість диму, сажі.

Склад електричного обладнання:

1. Просіювач (калібратор) [1,5-10 м³/год, 2,05 кВт]
2. Сушильний комплекс аеродинамічного типу [400-600 кг/год, 5,5 кВт]
3. Транспортёр шнековий [1,5-10 м³/год, 1,5 кВт]
4. Прес-екструдер [300-400 кг/год, 36 кВт]
5. Система вентиляції преса [2500 м³/год, 2,2 кВт]
6. Щит управління.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

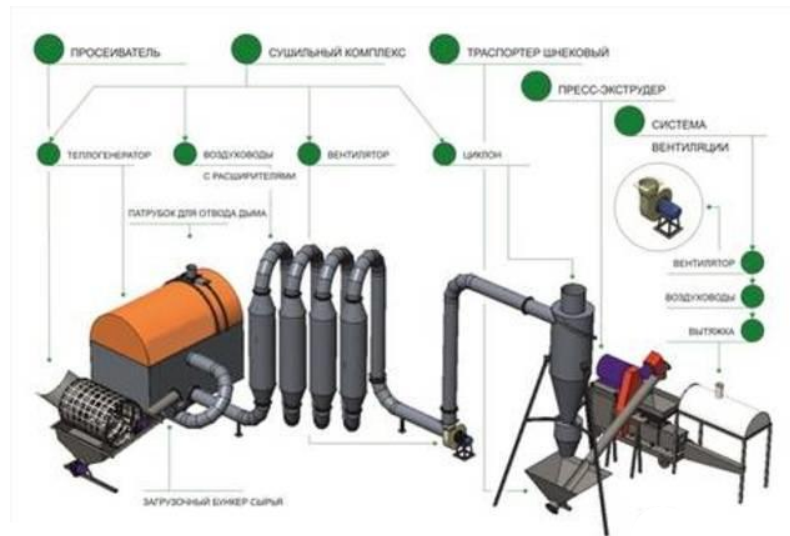


Рисунок 1.7 - Структурна схема лінії виробництва паливного брикету

Просіювач тирси. Тирсу завантажують в просіювач. У ньому вона відокремлюється від сміття і потрапляє на шнековий транспортер, який певними порціями подає сировину в сушильний комплекс.

Сушка аеродинамічна призначена для висушування дрібної фракції відходів деревини (тирса, мікрощепи, відходів виробництва оциліндровки деревини тощо) в гарячому повітряному потоці при температурі 60-200 ° С. Сушка, здатна знизити вміст вологи з 50 ... 60% до 6 ... 10% за один цикл. Принцип роботи - запускається в роботу теплогенератор, який забезпечує на виході необхідну температуру в пневмопроводах, шляхом нагрівання всмоктуваного повітря теплом з теплогенератора (в теплогенератор встановлений іскрогасник). Нагріте повітря підхоплює матеріал у міру руху по пневмопроводу, висушує його і виносить з сушки в циклон для поділу повітря і матеріалу (тирса).

Шнекова подача - подає висушених тирсою в прес ПініКей, для брикетування.

Прес ПініКей. Призначений для брикетування, пресування дрібно подрібнених відходів під високим тиском без використання зв'язуючих речовин. Вологість пресованого матеріалу не повинна перевищувати 15%, а розміри частинок - до 25 мм. На виході з преса брикет спеціальним ножом ріжеться на мірні 30 сантиметрові брикети.

Витяжка. При виробництві брикетів має місце високотемпературний нагрів зони пресування до + 250-350 ° С, в результаті чого утворюється дим, який видаляється за допомогою вентиляційної системи (витяжки).

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.5 Програмовані логічні контролери

ПЛК - програмований логічний контролер, є мікропроцесорний пристрій, призначений для збору, перетворення, обробки, зберігання інформації і вироблення команд керування, що має кінцеву кількість входів і виходів, підключених до них датчиків, ключів, виконуючих механізмів до об'єкту управління, і призначений для роботи в режимах реального часу.



Рисунок 1.8 - Структурна схема програмованого логічного контролера

Принцип роботи ПЛК дещо відрізняється від «звичайних» мікропроцесорних пристроїв. Програмне забезпечення універсальних контролерів складається з двох частин. Перша частина це системне програмне забезпечення. Проводячи аналогію з комп'ютером можна сказати, що це операційна система, тобто управляє роботою вузлів контролера, взаємозв'язком складових частин, внутрішньою діагностикою. Системне програмне забезпечення ПЛК розташоване в постійній пам'яті центрального процесора і завжди готове до роботи. Після включення живлення, ПЛК готовий взяти на себе управління системою вже через кілька мілісекунд. ПЛК працюють циклічно за методом періодичного опитування вхідних даних.

Робочий цикл ПЛК включає 4 фази:

1. Опитування входів
2. Виконання користувальницької програми
3. Установку значень виходів
4. Деякі допоміжні операції (діагностика, підготовка даних для налагодження, візуалізації і т. д.).

Виконання 1 фази забезпечується системним програмним забезпеченням. Після чого управління передається прикладній програмі, тій програмі, яку користувач записав в пам'ять, за цією програмою контролер робить задані дії, а по її завершенню управління знову передається системному рівню. За рахунок

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

цього забезпечується максимальна простота побудови прикладної програми - її розробник не повинен знати, як здійснюється управління апаратними ресурсами. Необхідно знати з якого входу приходить сигнал і як на нього реагувати на виходах

Очевидно, що час реакції на подію буде залежати від часу виконання одного циклу прикладної програми. Визначення часу реакції - часу від моменту події до моменту видачі відповідного керуючого сигналу - пояснюється на рисунку 1.9.

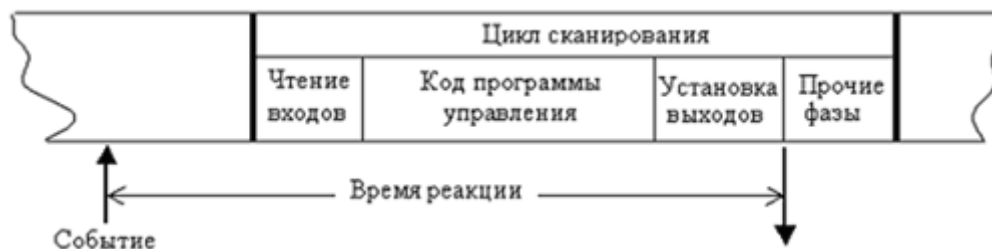


Рисунок 1.9 - Структурна схема програмованого логічного контролера

Маючи пам'ять, ПЛК в залежності від передісторії подій, здатний реагувати по-різному на поточні події. Можливості перепрограмування, управління по часу, розвинені обчислювальні можливості, включаючи цифрову обробку сигналів, піднімають ПЛК на більш високий рівень на відміну від простих комбінаційних автоматів.

Розглянемо входи і виходи ПЛК. Існує три види входів: дискретні, аналогові і спеціальні. Один дискретний вхід ПЛК здатний приймати один бінарний електричний сигнал, що описується двома станами - увімкнений або вимкнений. Всі дискретні входи (загального виконання) контролерів зазвичай розраховані на прийом стандартних сигналів з рівнем 24 В постійного струму. Типове значення струму одного дискретного входу (при вхідній напрузі 24 В) становить близько 10 мА.

Аналоговий електричний сигнал відображає рівень напруги або струму, що відповідає деякій фізичній величині, в кожен момент часу. Це може бути температура, тиск, вагу, положення, швидкість, частота і т. д.

Оскільки ПЛК є цифровою обчислювальною машиною, аналогові вхідні сигнали обов'язково піддаються аналого-цифровому перетворенню (АЦП). В результаті, утворюється дискретна змінна певної розрядності. Як правило, в ПЛК застосовуються 8 - 12 розрядні перетворювачі, що в більшості випадків, виходячи з сучасних вимог по точності управління технологічними процесами, є

достатнім. Крім цього АЦП вищої розрядності не виправдовують себе, в першу чергу через високий рівень індустріальних завод, характерних для умов роботи контролерів.

Практично всі модулі аналогового вводу є багатоканальними. Вхідний комутатор підключає вхід АЦП до необхідного входу модуля.

Стандартні дискретні і аналогові входи ПЛК здатні задовольнити більшість потреб систем промислової автоматики. Необхідність застосування спеціалізованих входів виникає у випадках, коли безпосередня обробка деякого сигналу програмно ускладнена, наприклад, вимагає багато часу.

Найбільш часто ПЛК оснащуються спеціалізованими рахунковими входами для вимірювання тривалості, фіксації фронтів і підрахунку імпульсів.

Наприклад, при вимірі положення і швидкості обертання валу дуже поширені пристрої, що формують певну кількість імпульсів за один оборот - поворотні шифратори. Частота проходження імпульсів може досягати декількох мегагерц. Навіть якщо процесор ПЛК має достатню швидкодію, безпосередній підрахунок імпульсів в призначеній для користувача програмі буде дуже марнотратним за часом. Тут бажано мати спеціалізований апаратний вхідний блок, здатний провести первинну обробку і сформувати, необхідні для прикладної задачі величини.

Другим поширеним типом спеціалізованих входів є входи здатні дуже швидко запускати задані користувальницькі завдання з перериванням виконання основної програми - входи переривань.

Дискретний вихід також має два стани - увімкнений і вимкнений. Вони потрібні для управління: електромагнітних клапанів, котушок, електромагнітних контакторів, світлових сигналізаторів і т.д. Загалом сфера їх застосування величезна, і охоплює майже всю промислову автоматику.

Конструктивно ПЛК підрозділяються на моноблочні, модульні і розподілені. Моноблочні мають фіксований набір входів та виходів.

У модульних контролерах модулі входів - виходів встановлюються в різному складі і кількості в залежності від майбутньої завдання.

У розподілених системах модулі або навіть окремі входи-виходи, які утворюють єдину систему управління, можуть бути рознесені на значні відстані

Мови програмування ПЛК. За останнє десятиліття з'явилося кілька технологічних мов. Більш того, Міжнародної Електротехнічної Комісією розроблений стандарт МЕК-61131-3, який концентрує всі передове в області мов програмування для систем автоматизації технологічних процесів. Цей стандарт

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

вимагає від різних виробників ПЛК пропонувати команди, які є однаковими і за зовнішнім виглядом, і за дією.

Стандарт специфікує 5 мов програмування:

- Sequential Function Chart (SFC) - мова послідовних функціональних блоків;
- Function Block Diagram (FBD) - мова функціональних блокових діаграм;
- Ladder Diagrams (LAD) - мова релейних діаграм;
- Statement List (STL) - мова структурованого тексту, мова високого рівня. Нагадує собою Паскаль
- Instruction List (IL) - мова інструкцій. Це типовий асемблер з акумулятором і переходах по мітці.

Мова LAD або КОР (з німецького Kontaktplan) схожі на електричні схеми релейного логіки. Тому інженерам, які знають сучасні мови програмування, не важко написати програму. Мова FBD нагадує створення схем на логічних елементах. У кожному з цих мов є свої мінуси і плюси. Тому при виборі фахівці ґрунтуються переважно на особистому досвіді. Хоча більшість програмних комплексів дають можливість переконвертувати вже написану програму з однієї мови в іншу. Так як деякі завдання витончено і просто вирішуються на одній мові, а на іншій доведеться зіткнутися з деякими труднощами

Найбільшого поширення в даний час отримали мови LAD, STL і FBD.

Більшість фірм виробники ПЛК традиційно мають власні фірмові напрацювання в області інструментального програмного забезпечення. Наприклад такі як «Concept» Schneider Electric, «Step 7» Siemens.

Програмний комплекс CoDeSys. Відкритість МЕК стандартів привели до створення фірм, що займаються виключно інструментами програмування ПЛК. Найбільшою популярністю в світі користуються комплекс CoDeSys. CoDeSys розроблений фірмою 3S. Це універсальний інструмент програмування контролерів на мовах МЕК, не прив'язаної до якої-небудь апаратній платформі і задовольняє всім сучасним вимогам.

Основні особливості:

- повноцінна реалізація МЕК мов;
- вбудований емулятор контролера дозволяє проводити налагодження проекту без апаратних засобів. Причому емулюється не просто якийсь абстрактний контролер, а конкретний ПЛК з урахуванням апаратної платформи;
- вбудовані елементи візуалізації дають можливість створити модель об'єкта управління і проводити налагодження, тобто дає можливість створювати людино-машинного інтерфейсу (НМІ);

									Арк.
									22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			ЕЛІТ	8.171.00.10.154	ПЗ

- дуже широкий набір сервісних функцій, що прискорює роботу програміста.

1.6 Постановка задачі проектування

Метою даного проекту є розробка системи контролю технологічного процесу на малому підприємстві, що виконує наступні функції:

- Моніторинг стану обладнання та режимів роботи;
- Підтримання заданих режимів роботи обладнання, автоматизоване керування обладнанням;
- Запис інформації про параметри та стан датчиків виробничого процесу в реальному часі;
- Здійснювати дистанційне керування обладнанням з використанням обраних каналів зв'язку;
- Здійснювати аварійне сповіщення операторів виробничої лінії.

Для виконання поставлених задач необхідно:

- Розробити алгоритм роботи системи.
- Провести вибір обладнання, для якого потрібні моніторинг та керування;
- Розробити структурну та функціональну схеми системи керування з урахуванням особливостей застосування на промислових об'єктах;
- Провести вибір елементної бази;
- Розробити принципову електричну схему пристрою;
- Розробити програмне забезпечення.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Пропорційно-інтегрально-диференціальне регулювання як складова автоматизованої системи керування

Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор або ПІД-регулятор - пристрій, зі зворотним зв'язком, що застосовується в автоматичних системах управління для підтримки заданого значення параметра. Завдяки своїй універсальності вони широко застосовуються в різних технологічних процесах.

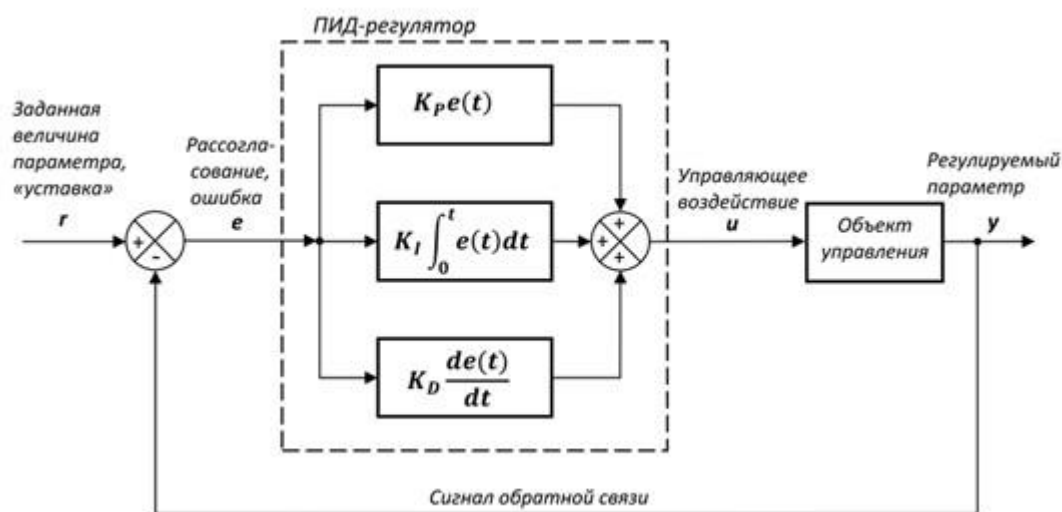


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматизованого регулювання

Вихідний сигнал регулятора $u(t)$ визначається за такою формулою:

$$P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d de(t)/dt, \quad (2.1)$$

де:

P - пропорційна складова;

I - інтегруюча складова;

D - диференційна складова;

K_p - пропорційний коефіцієнт;

K_i - інтегральний коефіцієнт;

K_d - диференційний коефіцієнт;

$e(t)$ - помилка неузгодженості.

Завдання ПІД-регулятора в системах АСУ ТП. Основне завдання ПІД-регулятора полягає в підтримці певного значення параметра технологічного процесу на заданому рівні. Тобто, говорячи простою мовою, завдання ПІД-регулятора полягає в тому, щоб з огляду на отримані значення з датчиків (зворотний зв'язок), впливати на об'єкт управління, плавно підводячи регульоване значення до заданого установкою. Застосування ПІД-регуляторів доцільно, а найчастіше, і єдино можливе в процесах, де необхідна висока точність перехідних процесів, безперервний контроль і регулювання заданих параметрів, а також там, де неприпустимі значні коливання в системі.

Порівняння ПІД-регулятор з позиційним регулюванням. У системах АСУ ТП найбільшого поширення набули два типи регуляторів - двопозиційний і ПІД.

Двопозиційний регулятор найбільш простий у використанні і широко поширений. Він порівнює значення вхідної величини з заданим параметром установки. Якщо значення виміряної величини нижче заданого значення установки, регулятор включає виконавчий пристрій; при перевищенні заданого значення, виконавчий пристрій вимикається. Для запобігання занадто частого спрацьовування пристрою внаслідок коливань системи і, отже, зміні значень, задається мінімальний і максимальний поріг спрацьовування - гістерезис, або по-іншому - зона нечутливості, мертва зона, диференціал. Наприклад, нам необхідно підтримувати температуру в 15°C . Якщо гістерезис заданий 2° , то регулятор буде включати нагрів при 14 і відключати відповідно при 16.

Чим менше значення гістерезису, тим точніше буде процес регулювання, але збільшується частота спрацьовування, що, в кінцевому підсумку, призводить до зносу комутаційних апаратів. Збільшення гістерезиса зменшить частоту перемикань, але при цьому збільшується амплітуда коливань регульованого параметра, що призведе до погіршення точності регулювання.

Так чи інакше, при такому типі регулювання відбуваються незгасаючі коливання, частота і амплітуда яких залежить від параметрів системи. Тому даний метод забезпечує хороший результат в системах, що володіють інерційністю і малим запізненням. Зокрема, такий метод широко застосовується при регулюванні температури в нагрівальних печах.

На відміну від двопозиційного, за допомогою ПІД-регулятора вдається звести коливання системи до мінімуму, завдяки тому, що при такому методі регулювання враховуються різні значення системи:

- фактична величина,
- задане значення,

					ЕЛТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- різницю,
- швидкість.

Це дозволяє стабілізувати систему і добитися підвищення точності в десятки разів у порівнянні з двопозиційним методом. Звичайно, тут багато що залежить від правильно підібраних коефіцієнтів ПД-регулятора.

Для того, щоб правильно вибрати необхідний тип регулятора необхідно хоча б приблизно знати характеристики керованого об'єкта, вимоги до точності регулювання і характер збурень, які впливають на об'єкт регулювання.

Складові ПД-регулятора. У стандартному ПД-регулятор є три складові і кожна з них по своєму впливає на управління.

Пропорційна $P(t) = K_p * e(t)$

Враховує величину неузгодженості заданого значення і фактичного. Чим більше відхилення значення, тим більше буде вихідний сигнал, тобто, пропорційна складова намагається компенсувати цю різницю.

Однак пропорційний регулятор не здатний компенсувати повністю помилку неузгодженості. Завжди буде присутній так звана статична помилка, яка дорівнює такому відхиленню регульованої величини, яке забезпечує вихідний сигнал, що стабілізує вихідну величину саме на цьому значенні. При збільшенні коефіцієнта пропорційності K_p статична помилка зменшується, але можуть виникнути автоколивання і зниження стійкості системи.

Інтегральна $I(t) = K_i \int_0^t e(t)dt$

Інтегральна складова використовується для усунення статичної помилки. Вона складає значення попередніх помилок неузгодженості і компенсує їх. Можна сказати - вчиться на попередніх помилках. Тобто, помилка неузгодженості множиться на коефіцієнт інтегрування і додається до попереднього значення інтегруючої ланки. При виході системи на заданий режим, інтегральна складова перестає змінюватися і не робить якого-небудь серйозного впливу на систему. Фізично інтегральна складова являє затримку реакції регулятора на зміну величини неузгодженості, вносячи в систему деяку інерційність, що може бути корисно для управління об'єктами з великою чутливістю.

Диференційна $D(t) = K_d de(t)/dt$

Диференційна складова враховує швидкість зміни регульованої величини, протидіючі передбачуваним відхиленням, викликаними збуреннями системи або запізненням. І чим більше буде величина відхилятися від заданої, тим сильніше

буде протидія, яка чиниться диференційної складовій. Тобто, вона передбачає поведінку системи в майбутньому. При досягненні величини неузгодженості постійного значення диференційна складова перестає впливати на керуючий сигнал.

На практиці будь-яка зі складових може не використовуватися (найчастіше Д-диференційна) і тоді ми отримуємо П- і ПІ-регулятор.

Методика налаштування ПІД-регулятора. Вибір алгоритму управління і його налаштування є основним завданням в процесі проектування і подальшого задовільного запуску агрегату в промислову або іншу експлуатацію. В основі методики лежить закон Циглера-Нікольса, є емпіричним і заснованим на використанні даних, отриманих експериментально на реальному об'єкті. В результаті ознайомлення з методикою, а також при близькому розгляді об'єктів регулювання, були обрані формули і коефіцієнти, найближче підходящі до реального об'єкту регулювання.

Об'єкт регулювання - камерна електрична піч. Число зон регулювання від 24 до 40. Кожна зона є набір електронагрівачів. Матеріал нагрівачів ніхром. Тип - дротяні, навиті на керамічні трубки. Вимога: підтримання температури по зонах печі $\pm 5^\circ \text{C}$.

Налаштування пропорційної компоненти (X_p)

Перед налаштуванням зони пропорційності інтегральна і диференціальна компоненти відключаються:

Постійна інтегрування встановлюється мінімально можливої ($T_u = 0$).

Постійна диференціювання мінімально можливої ($T_d = 0$).

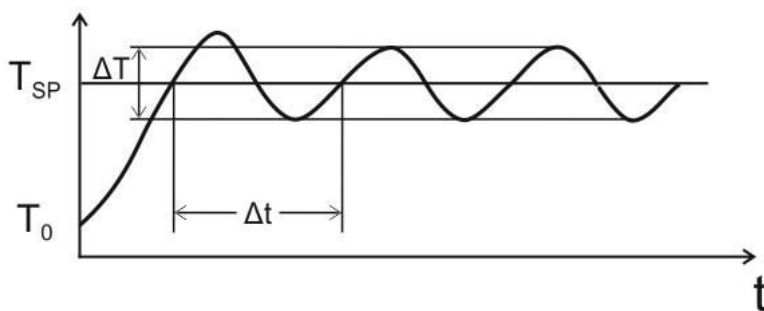


Рисунок 2.2 – Графік зміни температури

T_0 - початкова температура в системі;

T_{sp} - задана температура (уставка);

ΔT - розмах коливань температури;

Δt - період коливань температури.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Міняємо значення пропорційною складовою X_p від мінімуму (0) до моменту, поки не з'являться стійкі коливання системи з періодом Δt . Система повинна знаходитися в постійному коливальному процесі, притому коливальний процес незатухаючий, де ΔT - характеристика коливання, рівна значенню величини неузгодженості ($\pm 10^\circ \text{C}$, або як за завданням). Коливання повинні бути однакові від T_{sp} .

Після отримання даної кривої на нашому об'єкті, засікаємо час періоду коливань Δt - повний період. Дане час - характеристика системи, обладнання.

Використовуючи отримані параметри, розраховуємо T_i і T_d .

Таблиця 2.1 – Параметри регуляторів

	Зона пропорційності	Коефіцієнт передачі	Постійна часу інтегрування	Постійна часу інтегрування диференціювання
П-регулятор	2·PBs	0.5· X_p		
ПІ-регулятор	2.2·PBs	0.45· X_p	0.83· ΔT	
ПІД-регулятор	1.67·PBs	0.6· X_p	0.5· ΔT	0.125· ΔT

2.2 Окремі випадки ПІД-регулювання

Пропорційне регулювання (П-закон). Вихідний сигнал Y_i регулятора при цифровому здійсненні П-закону регулювання, відповідає величині неузгодженості E_i , тобто:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot E_i \cdot 100\% , \quad (2.2)$$

X_p – смуга пропорційності;

E_i – неузгодженість.

Як і відхилення E , смуга пропорційності X_p , втілюється в одиницях контрольованого параметра. Чим ширше смуга пропорційності X_p , при однаковому відхиленні E , тим менше величина Y вихідного сигналу.

Вихідний сигнал Y без смуги пропорційності дорівнює 0 або 100%.

Регулятор при впливі П-закону випускає імпульси, в яких знаходиться тільки пропорційна складова величини вихідного сигналу.

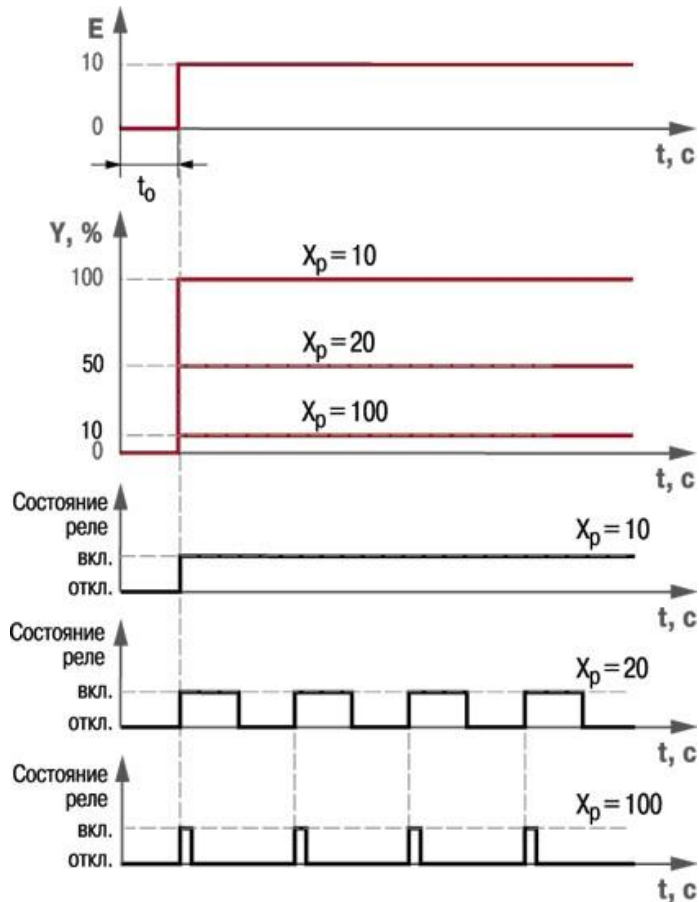


Рисунок 2.3 – Вихідний сигнал ПІ-регулятора і тривалість імпульсів при різних значеннях X_p і $E=10$

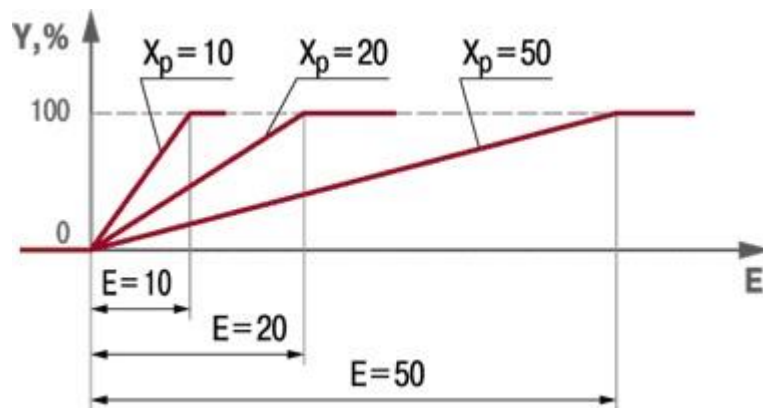


Рисунок 2.4 – Залежність вихідного сигналу ПІ-регулятора від неузгодженості при різних значеннях X_p

Пропорційно-диференціальне регулювання (ПД-закон).

Величина Y_i вихідного сигналу при дії приладу в режимі ПД-регулятора, обумовлюється не тільки від величини відхилення E_i , а й від швидкості його змін:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left[E_i + \tau_D \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} \right] \cdot 100\% , \quad (2.3)$$

X_p - смуга пропорційності

E_i - неузгодженість

T_l - постійна часу диференціювання

ΔE_i - різниця між двома сусідніми вимірами E_i і E_{i-1}

$\Delta t_{изм}$ - час між двома сусідніми вимірами T_i і T_{i-1}

$\Delta E_i / \Delta t_{изм}$ - швидкість зміни неузгодженості

Регулятор при перетворенні вихідного сигналу в ступінчастій зміні відхилення показано на рис. 2.5. На першій стадії регулятор після ступеневої зміни E_i випускає керуючий імпульс, в якому, крім пропорційної складової, викликаної неузгодженістю E_i , додається диференціальна (заштрихована частина) ΔY_D вона залежить від τ_l коефіцієнта і величини ΔE_i . У наступних імпульсах знаходиться тільки пропорційна складова, так як немає зміни E_i .

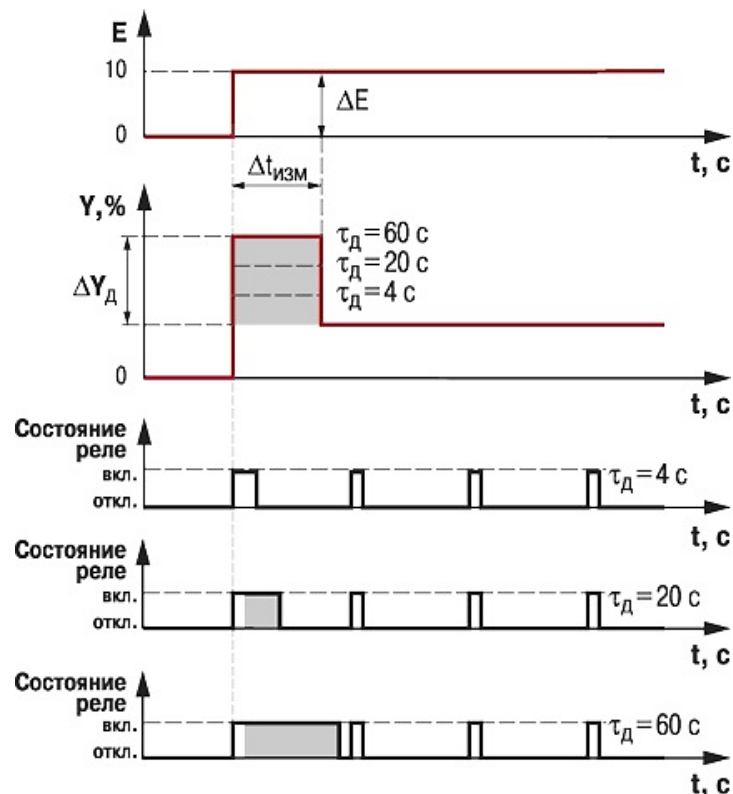


Рисунок 2.5 - Вихідний сигнал ПД-регулятора і тривалість імпульсів при різних значеннях $E = 10$

Пропорційно-інтегральне регулювання (ПІ-закон). Величина Y_i вихідного сигналу при використанні приладу в режимі ПІ-регулятора обумовлюється як від величини відхилення E_i , так і від суми колишніх неузгодженостей:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left[E_i + \frac{1}{\tau_{II}} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{изм} \right] \cdot 100\% , \quad (2.4)$$

X_p - смуга пропорційності

E_i - неузгодженість

τ_{II} - постійна часу інтегрування

$\sum E_i$ - інтегральна сума

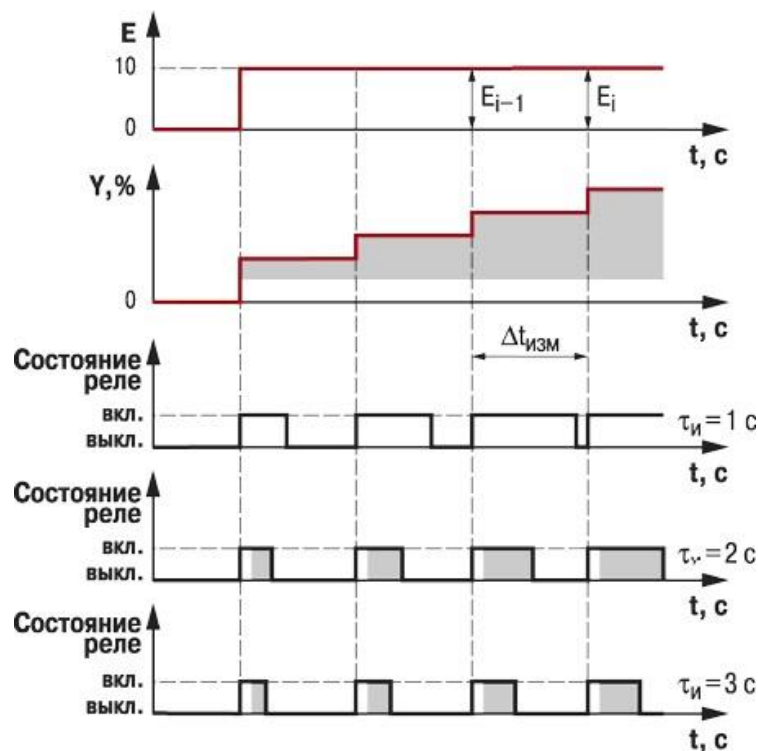


Рисунок 2.6 - Вихідний сигнал ПІ-регулятора і тривалість імпульсів при різних значеннях $E=10$

З рис. 2.6 видно, що в початковий момент часу, коли немає відхилення ($E_i=0$) і вихідного сигналу ($Y_i=0$). При появі відхилення E_i створюються імпульси, тривалість яких систематично збільшується. Пропорційна складова присутня в імпульсах, яка залежить від інтегральної складової (заштрихована частина) і величини E (незаштрихована частина імпульсів). Збільшення тривалості

імпульсів виникає за рахунок зростання інтегральною складовою, яка обумовлюється від коефіцієнта t_i і неузгодженості E_i .

Параметри ПД-регулювання

Зона нечутливості X_d . При маленькому значенні неузгодженості E_i для усунення надмірних спрацьовувань регулятора і обчислення значень Y_i застосовується уточнене значення E_p , обчислене відповідно до умов:

якщо $|E_i| \leq X_d$, то $E_p = 0$;

якщо $E_i > X_d$, то $E_p = E_i - X_d$;

якщо $E_i < -X_d$, то $E_p = E_i + X_d$,

де X_d - зона нечутливості.

Після як регульована величина віддалиться з цієї зони, прилад буде виробляти керуючий сигнал. Необхідну точність регулювання зона нечутливості перевищувати не повинна.

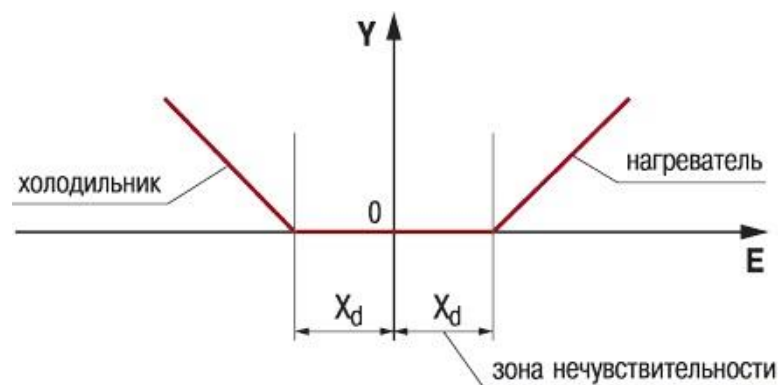


Рисунок 2.7 – Зона нечутливості

Так як завжди обмежений діючий діапазон виконавчого механізму, то для $Y_{вих}$ вихідного сигналу даються обмеження у вигляді максимального значення і мінімального. Якщо Y вихідний сигнал регулятора виходить за дану величину $Y_{огр.мах}$, то на виконавчий пристрій дається сигнал $Y_{огр.мах}$, якщо сигнал менше цієї величини $Y_{огр.мін}$, то дається сигнал $Y_{огр.мін}$.

Крім того, в регуляторах можна налаштувати швидкість зміни вихідного сигналу, що дає уникнути різких впливів на виконавчі пристрої.

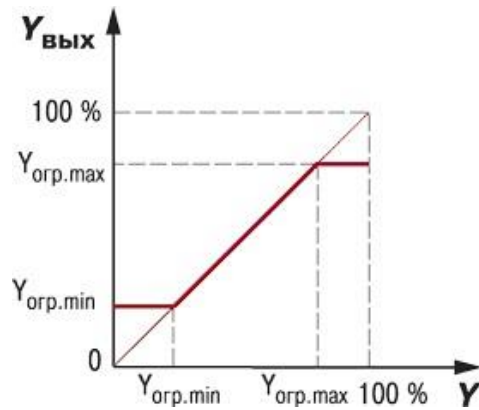


Рисунок 2.8 – Обмеження керуючого сигналу

Зона накопичення інтеграла. Якщо неузгодженість E довго утримує знак, то величина інтегральної складової робиться великою (ефект інтегрального насичення), що може спричинити до перерегулювання.

В межах задають зону накопичення інтеграла, регулятор розраховує інтегральну складову і робиться це для виключення впливу цього ефекту. За межами цієї зони, де занадто велика інтегральна сума, для виникнення керуючого сигналу застосовується тільки пропорційна складова. Робота регулятора залежить від режиму (нагрівач або холодильник), з цього буде зона знаходиться вище або нижче установки. Якщо раптом регулятор впливає засувкою без датчика положення, значення цього параметра не впливають на роботу регулятора.

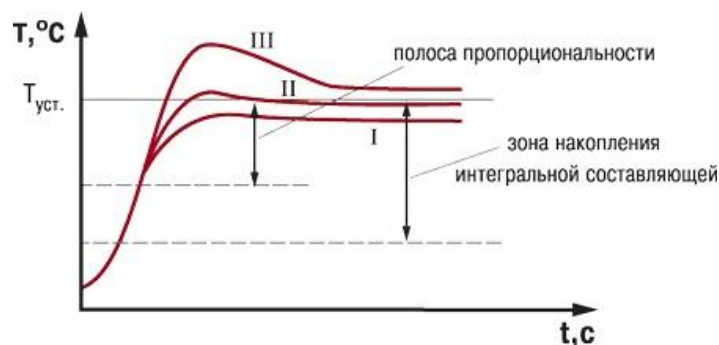


Рисунок 2.9 – Зона накопичення інтеграла (I - П-регулятор; II - П-регулятор з обмеженням накопичення інтегральною складовою; III - П-регулятор без обмеження інтегральною складовою).

Обмеження швидкості виходу на уставку. Для усунення перерегулювання при запуску системи (крива I), використовується обмеження швидкості виходу контрольованої величини на дане значення. Задана уставки змінюють на «плаваюче», яке рівномірно наближають до значення $T_{уст.}$ (крива

II). Спочатку наближення відбувається зі швидкістю $v_{уст.}$, Потім швидкість рівномірно зменшується. Прилад визначає відповідне значення $v_{уст.}$ при автонастройці і гарантує початкову величину перерегулювання (першого «вибігання») не більш Δ .

При зростанні часу виходу на діючий режим. Це зростання відбувається через використання швидкості виходу на уставку. Тому якщо затримка видає незадовільні результати, то тоді потрібно збільшити $v_{уст.}$ або відключити роботу параметра.

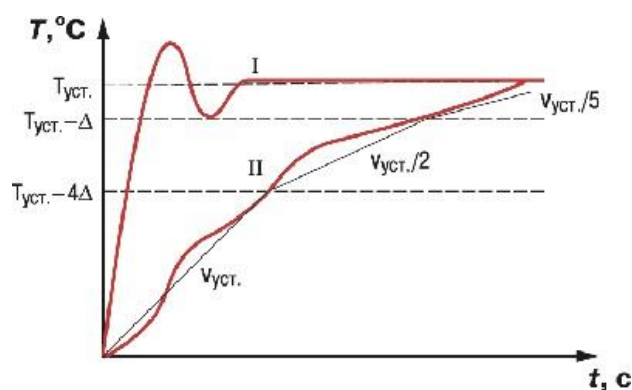


Рисунок 2.10 – Обмеження швидкості виходу на уставку

Період керуючих імпульсів $T_{сл.}$. Обов'язково встановлюється період керуючих імпульсів потрібно це робити при роботі регулятора з вихідним пристроєм ключового типу (е/м реле, транзисторна або сімісторна оптопара). Чим вище частота імпульсів, що управляють, тим на зовнішні обурення краще реакція регулятора.

В ідеальному випадку частота імпульсів управління повинна бути однаковою з частотою опитування датчика. Якщо при роботі на виході регулятора електромагнітного реле або пускача виставити занадто велику частоту, то багаторазові перемикання доведуть до негайного зносу силових контактів.

Тому значення $T_{сл.}$ треба збільшити, але обов'язково розуміти, що якість регулювання при цьому може погіршитися.

При роботі в якості вихідних пристроїв електронних ключів (транзисторних або сімісторних оптопар) проблеми зносу контактів не виникає і значення $T_{сл.}$ можна виставити рівним періоду опитування датчика.

Особливості роботи ПД-регулятора при управлінні засувкою (позиційно-пропорційне регулювання).

Для керування напрямком обертання, пристрій типу «засувка» має електричний привід і дві пари контактів. Регулятор управляється тільки імпульсними сигналами. Засувка пересувається в одну сторону при подачі керуючих імпульсів на першу пару контактів. Відкривається на першу подачу, при подачі імпульсів на другу - закривається.

Якщо засувка має датчик положення, то регулятор обчислює вихідний сигнал Y_i (положення засувки в процентах) і пересуває засувку в потрібне положення. При обчисленні Y_i в формулу для регулятора вносяться зміни. Вважається, що двигун засувки - це «інтегруюча ланка», і проводиться регулятором додаткове диференціювання вихідного сигналу. У цьому варіанті постійна часу диференціювання τ_d не враховується, навіть якщо вона була раніше встановлена. Пропорційна та інтегральна складові працюють так само, як при управлінні нагрівачем (холодильником).

Якщо датчика положення немає, то регулятор обчислює середню швидкість переміщення засувки v_{cp} за формулою:

$$v_{cp.} = \frac{1}{X_p} \cdot \left[\Delta E_i + \frac{1}{\tau_u} \cdot E_i \right], \quad (2.5)$$

X_p - смуга пропорційності

E_i - неузгодженість

ΔE_i - різниця між двома сусідніми вимірами E_i і E_{i-1}

τ_u - постійна часу інтегрування

Якщо $v_{cp.} > 0$, то на реле «відкр.». Тривалість імпульсів при цьому визначається за формулою:

$$D = v_{cp.} \cdot T_{cl}, \quad (2.6)$$

D - тривалість імпульсів

T_{cl} - період проходження імпульсів

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Засувка може використовуватися в режимі нагрівача і охолоджувача. На рис. 2.11 показується діаграма роботи вихідних реле при використанні засувки в режимі нагрівача.

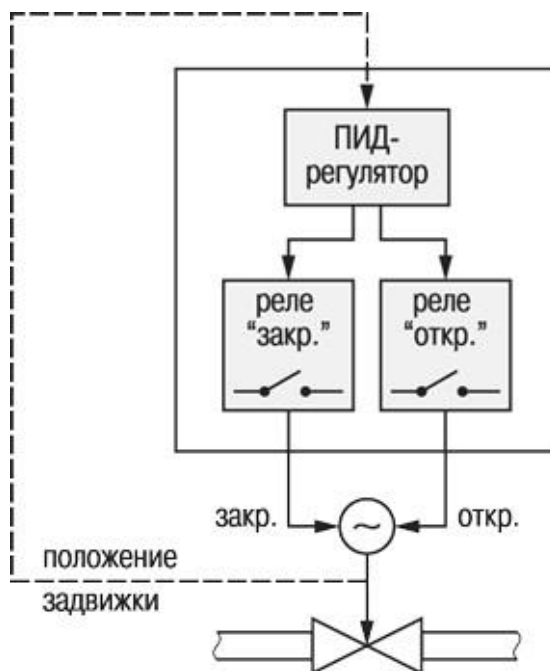


Рисунок 2.11 – Схема керування засувкою

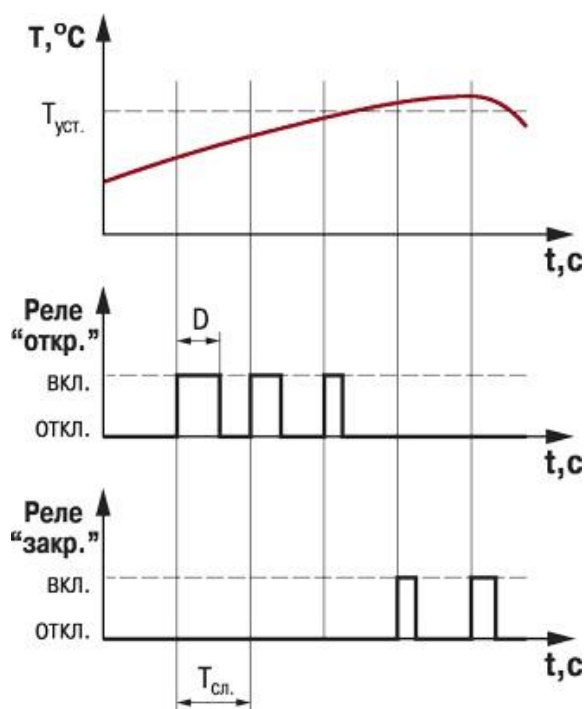


Рисунок 2.12 – Діаграма роботи вихідних реле при роботі засувки в режимі нагрівача

2.3 Модель ПІД регулятора для регулювання температури

Існує багато модифікацій формул Циглера – Нікольса, для об'єктів теплового обладнання слід використовувати наведені в таблиці:

Таблиця 2.2 - Розрахункові формули. Відклик на поетапний вплив

Формули	$a \cdot k_p$	T_i	T_d
Циглер – Нікольс (ZN)	1,2	$2L$	$L/2$
Чин, Хронс, Ресвік 0% (CHR0%)	0,6	L	$L/2$
Чин, Хронс, Ресвік 20% (CHR20%)	0,95	$1,4L$	$0,47L$

де параметр $a = \frac{K}{T_0} L$ виражається через параметри перехідної характеристики об'єкта регулювання.

Після отримання перехідної характеристики визначають наступні параметри:

- 1) Коефіцієнт посилення об'єкту регулювання K ;
- 2) Час розгону T_0 ;
- 3) Умовне запізнювання L ;

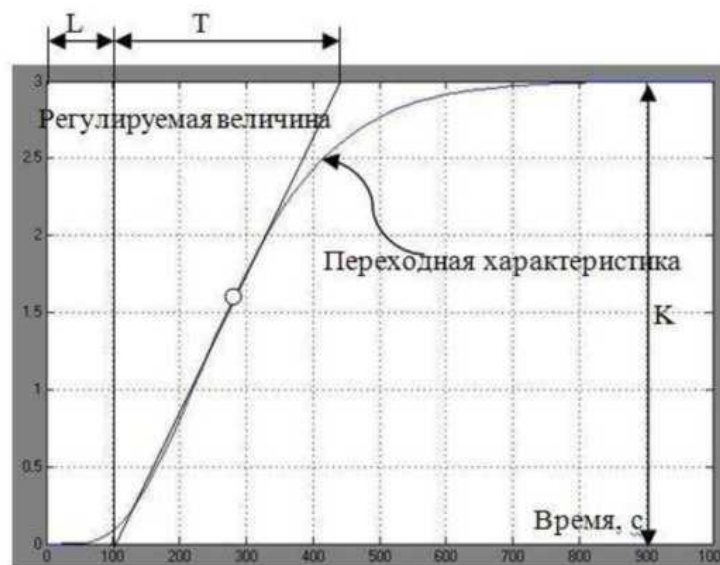


Рисунок 2.13 - Обробка експериментальних даних

Структурна схема САР з ПІД - регулятором представлена на рисунку 2.14.

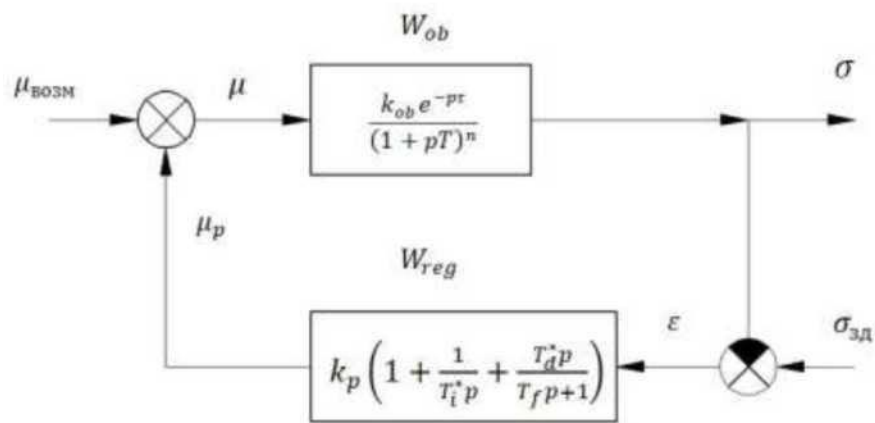


Рисунок 2.14 - Структурна схема САР

Сигнал $\mu_{\text{возм}}$ - збуджуюча дія, σ - регульована величина, $\sigma_{\text{зд}}$ - сигнал завдання регулятора, μ_p - сигнал з виходу регулятора.

Передавальна функція об'єкта управління:

$$W_{ob} = \frac{ke^{-p\tau}}{(Tp+1)^n} \quad (2.7)$$

Передавальна функція ПІД – регулятора

$$W_{reg}(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{T_f p + 1} \right) \quad (2.8)$$

де:

k_p - пропорційна частина,

T_i - постійна інтегрування,

T_d - постійна диференціювання,

T_f - $\frac{T_d}{10}$ - постійна фільтра;

Початкова наближена настройка за формулами Циглера - Нікольса завжди забезпечує трохи більше оптимального значення коефіцієнта пропорційної частини, це спрощує процес подальшої настройки. За методу Циглера - Нікольса визначаються настройки виходячи з декремента загасання 4, це призводить до повільного згасання коливань, а як наслідок - тривалий процес підстроювання параметрів. Метод Чину, Хронса, Ресвіка дозволяє отримати більший запас стійкості (скоротити час налаштування), ніж в методі Циглера - Нікольса, але пропорційний коефіцієнт в цих методах менше, ніж у Циглера - Нікольса. Це слід

враховувати при подальшій підстроювання параметрів: надмірне зменшення пропорційної частини призведе до виду перехідного процесу з меншою точністю регулювання. Налаштування, отримані за методом Чину, Хронса, Ресвіка 0% вимагають підстроювання переважно диференціальної складової (за формулами диференціальна частина менше оптимальної).

Для приведення перехідного процесу до оптимального виду (підстроювання параметрів) слід керуватися наступними правилами:

- збільшення пропорційного коефіцієнта збільшує швидкодію і знижує запас стійкості;
- зі зменшенням інтегральною складовою помилка регулювання з плином часу зменшується швидше;
- зменшення постійної інтегрування зменшує запас стійкості;
- збільшення диференціальної складової збільшує запас стійкості і швидкодію.

Зазначений порядок дій дозволяє вийти на процес з потрібними показниками якості. Якщо отримані налаштування не задовольняють вимогам технологічного процесу (це може бути в разі варіювання динаміки об'єкта регулювання, вибіг виконавчого механізму) то знайдені настройки необхідно послабити, як це зробити, розглянуто далі.

Недоліком всіх експериментальних методик є неповнота інформації про запас стійкості і робастної системи. Запас стійкості і робастної визначає надійність роботи регулятора. Для розгляду цих факторів необхідний аналіз зі зміни динаміки об'єкта регулювання і в цьому випадку краще отримати перехідну характеристику об'єкта регулювання, змодельовати об'єкт регулювання з урахуванням діапазону зміни динамічних характеристик і вийти на настройки, близькі до оптимальних, що не потребують додаткового значного підстроювання.

Розрахунок налаштувань ПД-регулятора. Висока чутливість САР з ПД - регуляторами до відхилення оптимуму їх налаштувань вимагає вибору оптимальних параметрів настройок регулятора з урахуванням можливої зміни динаміки об'єкта регулювання, а отримані настройки повинні гарантувати заданий запас стійкості. Залежно «компромісних» параметрів настройки ПД - регулятора для теплоенергетичних об'єктів були отримані проведенням розрахунку з використанням критерію точності і критерію надійності. Розрахунок включає в себе два етапи:

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Моделювання в MatLab Simulink з урахуванням обраного критерію точності.

2. Ослаблення налаштувань в MathCAD з урахуванням критерію надійності налаштувань.

Вибір критерію точності регулювання. У теплоенергетиці прийняті наступні критерії якості перехідного процесу [16]:

- Динамічна помилка повинна бути менше заданої σ_d , - регульована величина системи;

- Ступінь коливальності перехідного процесу $\psi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} = 0,90 \div 0,95$

- Площа під кривою перехідного процесу $\int_0^{\infty} \sigma^2 dt$ (квадратична інтегральна оцінка). Критерій повинен бути мінімальний, за умови рівності ступеня загасання $\psi = 0,90 \div 0,95$.

Точність регулювання досягається мінімізацією інтегрального квадратичного критерію при заданій ступеня загасання.

$$\int_0^{\infty} \sigma^2 dt \rightarrow \min \quad \text{при } \psi = 0,90 \div 0,95 \quad (2.9)$$

Інтегральний квадратичний критерій пропорційний $\frac{T_i}{k_p}$. Більшому значенню k_p при постійному T_d завжди відповідає менше T_i . Тільки в цьому випадку можна підтримувати $\psi = 0,90 \div 0,95$.

Вибір критерію надійності ПД-регулятора. Критерій надійності налаштувань відображає запас стійкості і робастної налаштувань до варіювання динамічних характеристик об'єкта регулювання. Розглянуто наступні методи обліку зміни динаміки об'єкта регулювання:

- За розподілом коренів характеристичного рівняння (критерій Е. Г. Дудникова);

- З вигляду імпульсної перехідної характеристики замкнутого контуру (М - частотний показник коливальності);

H_{∞} оптимізація і μ аналіз;

- Обмеженням на функції чутливості M_s, M_T ;

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Варіюючи передавальну функцію замкненої системи, аналізуючи індекс робастності;

У кожного з методів є свої переваги, надійність налаштувань отримана з обмежень на функцію чутливості M_S комплементарної чутливості M_T .

Можливості цього критерію найбільш точно відображають цілі розрахунку. Функції чутливості мають прив'язку до АФХ контурів, дозволяючи наочно бачити вплив складових ПІД - закону регулювання на запас стійкості і робастної.

Оцінка запасу щодо посилення і по фазі, виражена через максимум функції чутливості:

$$g_m \geq \frac{M_S}{M_S - 1}$$

$$\varphi_m \geq 2 \arcsin\left(\frac{1}{2M_S}\right)$$

На практиці вважаються прийнятними значення $M_S=1,4\dots 2$ Компромісні настройки отримані для умови $M_S = M_T = 2$. Це відповідає $g_m \geq 2$ и $\varphi_m \geq 29^\circ$.

Оцінка робастності: при $M_T=2$ можлива зміна фази об'єкта до 60° і коефіцієнта посилення в діапазоні від 0,5 до 1,5.

Функція дозволяє оцінити поведінку системи після введення в контур нелінійності. Недоліком є деякий можливе погіршення якості регулювання при наявності в контурі випадкових недетермінованих збурень.

Динамічні характеристики об'єктів регулювання. Динаміка об'єктів регулювання приведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Динаміка об'єктів регулювання

n	m	T
2,3,4,5,6	100	0,90,180,300
	50	0,10,20,30,50,90
	30	0,5,10,15,30,60
	10	0,2,4,6,10,20

Розрахунок налаштувань ПІД – регулятора. Порядок оптимізації проілюструємо на конкретному прикладі з випробувального пакету:

$$W_{ob}(j\omega) = \frac{3,0e^{-23,81j\omega}}{(67,26j\omega + 1)^4} \quad \text{з ПІД-регулятором (2.8)}$$

Для моделі об'єкта управління отримані настройки виходячи з обраного критерію точності (2.9):

$$k_p = 0,55 ; T_i = 105 ; T_d = 110$$

АФХ розімкнутого контуру і графік перехідного процесу наведені на рис. 2.15.

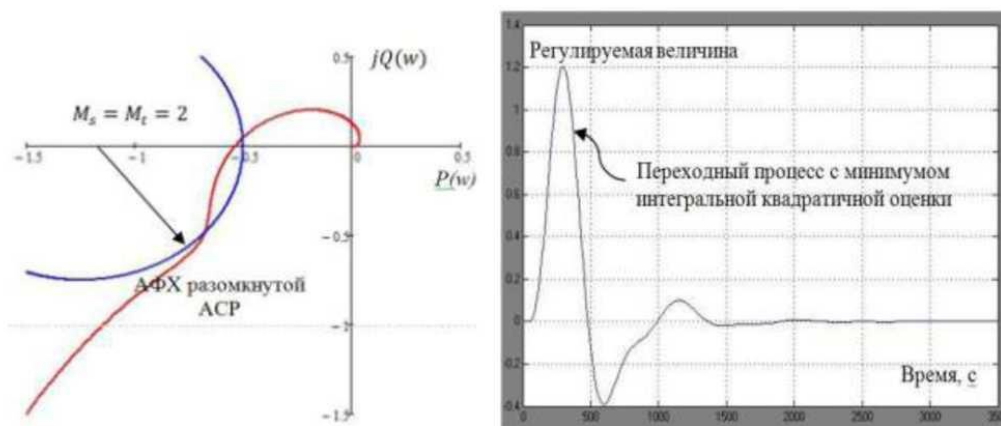


Рисунок 2.15 – АФХ розімкнутого контуру і перехідний процес в замкнутій САР отримані з умов (2.3)

Міняємо параметри таким чином, щоб АФХ розімкнутої системи виявилася поза колом (рис. 2.15), що відповідає $M_S = M_T = 2$, це умова обмеження на чутливість САР. При цьому ступінь має зберігатися $\psi = 0,90 \div 0,95$ (рис. 2.6) перехідний процес.

$$\text{Нові налаштування } k_p = 0,45 ; T_i = 100 ; T_d = 110 .$$

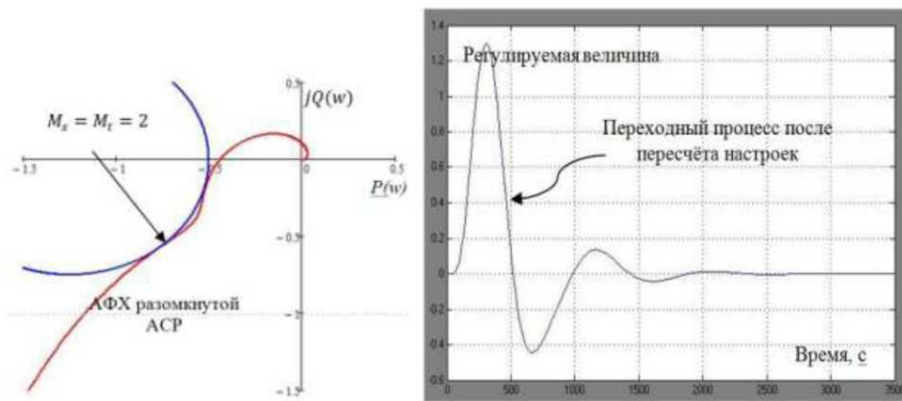


Рисунок 2.16 – АФХ розімкнутого контуру і перехідний процес в замкнутій САР після перерахунку налаштувань з урахуванням функції чутливості

Для стійкої роботи САР з ПД - регулятором необхідний баланс точністю регулювання і надійністю налаштувань (запас стійкості і робастної). Пріоритет точності або надійності визначається з умов роботи САР. Розрахунок проведено для $M_S = M_T = 2$, що відповідає найбільшій продуктивності з урахуванням мінімального обмеження на чутливість. Отримані в результаті розрахунку настройки ПД - регулятора будемо називати «компромісними». Для можливості збільшення надійності налаштувань їх необхідно «послабити», тобто змінити таким чином, щоб зменшити чутливість САР при менших втратах в точності регулювання.

Результати розрахунку

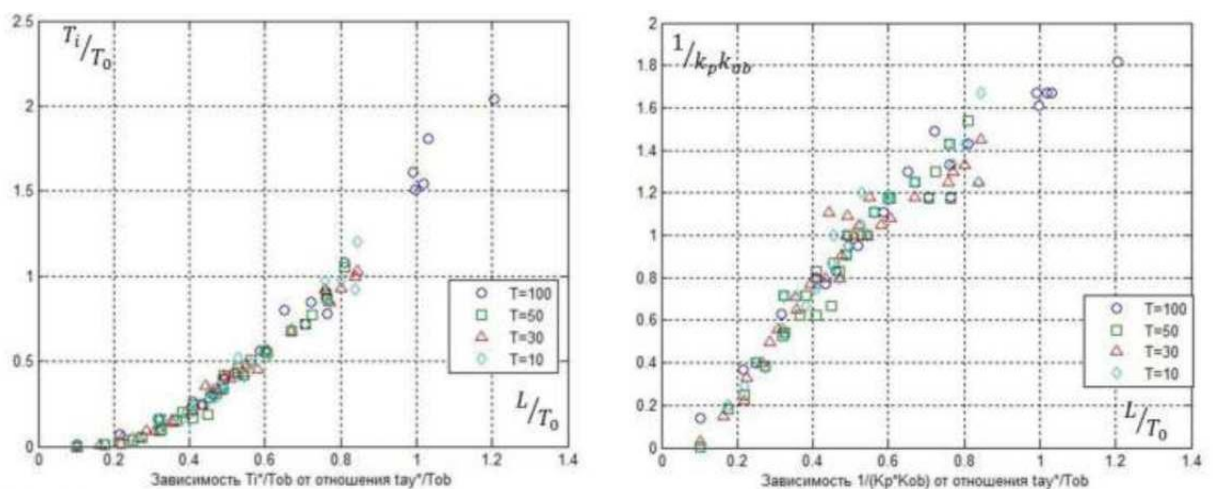


Рисунок 2.17 – Параметри компромісної настройки ПД - регулятора в залежності від параметрів перехідної характеристики об'єкта регулювання

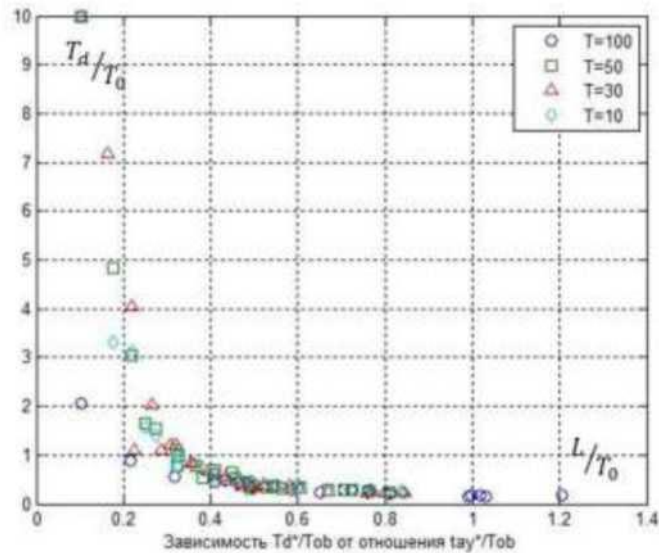


Рисунок 2.18 – Параметри компромісної настройки ПД - регулятора в залежності від параметрів перехідної характеристики об'єкта регулювання

З графіків залежностей видно, що для великої групи об'єктів існує загальна залежність компромісних параметрів налаштувань від відношення $\frac{L}{T_0}$. Отримані залежності можна використовувати для початкової настройки тільки при $\frac{L}{T_0} > 0,4$. При $\frac{L}{T_0} < 0,4$ Д-складова в залежності від динаміки об'єкта змінюється значно. при збільшенні $\frac{L}{T_0}$ розкид на графіку пропорційної частини пояснюється збільшенням впливу Д-складової чутливість роботи САР. Це призводить до необхідності ослаблення всіх налаштувань регулятора для приведення АФХ до вигляду на рис. 2.16.

В діапазоні $0,4 < \frac{L}{T_0} < 0,7$ Д - складова слабо впливає на надійність роботи САР, тому її можна залишити без зміни. Якщо динаміка об'єкта регулювання знаходиться поза цим інтервалом, вплив Д - складової посилюється, в цьому випадку її слід зменшити.

Для інтервалу $0,4 < \frac{L}{T_0} < 0,7$ ефективний алгоритм «ослаблення» налаштувань:

- 1) Зменшуємо пропорційну частину;
- 2) Зменшуємо інтегральну частину для компенсації ступеня загасання.

Ефективність ПД - алгоритму збільшується зі зменшенням відношення $\frac{L}{T_o}$. Д - складова ПД - регулятора дуже чутлива до зміни запізнювання об'єкта регулювання. Отримано залежності дозволяють наочно оцінити ефект від введення Д складової.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОНОЇ СХЕМИ ПРИСТОЮ

3.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

Система, що розроблюється в даному дипломному проекті повинна проводити опитування датчиків різних типів, які встановлені на виконуючих механізмах виробничої лінії. У випадку перевищення допустимих показань датчиків відповідно до програми повинні виконуватися керуючі дії з метою запобігання некоректної роботи обладнання або поломки. Показання датчиків відображаються на індикаторах. Повинна бути реалізована можливість як управління системою з панелі оператора, так і віддаленого керування шляхом надходження керуючих команд за допомогою GSM каналу стільникового зв'язку. У випадку перевищення допустимих значень має спрацювати аварійне сповіщення сирени, та надсилання повідомлення на мобільний телефон.

У відповідності до поставленої задачі було розроблено алгоритм роботи системи, що проектується. На початку роботи проводиться ініціалізація пристрою на всіх його периферійних систем, після чого відбувається циклічне опитування підключених датчиків та запис показань в пам'ять пристрою. Після опитування всіх датчиків, пристрій виконує обробку даних – порівняння поточних показань датчиків з максимально допустимими значеннями. У випадку перевищення максимальних значень відбувається аварійне сповіщення персоналу шляхом увімкнення сирени, відправлення сповіщення про виникнення позаштатної ситуації шляхом СМС повідомлення та аварійна зміна станів реле керування, якщо виникає загроза роботі обладнання. При нормальних показаннях датчиків відбувається перехід до обробки команд керування, що надійшли по GSM каналу зв'язку та були введені з клавіш керування. Кінцевими етапами робочого циклу системи є виведення показань датчиків на індикатори та зміна станів реле керування, що контролюють роботу двигунів та нагрівальних елементів.

Схема алгоритму роботи проектованої системи контролю технологічного процесу на малому виробничому підприємстві приведено на рисунку 3.1.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

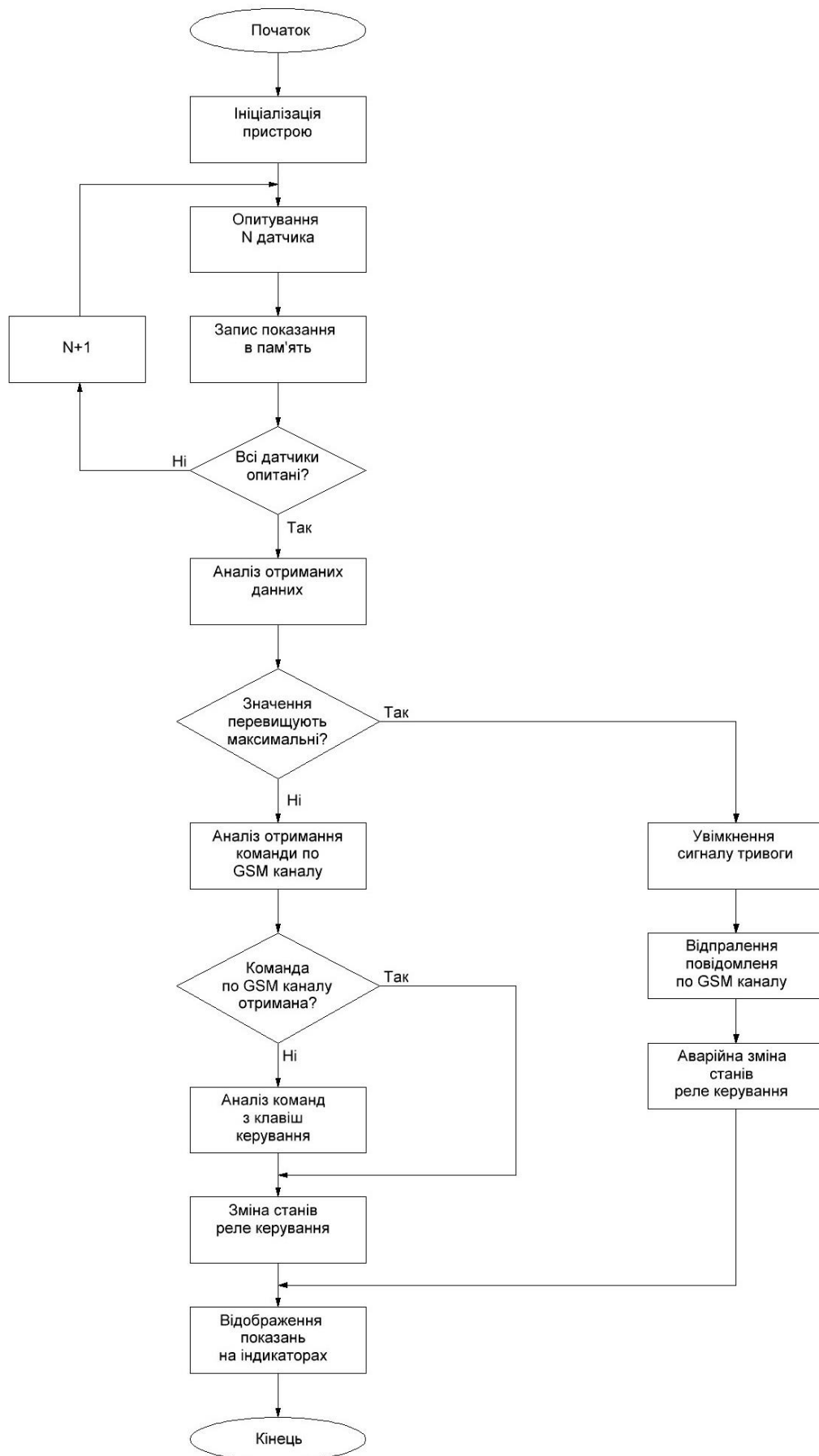


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи пристрою

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

3.2 Розробка структурної схеми пристрою

Для реалізації заданого у пункті 3.1 алгоритму роботи необхідні функціональні блоки, які приведені на структурній схемі пристрою (рис. 3.2). Враховуючи те, що система керування, що розроблюється в даному проекті, має бути інтегрована в існуюче обладнання лінії виробництва паливного брикету, на структурній схемі також зображені елементи електричного обладнання, з яким відбувається взаємодія: електричні нагрівальні елементи (ТЕНи), двигун екструдера преса, двигун вентиляції преса, двигун системи осушування сировини, двигун фільтра сировини, двигун подачі сировини з частотним приводом, а також електромагнітні контактори.

Основними функціональними частинами пристрою є: пристрій керування та обробки даних, група датчиків та група виконуючих пристроїв, інтерфейс користувача.

Пристрій керування виконує функцію збору та обробки даних з датчиків, надає сигнали керування виконуючим пристроям, проводить обмін даними із периферійними електронними пристроями через інтерфейси передачі даних та відображає показання датчиків на індикаторах.

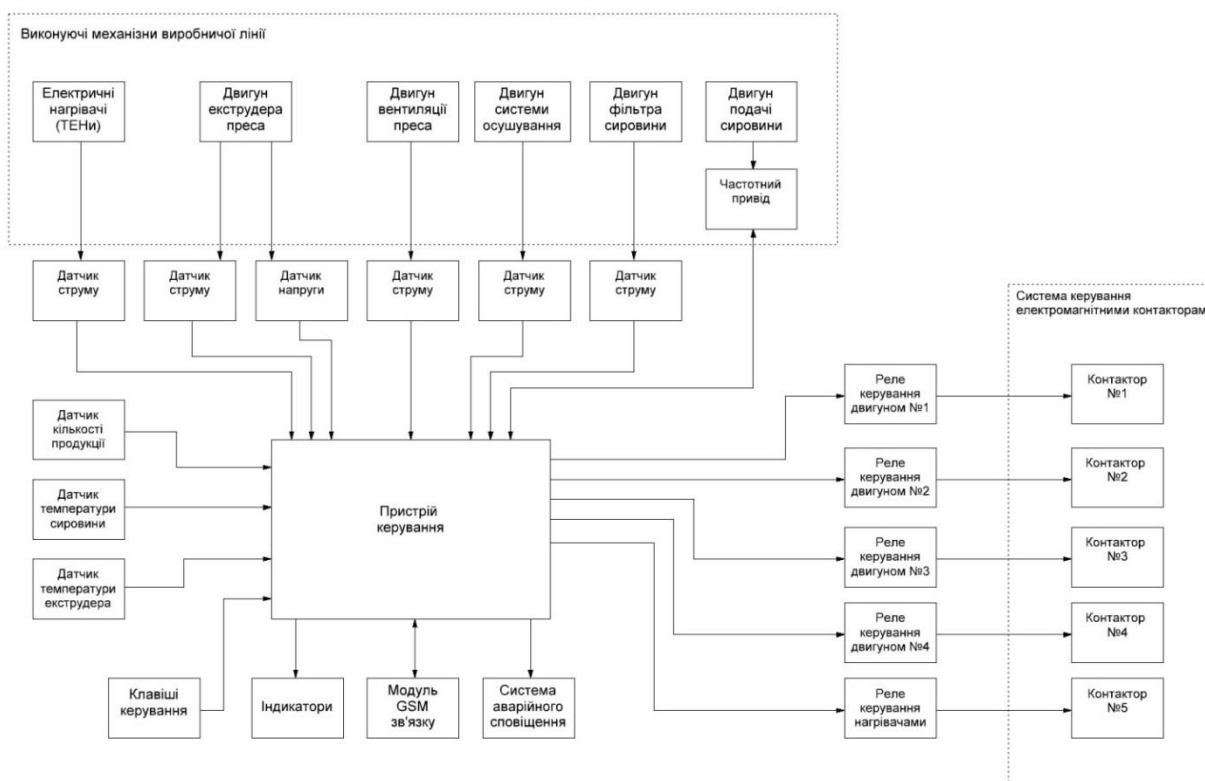


Рисунок 3.2 – Структурна схема пристрою

До складу групи датчиків входять датчики струму, які дають показання значень сили струму електродвигунів, датчик напруги двигуна екструдера, датчики температури екструдера та системи сушіння сировини, датчик кількості продукції.

Датчики струму двигунів призначені для контролю сили струму, що протікає в обмотках асинхронних двигунів. Відомості про силу струму дозволяють визначати чи увімкнений двигун, оцінювати навантаження на нього і своєчасно припинити його роботу при перевищенні допустимих значень струму. Датчики струму електричних нагрівальних елементів призначені для контролю протікання струму в обмотках ТЕНів. У випадку обриву в електричному колі чи перегорання спіралі ТЕНу струм через таке коло не протікатиме, що буде виявлено пристроєм керування.

Датчики температури сушіння сировини та температури екструдера призначені для контролю температурних режимів виробництва. Від дотримання зазначених температур залежить якість виробленої продукції.

Датчик кількості продукції призначений для підрахунку кількості паливних брикетів, що надійшли з екструдера.

Група виконуючих пристроїв складається з п'яти електромагнітних реле, які в свою чергу підключені до електричних кіл керування двигунами.

Інтерфейс користувача складається з клавіш керування та індикаторів, що розташовані на панелі оператора, системи аварійного сповіщення, модуля GSM зв'язку. Модуль GSM зв'язку призначений для зовнішнього контролю параметрів роботи виробничої лінії, надсилання у вигляді СМС-повідомлення поточних показань датчиків та параметрів роботи, сповіщення у разі виникнення аварійних ситуацій.

3.3 Розробка функціональної схеми пристрою

Оскільки в розроблюваній схемі передбачається проведення циклічного опитування датчиків, математичні розрахунки, виведення показань датчиків на індикатори та керування реле, систему доцільно виконати на базі мікроконтролера.

Як було зазначено на етапі розробки структурної схеми, периферійні пристрої системи можна умовно розділити на наступні частини: пристрої введення інформації (датчики напруги, струму, температури, датчик кількості продукції), виконуючі пристрої (електромагнітні реле), інтерфейс користувача

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

(дисплей, клавіші керування, годинник реального часу, модуль передачі даних по каналу GSM).

Підключення датчиків та виконуючих пристроїв. У системі передбачено використання датчиків як з аналоговим, так і з цифровим виходом. До аналогових датчиків належать датчики струму, що реалізовані на основі трансформаторів струму, та датчики напруги, що реалізовані на основі дільників напруги. Аналогові датчики підключені до входів аналогово-цифрового перетворювача мікроконтролера, який здійснює зчитування показань.

Датчики температури доцільно обирати з тих міркувань, що вимірювані значення температури можуть коливатися в діапазоні від 0 до 500°C. Тому для їх вимірювання доцільно використовувати термопару та спеціалізовану мікросхему-підсилювач сигналу термопари, виходом якої є значення температури в цифровому вигляді.

Датчик кількості виробленої продукції розташований безпосередньо на виході екструдера преса, тому цей датчик повинен бути стійким до впливу високих температур та механічних пошкоджень. Датчик реєструє оберти колеса з відрізним ножом, яке нормує розміри продукту (брикету), один повний оберт колеса відповідає одиниці виробленої продукції. Даний датчик доцільно реалізувати на основі гекона, що спрацьовує при проходженні повз нього постійного магніту, розташованого на колесі. Гекон підключений до цифрового входу мікроконтролера через систему опторозв'язки сигналу.

Виконуючі пристрої. Цифрові виходи мікроконтролера керують станом електромагнітних реле, що підключені в кола управління електромагнітних контакторів.

Інтерфейс користувача. Оскільки система передбачає контроль та відображення багатьох параметрів виробничої лінії, то доцільно для введення параметрів використати матричну клавіатуру, а для відображення показань – символний рідкокристалічний дисплей.

Годинник реального часу. Обов'язково вимогою до системи моніторингу та керування є відображення параметрів з прив'язкою до реального часу, тому в систему інтегровано модуль реального часу, що працює від вбудованого акумулятора.

Інтерфейс передачі даних. Для передачі даних від мікроконтролера автоматизованої системи керування до пульта оператора, зв'язку з частотним приводом двигуна, тощо потрібно використовувати промисловий, захищений від завад на апаратному рівні інтерфейс.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтерфейс RS-485 (інша назва - EIA / TIA-485) - один з найбільш поширених стандартів фізичного рівня зв'язку. Мережа, побудована на інтерфейсі RS-485, являє собою приймачі, з'єднані за допомогою витой пари - двох скручених проводів. В основі інтерфейсу RS-485 лежить принцип диференціальної (балансної) передачі даних. Суть його полягає в передачі одного сигналу по двох дротах. Причому по одному дроту (умовно А) йде оригінальний сигнал, а по іншому (умовно В) - його інверсна копія. Іншими словами, якщо на одному дроті "1", то на іншому "0" і навпаки. Таким чином, між двома проводами кручений пари завжди є різниця потенціалів: при "1" вона позитивна, при "0" - негативна.

Апаратна реалізація інтерфейсу - мікросхеми приймачів з диференціальними входами/виходами (до лінії) і цифровими портами (до портів UART контролера). RS-485 - напівдуплексний інтерфейс. Прийом і передача йдуть по одній парі проводів з поділом за часом. У мережі може бути багато передавачів, так як вони можуть відключаються в режимі прийому.

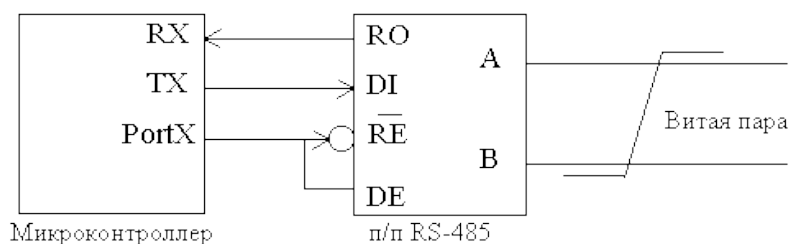


Рисунок 3.3 – Підключення по інтерфейсу RS-485

Цифровий вихід приймача (RO) підключається до порту приймача UART (RX). Цифровий вхід передавача (DI) до порту передавача UART (TX). Оскільки на диференціальної стороні приймач і передавач з'єднані, то під час прийому потрібно відключати передавач, а під час передачі - приймач. Для цього служать керуючі входи - дозвіл приймача (RE) і дозволу передавача (DE). Так як вхід RE інверсний, то його можна з'єднати з DE і переключати приймач і передавач одним сигналом з будь-якого порту контролера. При рівні "0" - робота на прийом, при "1" - на передачу.

Вибір бездротового інтерфейсу передачі даних. Для віддаленого контролю за роботою системи керування також буде використаний бездротовий GSM канал, зокрема технологія GPRS. GPRS - це технологія пакетної передачі даних в мережах GSM, яка забезпечує з'єднання віддалених пристроїв через інтернет (TCP/IP).

Технологія працює за наступним принципом: весь радіоканал розділений на таймслоти (тимчасові інтервали). У той час як режим CSD завжди використовує один слот, передача по GPRS відбувається одночасно через кілька вільних слотів, не зайнятих голосовими викликами. Таким чином, ресурси радіомережі використовуються більш ефективно, а пропускна здатність каналу збільшується до 21.4 Кбіт/сек в одному слоті.

Максимальна швидкість передачі в мережах GPRS складає 85.6 Кбіт/сек (іноді 115.2 Кбіт/сек), тоді як CSD працює на швидкості до 9.6 Кбіт/сек. Дані поділяються на пакети, відправляються в послідовний порт, а потім знову збираються на приймаючій стороні.

Адресація в GPRS відбувається не по номеру телефону, а по IP-адресою, тому передача пакетів даних здійснюється по протоколу TCP, який працює за моделлю «клієнт - сервер». Клієнт встановлює TCP-з'єднання з сервером по IP-адресою і певного TCP-порту, а сервер приймає вхідні TCP-підключення від клієнтів на даний TCP-порт.

Основні переваги технології GPRS:

- Висока швидкість опитування (в порівнянні з режимом CSD);
- Постійне з'єднання з віддалени обладнанням. Підключившись до GPRS-модему один раз, ви зможете перебувати з ним на зв'язку постійно;
- Легкість організації каналу зв'язку. Підключення відбувається по мережі інтернет, без попередньої установки голосового з'єднання (дзвінка). Вам також не доведеться встановлювати модем на стороні сервера опитування - досить, щоб диспетчерський ПК мав вихід в мережу.

3.4 Вибір елементної бази

Вибір мікроконтролера. До технічних характеристик мікроконтролера, що використовується в даному висувається ряд вимог. Мікроконтролер повинен мати достатньо високу тактову частоту для швидкої обробки даних, що надходять від датчиків, обмін даними по інтерфейсам передачі даних, здійснювати контроль параметрів. Крім того контролер повинен мати необхідну кількість виводів для підключення датчиків, виконуючих пристроїв, інтерфейсу користувача, розвинену периферію. Даним вимогам в повній мірі відповідає мікроконтролер STM32F100RBT6B.

Характеристики мікроконтролера STM32F100RBT6B:

32-бітове ядро Cortex-M3,

					ЕлІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Flash-пам'ять програм 128 КБ,
 RAM 8 КБ,
 таймер з розширеними функціями,
 шість таймерів загального призначення;
 комунікаційні інтерфейси:
 2xSPI, 2xI2C, 3xUSART,
 16-канальний 12-бітний АЦП,
 двоканальний 12-розрядний ЦАП,
 напруга живлення 2,0 ... 3,6 В;

Призначення виводів мікроконтролера показано на рис. 3.4.

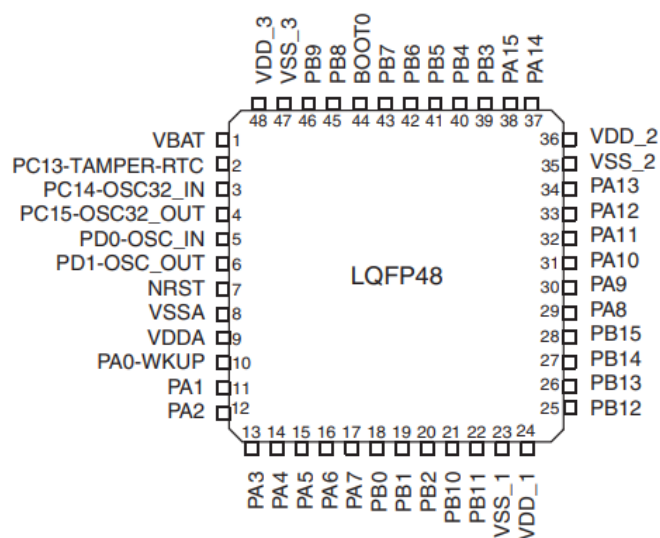


Рисунок 3.4 – Призначення виводів мікроконтролера STM32F100RBT6B.

Вибір мікроконтролера - співпроцесора. Для зменшення затрат часу на виконання задач опитування датчиків та керування виконуючими пристроями основним мікроконтролером, економію виводів основного мікроконтролера використовується співпроцесор – допоміжний мікроконтролер.

Оскільки в пристрої, що проектується, передбачено опитування восьми каналів аналогово-цифрового перетворювача, керування п'ятьма реле, то необхідно задіяти тринадцять виводів мікроконтролера.

Функцію співпроцесора в системі керування виконує мікроконтролер STM32F030F4.

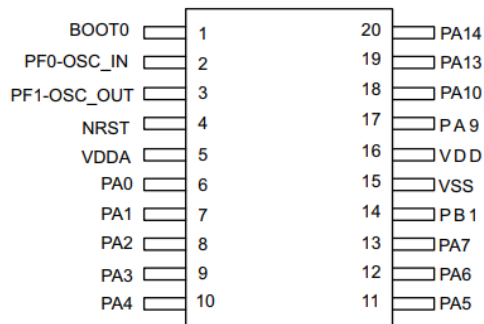


Рисунок 3.5 – Призначення виводів мікроконтролера STM32F030F4.

Характеристики мікроконтролера STM32F030F4:

Ядро: ARM Cortex-M0

Ширина шини даних: 32-біт

Тактова частота: 48 мегагерц

Кількість входів / виходів: 15

Обсяг пам'яті програм: 16 кбайт

Тип пам'яті програм: flash

Обсяг RAM: 4k x 8

Вбудовані інтерфейси: i2c, spi, uart

Вбудована периферія: dma, pwr, pwm, wdt

Напруга живлення: 2.4В ... 3.6В

Робоча температура: -40 °С ... + 85 °

Вибір дисплея. Для відображення як числової, так і текстової інформації в системі, що розробляється, потрібен дисплей з розміром інформаційного поля, достатнім для відображення великої кількості параметрів. Достатні параметри має рідкокристалічний символний дисплей WH2004.

Призначення виводів дисплея наведені в таблиці 3.1.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд дисплея WH2004

Характеристики дисплея:

- Символьний LCD дисплей 20x4
- 5x8 точок (включаючи курсор)
- Вбудований контролер (ST7066 або еквівалентний)
- + 5V (доступно для 3V)
- Негативна напруга (на вибір) для 3V
- 1/16 duty cycle

Таблиця 3.1 – Призначення виводів дисплея WH2004

№	Назва	Функція
1	Vss	Загальний (GND)
2	Vdd	Напруга живлення
3	Vo	Контрастність
4	RS	Команди / Дані
5	R / W	Читання / запис
6	E	Вибір модуля
7	DB0	Лінія даних 0
8	DB1	Лінія даних 1
9	DB2	Лінія даних 2
10	DB3	Лінія даних 3
11	DB4	Лінія даних 4
12	DB5	Лінія даних 5
13	DB6	Лінія даних 6
14	DB7	Лінія даних 7

Вибір схеми перетворювача інтерфейсу. Для забезпечення передачі даних по інтерфейсу RS-485 використовується мікросхема-перетворювач інтерфейсу MAX485. Зовнішній вигляд і призначення виводів мікросхеми показані на рис. 3.7.

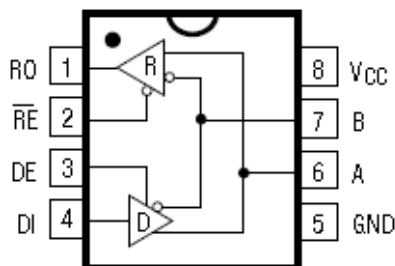


Рисунок 3.7 – Призначення виводів мікросхеми MAX485.

Таблиця 3.2 – Характеристики мікросхеми МАХ485

Швидкість (макс.), Мбіт / с	2.5
Інтерфейс	RS-485
Tx, шт	1
Rx, шт	1
Пристроїв на шині	32
Rx / Tx Enable	Так
V _{CC} , В	від 4.75 до 5.25
I _{CC} , мА	0.9
T _A , °С від	-40 до 85

Вибір модуля годинника реального часу. Мікросхема DS1307 - економічний годинник реального часу з послідовним інтерфейсом, яка містить годинник-календар з поданням інформації в двійковій-десятковому коді і 56 байт енергонезалежного статичного ОЗУ. Адреса і дані передаються по двобічній двухдротовій послідовній шині.

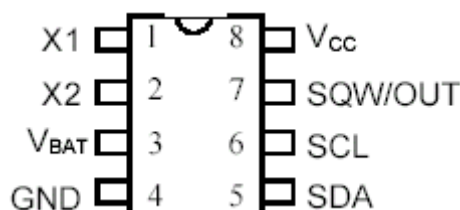


Рисунок 3.8 – Призначення виводів мікросхеми DS1307.

Характеристики мікросхеми DS1307:

- Підрахунок реального часу в секундах, хвилинах, годинах, датах місяця, місяцях, днях тижня і роках з урахуванням високосного поточного року аж до 2100 р.
- 56 байт енергонезалежного ОЗУ для зберігання даних
- 2 провідний послідовний інтерфейс
- Програмований генератор прямокутних імпульсів
- Автоматичне визначення відключення основного джерела живлення і підключення резервного
- Споживання не більше 500 нА при живленні від резервної батареї
- Виконання в 8-ми вивідних корпусах DIP або SOIC

Вибір датчиків струму. Вимірювальний тороїдальний трансформатор струму PZCT10020 для роботи в ланцюгах змінного струму з обладнанням з робочою напругою 220 В 50 Гц.

Характеристики трансформатора струму PZCT10020:

- Номінальний струм: 100 А
- Вихідний струм: 20 мА
- Коефіцієнт трансформації: 5000: 1
- Діаметр: зовнішній - 3.2 см; внутрішній - 1.6 см
- Товщина стінки: 0.7-0.8 см
- Висота: 1.6 см

Вибір датчиків температури. Термопара К-типу з цифровим підсилювачем на мікросхемі MAX6675 призначена для вимірювання температури в діапазоні від 0 до 700 градусів Цельсія. Застосування цифрового методу відліку і компенсації холодного спаю термопари забезпечують високу точність вимірювання - 0,25 градуса.

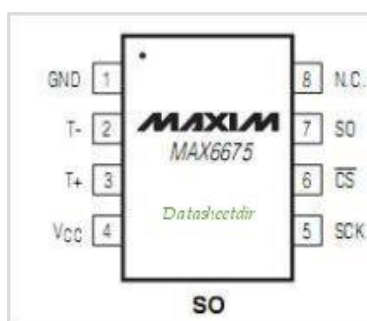


Рисунок 3.9 – Призначення виводів мікросхеми MAX6675.

Характеристики мікросхеми MAX6675:

- Робоча напруга: 3.0 ~ 5.5 В
- Тип термопари: К-тип
- Компенсація холодного спаю: інтегрована
- Інтерфейс: SPI.
- Розрядність перетворювача: 12 біт
- Діапазон вимірюваної температури датчика: 0 - 600 градусів Цельсія
- Температурне дозвіл: 0.25 градуса Цельсія

Вибір GSM модуля. Модуль SIM900 - нове рішення від компанії SIMCom, одна з моделей нового покоління недорогих модулів GSM / GPRS. SIM900.

					ЕліТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

Особливу увагу розробники SIM900 приділили питанню збільшення надійності ПО, додані режими роботи з мінімальним енергоспоживанням, значно зменшені і розміри SIM900.

SIM900 має і прошивку з підтримкою технології Embedded AT, що дає можливість запису в пам'ять модуля коду користувача на мові С. Це дозволяє (в певних випадках) відмовитися від застосування зовнішнього мікроконтролера.



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд та призначення виводів модуля SIM900.

Характеристики модуля SIM900:

- GSM: 850/900/1800/1900 МГц
- GPRS multi-slot class 10/8
- Відповідність стандарту GSM фази 2/2 +
- Клас потужності 4 (2 Вт в діапазонах 850/900 МГц)
- Клас потужності 1 (1 Вт в діапазонах 1800/1900 МГц)
- Управління AT командами (GSM 07.07, 07.05 і фірмові AT команди SIMCOM)
- Embedded AT - робота з додатками користувача
- Аудіокодеки HR, FR, EFR, AMR, придушення луни
- CSD до 14.4кбіт / с
- PPP-стек
- Вбудований стек TCP / IP, UDP / IP
- Напруга живлення 3,2 ... 4,8 В
- Робочий температурний діапазон: -40 ° С ... +85 ° С
- Розміри: 24 * 24 * 3 мм
- Маса: 6,2 г

					ЕліТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

3.5 Розробка схеми електричної принципової

Підключення мікроконтролера та співпроцесора. Схема підключення мікроконтролера STM32F100 приведена на рис. 3.11.

Мікроконтролер виконаний в 48-виводному корпусі, має три термінали живлення, які підключені до шини 3,3В. До виводів живлення контролера підключені конденсатори ємністю 0,1мкФ для зменшення перешкод по живленню. До входів OCS1 та OSC2 підключений кварцовий резонатор з частотою 8 МГц, виводи якого підключені через керамічні конденсатори на шину «землі живлення». Інші виводи мікроконтролера підключені до датчиків, периферійних пристроїв, інтерфейсу обміну даними та сконфігуровані програмно на виконання відповідних функцій.

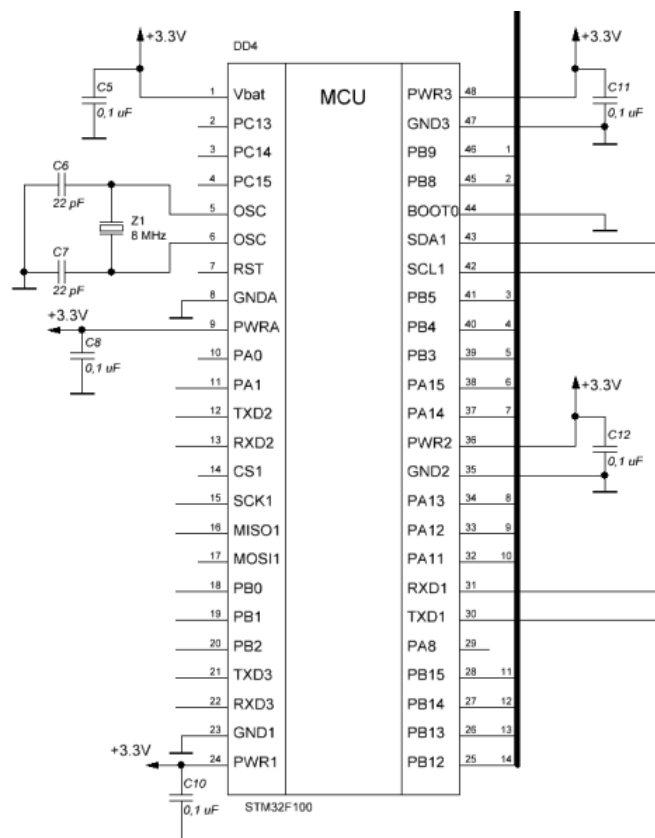


Рисунок 3.11 – Схема підключення мікроконтролера STM32F100

Співпроцесор STM32F030 виконаний в 20-виводному корпусі і має 15 портів введення-виведення для підключення датчиків, виконуючих пристроїв та обміну даними з основним мікроконтролером.

Обмін даними з основним мікроконтролером виконується по інтерфейсу UART, для цього задіяні виводи 17 (TXD) та 18 (RXD). Виводи 6 – 13

сконфігуровані як входи ADC0-ADC7 аналогово-цифрового перетворювача. До АЦП мікроконтролера підключені датчики струму та напруги.

Порти PF0, PF1, PB1, PA13, PA14 є цифровими виходами, до яких підключені виконуючі пристрої – реле.

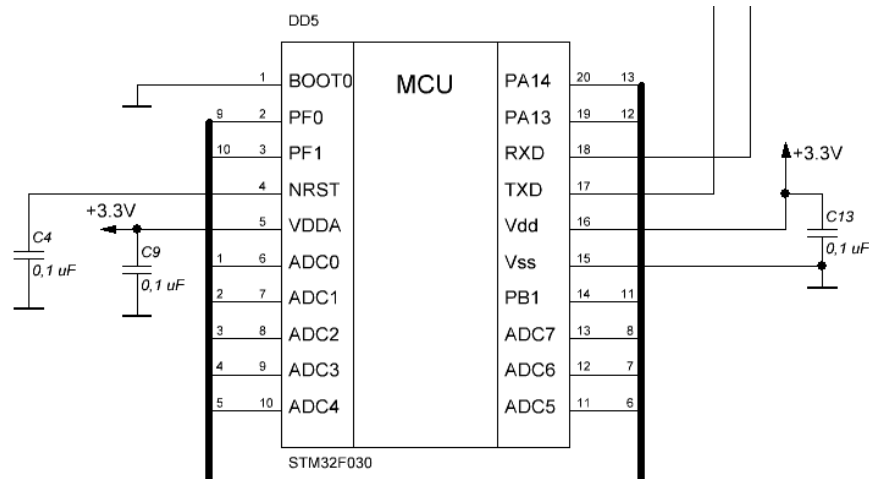


Рисунок 3.12 – Схема підключення співпроцесора STM32F030

Підключення мікросхеми перетворювача інтерфейсу RS485. Схема підключення мікросхеми MAX485 представлена на рис. 3.13. Мікросхема живиться від джерела +5В. Обмін даними з мікроконтролером відбувається по інтерфейсу UART. Оскільки інтерфейс RS-485 є напівдуплексним, то переключення між режимами прийому-передачі здійснюється за допомогою подачі логічного рівня на входи RE та DE.

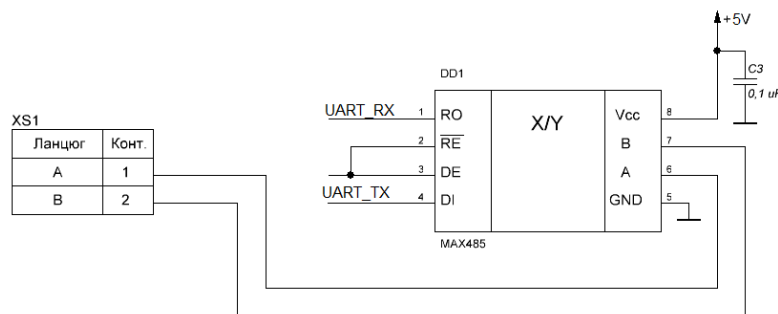


Рисунок 3.13 – Схема підключення мікросхеми MAX485

Підключення годинника реального часу. Схема підключення мікросхеми годинника реального часу DS1307 представлена на рис. 3.14. Обмін даними з мікроконтролером відбувається по інтерфейсу I²C. Шини SDA та SCL підтягнуті до шини живлення +3,3В резисторами 4,7 кОм. Живлення мікросхеми складає +3,3В. Також мікросхема живиться від батареї 3В. До входів X1 та X2 підключений кварцовий резонатор 32768 кГц.

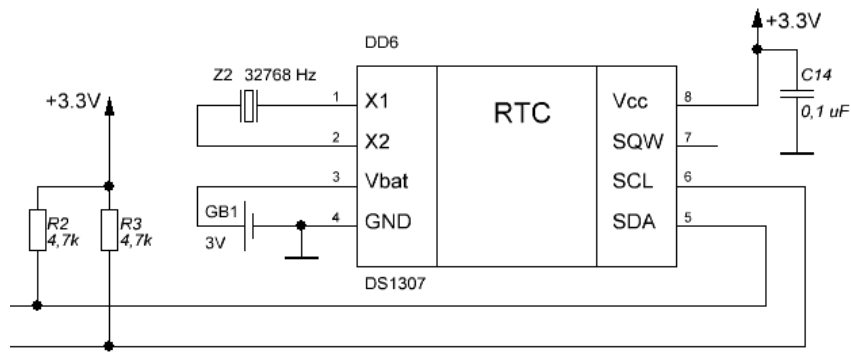


Рисунок 3.14 – Схема підключення мікросхеми годинника реального часу DS1307

Підключення GSM модуля SIM900. Схема підключення модуля SIM900 показана на рис. 3.15. Виконання по модульному принципу дає можливість підключення компонента безпосередньо до мікроконтролера без застосування додаткових компонентів. Живлення модуля складає +5В, для задавання логічних рівнів інтерфейсу обміну даними з мікроконтролером вивід Vinterf підключається до шини +3,3В. Обмін даними з мікроконтролером відбувається по інтерфейсу UART.

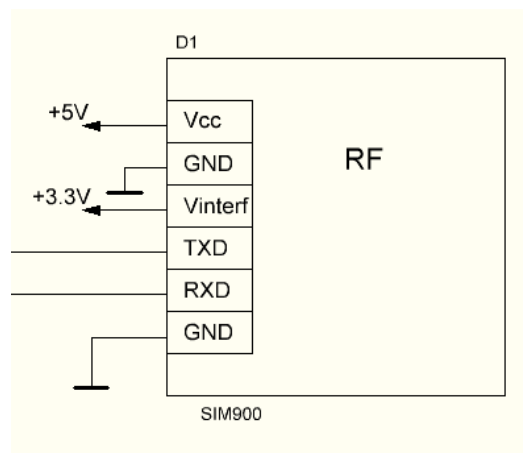


Рисунок 3.15 – Схема підключення модуля SIM900

Підключення символного дисплею. Схема підключення дисплею WH2004 представлена на рис. 3.16. Живлення дисплея складає +5В. Передача даних від мікроконтролера та керування проходить по 4 лініям даних D5-D8 та лініям керування RS та E. Регулювання контрасту виконується за допомогою змінного резистора номіналом 10 кОм, який підключений до виводу W0.

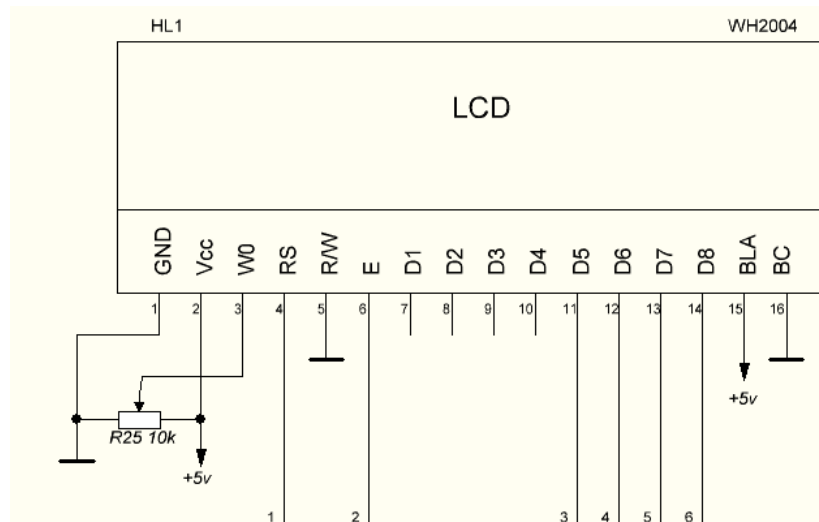


Рисунок 3.16 – Схема підключення дисплея WH2004

Підключення датчика температури МАХ6675. Схема підключення датчика МАХ6675 представлена на рис.3.17. Живлення мікросхеми складає +3,3В. До входів Т+ та Т- підключається термопара К-типу. Обмін даними з мікроконтролером відбувається по інтерфейсу, сумісним з SPI, використовуються лінії SO – лінія даних, CS – вибір активного пристрою, SCK – лінія тактування.

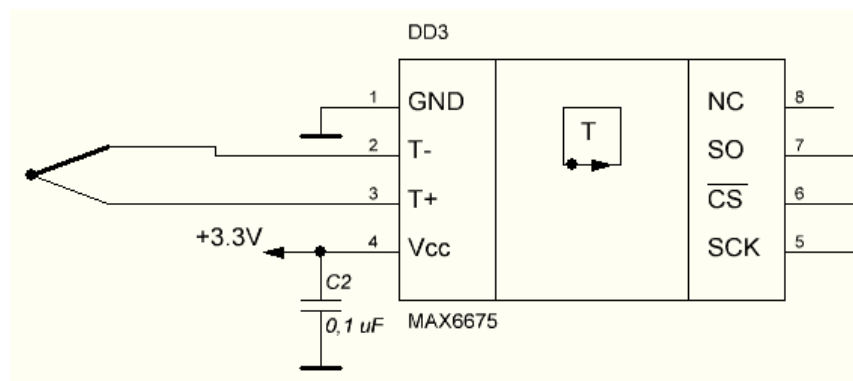


Рисунок 3.17 – Схема підключення датчика МАХ6675

Підключення датчиків напруги, струму та кількості продукції. Схема підключення датчика струму представлена на рис. 3.18. Датчик виконаний із застосуванням вимірювального трансформатора струму PZCT10020 з максимальним вихідним струмом 20 мА. Падіння напруги в результаті проходження струму знімається з резистора номіналом 100 Ом, після чого змінна напруга випрямляється за допомогою діода і згладжується на конденсаторі. Одержане значення напруги зчитується АЦП мікроконтролера.

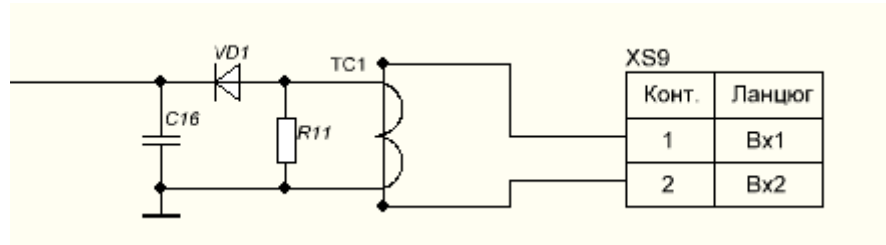


Рисунок 3.18 – Схема підключення датчика струму

Схема підключення датчика напруги представлена на рис. 3.19. Датчик виконаний із застосуванням резистивного дільника, напруга в середній точці якого складає близько 3 В, що входить в межі вимірювання АЦП. Аналогічно до принципу роботи датчика струму, напруга випрямляється діодом і згладжується на конденсаторі, після чого її значення зчитується мікроконтролером.

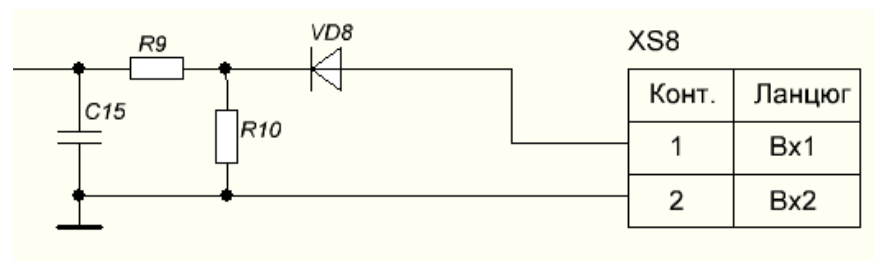


Рисунок 3.19 – Схема підключення датчика напруги

Схема підключення датчика кількості продукції на рис. 3.20. Датчик являється геконом з оптичною розв'язкою. В коло світлодіода оптрона підключений резистор номіналом 1 кОм, Напруга, що подається на геконом складає 24В . Сигнал до мікроконтролера надходить з колектора транзистора.

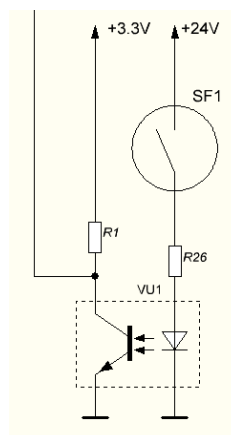


Рисунок 3.20 – Схема підключення датчика напруги

Підключення виконуючих пристроїв. Схема підключення виконуючих пристроїв – реле представлена на рис. 3.21. Котушка реле підключається в коло колектора транзистора. База транзистора підключена до мікроконтролера за через резистор номіналом 300 Ом. Силкові контакти реле підключаються до роз'єму.

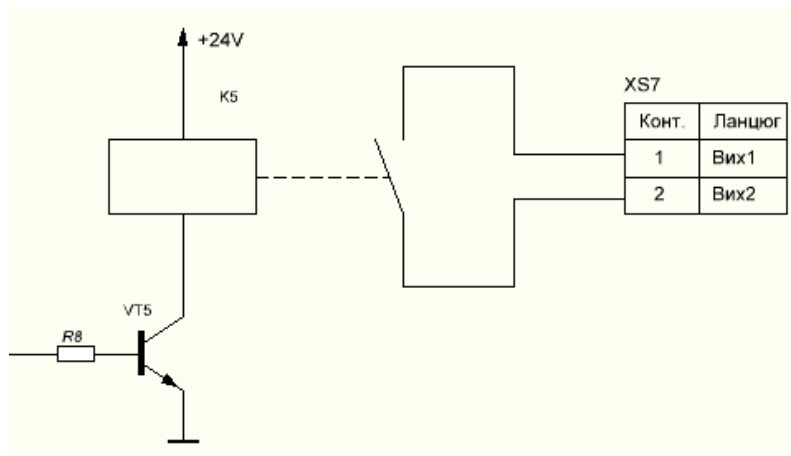


Рисунок 3.21 – Схема підключення реле

3.6 Розробка програмного забезпечення

Функція одержання показань температури:

```

//*****
unsigned int get_temp(void)
{
    unsigned int temper;
    unsigned char tmsb, tlsb;

    SPI_CS_LOW_1;
    delay_ms(10);
    tmsb=spi_send_recv(0xAA);
    tlsb=spi_send_recv(0xAA);
    delay_ms(10);
    SPI_CS_HIGH_1;

    temper = ((tmsb<<8)|tlsb);
    temper = (temper&0x7FF8);
    temper = temper>>3;

```

```
return temper;
```

```
}
```

```
//*****
```

Функція ініціалізації АЦП та отримання значень АЦП

```
//*****
```

```
void InitADC(void)
```

```
{
```

```
    RCC->APB2ENR |=RCC_APB2ENR_ADC1EN;
```

```
    ADC1->CHSELR |=ADC_CHSELR_CHSEL0; //Channel 0 of ADC
```

```
    ADC1->CFGR1 &=~ADC_CFGR1_RES; //12 bit resolution
```

```
//    ADC1->CFGR1 |=ADC_CFGR1_CONT; // continuous conversion mode
```

```
    ADC1->CR |=ADC_CR_ADCAL;
```

```
    while(ADC1->CR & ADC_CR_ADCAL){};
```

```
    ADC1->CR |=ADC_CR_ADEN;
```

```
}
```

```
//*****
```

```
uint16_t GetADC(void)
```

```
{
```

```
uint16_t adc_data;
```

```
while (!(ADC1->ISR & ADC_ISR_ADRDY)){};
```

```
ADC1->CR |=ADC_CR_ADSTART;
```

```
while (!(ADC1->ISR & ADC_ISR_EOC)){};
```

```
adc_data=ADC1->DR;
```

```
ADC1->CR |=ADC_CR_ADSTP;
```

```
return adc_data;
```

```
}
```

```
//*****
```

Функції одержання часу з годинника реального часу

```
//*****
```

```
void RTC_Read_Clock(char read_clock_address)
```

```
{
```

```
    I2C_Start(Device_Write_address);/* Start I2C communication with RTC */
```

```
    I2C_Write(read_clock_address); /* Write address to read */
```

					ЕліТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

```

    I2C_Repeated_Start(Device_Read_address);/* Repeated start with device read
address */

    second = I2C_Read_Ack();    /* Read second */
    minute = I2C_Read_Ack();    /* Read minute */
    hour = I2C_Read_Nack();      /* Read hour with Nack */
    I2C_Stop();                 /* Stop i2C communication */
}
//*****

void RTC_Read_Calendar(char read_calendar_address)
{
    I2C_Start(Device_Write_address);
    I2C_Write(read_calendar_address);
    I2C_Repeated_Start(Device_Read_address);

    day = I2C_Read_Ack();        /* Read day */
    date = I2C_Read_Ack();      /* Read date */
    month = I2C_Read_Ack();      /* Read month */
    year = I2C_Read_Nack();      /* Read the year with Nack */
    I2C_Stop();                 /* Stop i2C communication */
}
//*****

Функція обміну СМС повідомленнями модуля SIM900
//*****
int GSM_Wait_for_Msg()
{
    char msg_location[4];
    int i;
    delay(500);
    buffer_pointer=0;

    while(1)
    {
        if(buff[buffer_pointer]!='\r' || buff[buffer_pointer]!='\n') /*eliminate "\r
\n" which is start of string */

```

					ЕлІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        {
            buffer_pointer++;
        }
        else
            break;
    }

    if(strstr(buff,"CMTI:")) /* "CMTI:" to check if any new
message received */
    {
        while(buff[buffer_pointer]!=';')
        {
            buffer_pointer++;
        }
        buffer_pointer++;

        i=0;
        while(buff[buffer_pointer]!='\r')
        {
            msg_location[i]=buff[buffer_pointer]; /* copy location of
received message where it is stored */
            buffer_pointer++;
            i++;
        }
        /* convert string of position to integer value */
        position = atoi(msg_location);

        memset(buff,0,strlen(buff));
        buffer_pointer=0;

        return 1;
    }
    else
    {
        return 0;
    }
}

```

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

```

}
//*****
void GSM_Send_Msg(char *num,char *sms)
{
    idata char sms_buffer[30];
    buffer_pointer=0;
    sprintf(sms_buffer,"AT+CMGS=\"%s\"\\r",num);
    UART_SendString(sms_buffer);          /*send          command
AT+CMGS="Mobile No."\\r */
    delay(200);
    while(1)
    {
        if(buff[buffer_pointer]==0x3e) /* wait for '>' character*/
        {
            buffer_pointer = 0;
            memset(buff,0,strlen(buff));
            UART_SendString(sms);          /* send msg to given no. */
            UART_TxChar(0x1a);           /* send Ctrl+Z then only
message will transmit*/
            break;
        }
        buffer_pointer++;
    }
    delay(300);
    buffer_pointer = 0;
    memset(buff,0,strlen(buff));
    memset(sms_buffer,0,strlen(sms_buffer));
}
//*****

```

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

4 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок економічного ефекту проектного пристрою

4.1.1 Розрахунок повної собівартості розроблюваного пристрою.

Собівартість розроблюваного пристрою - це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво утворюють виробничу (заводську) собівартість, а витрати на виробництво і збут - повну собівартість. Розрахунок собівартості продукту, що розробляється за статтями витрат називається калькуляцією. Калькуляція собівартості розроблюваного пристрою здійснюється відповідно до «Типового положення з планування, обліку і калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості».

Витрати, пов'язані з виробництвом і збутом (реалізацією) розроблювального пристрою групуються за такими статтями:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування від заробітної плати;
- матеріали і комплектуючі;
- оренда машинного часу або РСЕО;
- виробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- поза виробничі (комерційні витрати).

1) Матеріали та комплектуючі виробу. Розглядаються виходячи з відомостей на матеріали, сировину, комплектуючі, кооперацію, яка припадає на одиницю випуску. Згруповані однорідні електричні компоненти розроблювального пристрою представлені в табл. 4.1, витрати на сировину і матеріали представлені в табл. 3.2. Ціни на комплектуючі взяті з Інтернет-магазину «Kosmodrom» - <http://www.kosmodrom.com.ua> станом на 13.12.2020.

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат (кт.з. = 5-15%) вартість комплектуючих і матеріалів становить:

$$\begin{aligned} KM &= \frac{(K + M) \cdot (100 + k_{m.p.})}{100} = \frac{(1000 + 100,00) \cdot (100 + 10)}{100} \\ &= 1100,0 \text{ (Грн)} \end{aligned} \quad (4.1)$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		69

Таблиця 4.1 – Комплектуючі, що припадають на одиницю випуску

Назва	Ціна, грн
1. Мікроконтролер STM32F100	75,00
2. Мікроконтролер STM32F030F4	40,00
3. Модуль SIM900	300,00
4. Мікросхема MAX6675 (2 шт.)	150,00
5. Мікросхема MAX485	28,00
6. Мікросхема DS1307	17,00
7. Дисплей WH2004	230,00
8. Резистори, конденсатори	50,00
9. Дроти	40,00
10. Роз'єми	70,00
Всього	1000,00

Таблиця 4.2 – Витрати на сировину і матеріали

Матеріал, сировина	Одиниця вимірювання	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Каніфоль	кг	0,1	30	3
Флюс з припоєм	кг	0,1	120	12
Фарба	кг	0,7	100	70
Сировина для корпусу	кг	0,2	150	30
Сумарні витрати				115,00

2) Витрати на основну заробітну плату. Роботи по розробці пристрою ведуться в апаратній області. Для реалізації апаратної частини пристрою необхідний 1 інженер – електронщик, який розробить схему структурну, функціональну, електричну принципіву, конструкторську документацію і реалізує пристрій.

									Арк.
									70
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ				

Для виконання всіх робіт, орієнтовно буде витрачено 1 місяць, Коли апаратна частина пристрою буде розроблена, починається виробництво пристрою, яке приблизно займе 1 робочий день.

Витрати на основну заробітну плату розраховуються, використовуючи наступне співвідношення:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n T_{\Gamma_i} \cdot H_{\text{ч}_i}, \quad (4.2)$$

де T_{Γ_i} - середня годинна тарифна ставка 1 робочого задіяного у виробництві продукту (грн. / год);

$H_{\text{ч}_i}$ - витрачений працівником час на виготовлення і налагодження приладу (годин.);

n - кількість працівників задіяних у виробництві.

Основна заробітна плата для кожного працівника розраховується індивідуально. При восьмигодинному робочому дні, термін роботи для інженера 1 міс. = 21 р.д. = 168 годин. Орієтовна середньочасова трудова ставка становить:

$$T_{\Gamma_i} = \frac{T_{\text{м}_i}}{B_{\Phi_i} \cdot 8}, \quad (4.3)$$

$T_{\text{м}_i}$ - місячна заробітна плата фахівця (грн.);

B_{Φ_i} - фактично відпрацьований час за розрахунковий період (місяць), днів (змін);

8 - кількість відпрацьованих годин за зміну.

$$T_{\Gamma_i} = \frac{T_{\text{м}_i}}{B_{\Phi_i} \cdot 8} = \frac{5040}{21 \cdot 8} = 30 \text{ (грн/год)} \quad (4.4)$$

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n T_{\Gamma_i} \cdot H_{\text{ч}_i} = 30 \cdot 8 = 240 \text{ (грн)} \quad (4.5)$$

3) Додаткова заробітна плата. Складає в середньому 10 ÷ 30% від основної заробітної плати. До неї відносяться премії, заохочення, позаурочні, святкові.

$$Z_d = Z_0 \frac{K_d}{100}, \quad (4.6)$$

де K_d - відсоток додаткової заробітної плати.

$$Z_d = Z_0 \frac{K_d}{100} = 240 \cdot \frac{10}{100} = 24 \text{ (грн)} \quad (4.7)$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4) Відрахування від заробітної плати. До таких відрахувань відносяться: відрахування в пенсійний фонд - 33,2%, соціальне страхування - 2,9%, фонд зайнятості (безробіття) - 1,9%, нещасні випадки на виробництві - 0,5 - 1,0. Загалом, відрахування від заробітної плати становлять 38,52%.

$$V_{\text{соц}} = (Z_0 + Z_d) \cdot \frac{(38,52)}{100} = (240 + 24) \cdot \frac{38,52}{100} = 101,7 \text{ (грн)} \quad (4.8)$$

5) Витрати на утримання і експлуатацію обладнання. Так як робоче виробниче обладнання знаходиться на балансі підприємства, витрати на утримання та експлуатацію устаткування (ВУЕУ) = заробітна плата · % ВУЕУ (приймаємо % ВУЕУ = 120-150%), тобто маємо: $240 \cdot 1,2 = 288$ (грн).

6) Загальновиробничі витрати. Являють собою витрати, пов'язані з управлінням підрозділу, витрати на службові відрядження працівників цеху (підрозділу), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальноцехового призначення і т. д.

Визначаються в розмірі 130-250% від основної заробітної плати:

$$240 \cdot 1,5 = 360 \text{ (грн).}$$

Сума статей 1.1 - 1.6 являє виробничу собівартість приладу (установки).

$$\text{Маємо: } 1215 + 240 + 24 + 101,7 + 288 + 360 = 2228,7.$$

7) Адміністративні витрати. Можуть містити в собі:

- витрати, пов'язані з управлінням підприємства;
- витрати на службові відрядження адміністрації підприємства;
- витрати на пожежну і сторожову охорону;
- витрати, пов'язані з підготовкою (навчанням) і перепідготовкою кадрів;
- витрати на перевезення працівників до місця роботи і назад;
- витрати на оплату відсотків за фінансові кредити, а також відсотків за товарні і комерційні кредити; витрати, пов'язані з оплатою відсотків за користування матеріальними цінностями, взятими в оренду (лізинг);
- витрати, пов'язані з оплатою послуг комерційних банків та інших кредитно-фінансових установ;
- податкові відрахування.

Визначаються в розмірі 140-200% відсотків від основної заробітної плати. Оціночно адміністративні витрати складуть 160% від Z_0 - 384 грн.

8) Витрати на збут. Включають витрати на рекламу і на підготовку приладу перед реалізацією. Орієнтовно ці витрати визначаються в розмірі 5-10% від виробничої собівартості. Оціночно витрати на збут складуть 222,9 грн.

									Арк.
									72
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ				

Сума статей 1.1-1.8 виявляє повну собівартість приладу:
 $2228,7 + 384 + 222,9 = 2835,6$ (грн).

Таблиця 4.3 - Калькуляція собівартості приладу

Назва	Ціна, грн
1. Матеріали і комплектуючі виробу	1100
2. Витрати на сировину і матеріали	115
3. Витрати на основну заробітну плату	240
4. Додаткова заробітна плата	24
5. Відрахування від заробітної плати	101,7
6. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	288
7. Загальновиробничі витрати	360
Виробнича собівартість	2228,7
8. Адміністративні витрати	384
9. Витрати на збут	222,9
Повна собівартість приладу	2835,6

4.1.2 Визначення ціни приладу

1) **Розрахунок оптової ціни приладу.** У ринковій економіці існують різні методи ціноутворення: собівартість плюс прибуток, забезпечення фіксованого обсягу прибутку, в залежності від рівня попиту і т. д. Розрахунок оптової ціни приладу проводиться за схемою «собівартість плюс прибуток». Відповідно до даної методики оптова ціна виробу визначається як:

$$C_{\text{опт.}} = C + П, \quad (4.9)$$

де C - повна собівартість приладу;

$П$ - розмір прибутку.

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції встановленого підприємством:

$$R = \frac{П}{C} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

де R - рентабельність продукції (продукту), приймається в розмірі 35%.

Тоді оптова ціна визначається:

$$C_{\text{опт.}} = C + \frac{R \cdot C}{100} = 2835,6 + \frac{0,35 \cdot 2835,6}{100} = 3828 \text{ (грн)} \quad (4.11)$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		73

2) Відпускна ціна приладу. Відпускна ціна приладу включає податок на додаткову вартість:

$$C_{\text{відп.}} = C_{\text{опт.}} \cdot 1,2 = 3828 \cdot 1,2 = 4593,6 \text{ (грн)} \quad (4.12)$$

де 20% - ПДВ.

Позитивні сторони даної методики полягають в її простоті, комплексної очевидності такої функції ціни як відшкодування витрат на виробництво і забезпечення прибутковості від створення і реалізації ПО. Недолік даної методики полягає в тому, що вона недостатньо враховує ринкові чинники ціноутворення і насамперед попит. Однак у реальній перехідній економіці існують ситуації, коли підприємствам доцільно її застосовувати: в умовах відсутності конкуренції (монополії), при обмеженні рентабельності продукції з боку держави, виконанні одноразових замовлень, виготовленні оригінальної продукції.

Для встановлення реальної ціни, яка б відповідала умовам існуючого ринку приладу, потрібні маркетингові дослідження.

4.1.3 Визначення річних витрат користувача.

Річні експлуатаційні витрати включають витрати на електричну енергію (живлення приладу), заробітну плату обслуговуючого персоналу, амортизаційні відрахування, витрати на поточний ремонт та інші витрати.

1) Витрати на електричну енергію визначаються за формулою:

$$V_e = W \cdot C_e \cdot t, \quad (4.13)$$

де W потужність приладу, кВт;

C_e - вартість одного кВт · год, грн/кВт · год;

t - час роботи приладу за рік.

Вартість електроенергії для промислових користувачів на 13.12.2020 становить 2,76 грн / кВт · год; кількість днів роботи приладу в році - 240.

Потужність приладу складає 40 Вт.

$$V_e = W \cdot C_e \cdot t = 0,04 \cdot 2,76 \cdot 240 \cdot 16 = 424 \text{ (грн)} \quad (4.14)$$

2) Розрахунок витрат на заробітну плату персоналу, який обслуговує прилад в разі потреби за формулою:

$$Z_{\text{оп}} = \sum_{j=1}^m T_{mj} \cdot k_{zj} \cdot k_{dj} \cdot k_{cj} \cdot \varphi_j \cdot 12, \quad (4.15)$$

де T_{mj} - місячний оклад (ставка) фахівця j -ї професії;

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

kz_j - коефіцієнт зайнятості (залежить від часу обслуговування приладу фахівцем j -ої професії);

kd_j - коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату (приймається $kd_j = 1,1-1,3$);

kc_j - коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну плату (береться $kc = 1,363$);

$Ч_j$ - кількість фахівців j -ої професії;

m - кількість професій.

$$Z_{оп} = \sum_{j=1}^m T_{mj} \cdot kz_j \cdot kd_j \cdot kc_j \cdot Ч_j \cdot 12 = 4700 \cdot 0,05 \cdot 1,2 \cdot 1,363 \cdot 1 \cdot 12 \quad (4.16)$$

$$= 2306,20(\text{грн})$$

Таблиця 4.4 - Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Вид обслуговування	Професія	Оклад, грн	Коефіцієнт зайнятості	Кількість персоналу, чол.		Річна заробітна плата, грн	
				По приладу аналога	По приладу проекту	По приладу аналога	По приладу проекту
Ремонт	Інженер	4700	0,05	1	1	4000	2306,2
Всього				1	1	4000	2306,2

3) Річна сума амортизаційних відрахувань визначається за відповідними нормами амортизації від первинної вартості приладу, яка включає: ціну приладу, витрати на транспортування і монтаж, які приймаються в розмірі 5-15% від ціни, приймаємо 5232,6 грн.

Амортизацію електронних приладів має сенс розраховувати прямолінійним методом:

$$A = F \cdot a = 4593,6 \cdot 0,10 = 509,36 \text{ (грн)}, \quad (4.17)$$

де F - первинна вартість приладу;

a - річна норма амортизації,

$$F = C_{розд.} + B_{т.м.} = 4593,6 + 500 = 5093,6 \text{ (грн)}, \quad (4.18)$$

де $C_{розд.}$ - роздрібна ціна приладу;

$B_{т.м.}$ - витрати на транспортування і монтаж приладу.

Річна норма амортизації розраховується прямолінійним методом відповідно до терміну корисного застосування приладу:

$$a = \frac{1}{T_{\text{заст.}}} = \frac{1}{10} = 0,10, \quad (4.19)$$

де $T_{\text{заст.}}$ - строк корисного використання приладу, років. Відповідно до нового Податкового кодексу України дозволяється не менше 2 років.

4) Витрати на поточний ремонт та інші витрати включають в себе вартість електронних елементів, які виходять з ладу протягом року і вартість демонтажних і монтажних робіт. Витрати на ремонт приймаються рівними 5% від капітальних витрат з урахуванням прогнозування відмов:

$$B_{\text{п.р.}} = \frac{F \cdot k_{\text{п.р.}}}{100} = \frac{5093,6 \cdot 5}{100} = 254,68 \text{ (грн)}, \quad (4.20)$$

де $k_{\text{п.р.}}$ - відсоток витрат на поточний ремонт.

Таблиця 4.5 - Річні експлуатаційні витрати користувача

Статті експлуатаційних витрат	Річні експлуатаційні витрати, грн	
	Прилад-аналог	Проектний прилад
Вартість електроенергії	500	424,00
Витрати на обслуговування приладу	4000	2306,2
Амортизаційні відрахування	600	509,36
Витрати на поточний ремонт	300	254,68
Всього (Вр.е)	5400	3494,24

4.1.4 Розрахунок повної ціни користувача.

Ціна користувача $C_{\text{кор.}}$. Включає в себе капітальні вкладення F і сумарні річні витрати на експлуатацію приладу $B_{\text{р.е.}}$ протягом застосування приладу:

$$C_{\text{кор.}} = F + B_{\text{р.е.}} \cdot T_{\text{заст.}} = 5093,6 + 3494,24 \cdot 10 = 40036 \text{ (грн)} \quad (4.21)$$

4.1.5 Оцінка конкурентоспроможності проектного приладу.

Для оцінки конкурентоспроможності застосовується комплексний показник конкурентоспроможності $Q_{\text{кон.}}$, Що визначається за інтегральними показниками конкурентоспроможності приладів:

$$Q_{\text{кон.}} = \frac{Q_{\text{н.п.}} \cdot Q_{\text{т.}}}{Q_{\text{е.}}}, \quad (4.22)$$

де $Q_{н.п.}$ - інтегральний показник за нормативними параметрами (може приймати виключно два значення: нуль, якщо прилад не відповідає обов'язковим для даного ринку нормам і стандартам (частота і напруга живлення, точність вимірювання, конструктивні розміри), і одиницю, якщо відповідає. В проектному приладі $Q_{н.п.} = 1$);

Q_m - порівняльна конкурентоспроможність приладу по його технічному рівню (наприклад, якщо швидкість передачі, або пропускна здатність приладу збільшена у 2,5 рази, то $Q_m = 2,5$);

Q_e - інтегральний економічний показник.

Таблиця 4.6 - Порівняння техніко-економічних показників системи-аналога і проектної електронної системи

Показники	Одиниця вимірювання	Значення	
		прибор-аналог	проектний прилад
Технічні:			
Потужність приладу	Вт	15	40
Середнє напрацювання на відмову	год	24	24
Маса	кг	1,5	1,2
Економічні:			
Відпускна ціна	грн	8000	4593,6
Річні експлуатаційні витрати користувача	грн	5400	3494,24
Повна ціна користувача	грн	62000	40036
Показник якості за технічним рівнем		1	1
Інтегральний економічний показник конкурентоспроможності		1,7	0,6
Комплексний показник конкурентоспроможності		0,6	1,7

Конкурентоспроможність по економічному показнику Q_e визначається за ціною користування виробів:

$$Q_e = \frac{C_{\text{вик.пр.}}}{C_{\text{вик.ан.}}}, \quad (4.23)$$

де $C_{\text{вик.пр.}}$ - ціна використання проектного приладу;

$C_{\text{вик.ан.}}$ - ціна застосування приладу-аналога.

Якщо коефіцієнт конкурентоспроможності $Q_{\text{кон.}}$ більше одиниці, відповідно система є конкурентоспроможною.

Висновки: з урахуванням розрахованих параметрів, можна зробити висновок про те, що розробка і впровадження даного пристрою має техніко-економічний сенс, так як він має високі експлуатаційні якості, більш низьку в порівнянні з аналогами вартість.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У даному дипломному проекті розроблена електронна система контролю технологічного процесу на малому виробничому підприємстві з виготовлення паливного брикету. Для управління таким виробництвом передбачено контроль робочих параметрів двигунів (сила струму, напруга), температури нагрівачів, а також керування шляхом передачі даних по мобільній мережі стільникового зв'язку. Розроблена система може бути інтегрована в уже існуючу систему керування виконуючими пристроями.

У літературному огляді було проведено аналіз проблем та завдань сучасної промислової автоматизації, здійснено огляд сучасних систем управління виробництвом, розглянуто принципи керування.

У науково-дослідній частині проведено дослідження принципів пропорційно-інтегрально-диференційного регулювання, розглянуто приклад регулювання температури.

З використанням даних, описаних у першому та другому розділах, було розроблено алгоритм роботи, структурну, функціональну та принципову електричну схеми системи контролю технологічного процесу на малому виробничому підприємстві, розроблено програмне забезпечення.

В економічній частині здійснено розрахунки собівартості пристрою, річних експлуатаційних витрат користувача, конкурентоспроможності розробленої системи.

					ЕліТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Современные технологии промышленной автоматизации: учебник / О. В. Шишов. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2017. – С. 78-85.

2. Исмаилов Т. А. Термостабилизация электронных плат с плотной компоновкой с использованием термоэлектрических преобразователей / Т. А. Исмаилов, Т. Э. Саркаров, Ш. А. Юсуфов // Термоэлектрики и их применения: ст. сб. тр. конф. – Санкт-Петербург: Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, 2015. – С. 502-506.

3. Галемов Р. Т. Адаптация ПИД-регулятора поисковым методом / Р. Т. Галемов // Интеллектуальные энергосистемы: ст. сб. тр. конф – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. – С. 102-106.

4. Луков Д. К. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / Д. К. Луков, Д. С. Богданов, А. В. Щагин // Научное сообщество студентов 21 столетия. Технические науки: ст. сб. ст. – Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников “Сибирская академическая книга”, 2017. – С. 334-338.

5. Кузицин В. Ф. Система регулирования с ПИД-регулятором, автонастройкой и алгоритмом максимального быстродействия / В. Ф. Кузицин, Е. Ф. Мерзликина, Хоанг Ван Ва // Математические методы в технике и технологиях. – 2017. – Т. 10. – С. 21-25.

6. Сидорова А. А. Выбор эффективного метода настройки ПИД-регулятора / А. А. Сидорова // Современные информационные технологии: ст. сб. тр. конф. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2018. – С. 175-176.

7. Иванченко М. Н. Программное обеспечение для исследования, настройка и моделирование ПИД-регулятора / М. Н. Иваченко // Фундаментальные исследования, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем: ст. сб. тр. конф. – Новочеркасск: ООО “Лик”, 2017. – С. 139-140.

8. Алёнов А. А. Использование твердотельного реле / А. А. Алёнов // Научные исследования и разработка в эпоху глобализации: ст. сб. тр. конф. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью “Аэтерна”, 2016. – С. 11-14.

9. Лакеенков И. П. Твердотельное реле: особенности устройства и причины, влияющие на работоспособное состояние полупроводникового прибора / И. П. Лакеенков, Н. В. Углова // Качество продукции: контроль,

					ЕЛТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						80
Эм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

управление, повышение, планирование: ст. сб. тр. конф. – Курск: Закрытое акционерное общество “Университетская книга”, 2017. – С. 14-17.

10. Современные технологии промышленной автоматизации: учебник / О. В. Шишов. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 273 с. ISBN 5-7103-1123-5.

11. Ванюшин, М. М. Занимательная электроника и электротехника для начинающих и не только / М. Ванюшин. - СПб.: Наука и техника, 2016. – С. 102-106.

12. Вознесенский, А.С. Электроника и измерительная техника / А.С. Вознесенский, В.Л. Шкуратник. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. – С. 154-164.

13. Кузовкин, В.А. Электротехника и электроника: Учебник для бакалавров / В.А. Кузовкин, В.В. Филатов. - Люберцы: Юрайт, 2016. – С. 323-329.

14. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев.. - М.: КноРус, 2019. – С. 273-281.

15. Bakule L. / Decentralized Control: An Overview // Annual Reviews in Control. – 2008. – V. 32. – P. 87–98.

16. Barth M., and A. Fay. / Automated Generation of Simulation Models for Control Code Tests // Control Engineering Practice. – 2013. – V. 21. – P. 218–230.

17. Dotoli M., A. Fay, M. Miśkiewicz, and C. Seatzu. / Advanced Control in Factory Automation: a Survey. // International Journal of Production Research. - 2016. – V. 55 (5). – P. 1243–1259.

18. Eckert K., A. Fay, T. Hadlich, C. Diedrich, T. Frank, and B. Vogel-Heuser / Enhancing a Model-Based Engineering Approach for Distributed Manufacturing Automation Systems with Characteristics and Design Patterns // Journal of Systems and Software. - 2015. – V.101. – P. 221–235.

19. Grüner S., J. Pfrommer, and F. Palm. / RESTful Industrial Communication with OPC UA. // IEEE Transactions on Industrial Informatics. - 2016. – V.12 (5). – P.1832–1841.

20. Hwang G. S., J. C. Lee, J. W. Park, and T.-W. Chang / Developing Performance Measurement System for Internet of Things and Smart Factory Environment // International Journal of Production Research. - 2017. – V.55 (9). – P. 2590–2602.

21. Karnouskos S., and P. Leitão / Key Contributing Factors to the Acceptance of Agents in Industrial Environments // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2017. – V.13 (2). – P. 696–703.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.154 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		