

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Інститут електроенергетики  
(інститут)  
Факультет інформаційних технологій  
(факультет)  
Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи магістра**

Студента Бабенко Сергія Олександровича  
(ПІБ)

Академічної групи 123М-19-1  
(шифр)

Спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 123 Комп'ютерна інженерія  
(офіційна назва)

освітній рівень магістр  
(назва освітнього рівня)

на тему: “Обґрунтування параметрів комп'ютерної системи  
електроплавильної дільниці”

Виконавець: студент 6 курсу, групи 123М-19-1 \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бабенко С.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	доц. Шедловський І.А.			
Розділів:				
Теоретичний розділ	доц. Шедловський І.А.			
Синтез системи	доц. Ткаченко С.М.			
Розроблення програмного забезпечення	ас. Бешта Л.В.			
Експериментальний розділ	доц. Ткаченко С.М.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	Проф.Цвіркун Л.І.			
----------------	-------------------	--	--	--

Дніпро  
2020

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Завідувач кафедри  
Інформаційних технологій та  
комп'ютерної інженерії  
проф. Гнатушенко В.В.

"1" жовтня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**

*магістра*

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту групи 123м-19-1 Бабенко Сергію Олександровичу  
(група) (прізвище, ім'я та по батькові)

**Тема кваліфікаційної роботи** "Обґрунтування параметрів  
комп'ютерної системи електроплавильної дільниці"

*затверджена наказом ректора НТУ "Дніпровська політехніка"*  
*від «22» 10 2020 р. № 888-с*

<b>Розділ</b>	<b>Зміст</b>	<b>Термін виконання</b>
<b>Стан питання і завдання дослідження</b>	<i>На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел обґрунтувати необхідність досліджень роботи комп'ютерної мережі.</i>	<i>01.10.2020 р.</i>
<b>Теоретична частина</b>	<i>На основі науково-технічних джерел проаналізувати теоретичні методи дослідження комп'ютерних мереж</i>	<i>15.10.2020 р.</i>
<b>Синтез комп'ютерної системи підприємства</b>	<i>На основі характеристик комп'ютерної системи розробити програму людино-машинного інтерфейсу, налаштування комп'ютерної мережі.</i>	<i>01.11.2020 р.</i>
<b>Експериментальний розділ</b>	<i>Розробити математичну модель комп'ютерної мережі, провести обчислювальний експеримент і розробити рекомендації що до покращення її параметрів.</i>	<i>15.11.2020 р.</i>
<b>Графічна частина</b>	<i>Графічні результати роботи подати у вигляді рисунків схем таблиць на 10 арк. формату А4.</i>	<i>05.12.2020 р.</i>

Завдання видав, кер. роботи

доц. Шедловський І.А.  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання

Бабенко С.О.  
(підпис)

Дата видачі завдання 01.10.2020 р.

Термін подання дипломної роботи до ДЕК 10.12.2020 р.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 123 с., 32 рис., 3 табл., 2 додатки, 24 джерела.

**Об'єкт дослідження:** Компютерна мережа металургійного підприємства з електроплавильною дільницею, що лежить в основі забезпечення роботи як виробничих складових, менеджменту та безпеки в організаційній структурі.

**Мета:** Удосконалення комп'ютерної мережі підприємства.

Визначити вузли мережі, на які найсильніше впливає інформаційне перевантаження мережі.

Визначити умови, та параметри властивостей технічних пристроїв мережі за яких може виникнути втрата працездатності.

Розробити рекомендації що до модернізації мережі для підвищенні її стійкості до перевантажень. Визначення найбільш «слабких» вузлів комп'ютерної мережі, які у випадку перевантаження приводять до втрати працездатності мережею і розробка рекомендацій для вирішення такої проблеми.

**Практичні результати:** визначення недоліків і шляхів удосконалення комп'ютерної мережі досягаються завдяки використанню наукового підходу до вирішення поставлених завдань. Застосовані наукові розробки з моделювання комп'ютерних мереж показали свою достовірність у багатьох прикладах їх застосувань.

Результати перевірки у вигляді таблиць, графіків описані і наводяться у пояснювальній записці та додатках.

СИСТЕМА, КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА, НАЛАШТУВАННЯ,  
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ТЕОРІЯ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

## ЗМІСТ

	Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	6
	Вступ	7
1	Стан питання і постановка завдання дослідження	9
1.1	Загальна характеристика об'єкта управління	9
1.2	Галузь застосування комп'ютерної системи	14
1.2.1	Характеристика і структура дугової печі	14
1.2.2	Система контролю потужності печі	16
1.3	Функціональні особливості комп'ютерної системи	19
1.4	Стандарти і уніфікація технічних та інформаційних складових комп'ютерної системи	22
1.4.1	Завдання дослідження	24
2	Теоретична частина	26
2.1	Розрахунок основних характеристик трафіку комп'ютерної мережі	26
2.1.1	Розрахунок трафіку ПЛК системи управління	26
2.1.2	Попередня оцінка пропускної здатності найбільшого сегмента мережі рівня підприємства	27
2.1.3	Імітаційна модель мережі в пакеті CiscoPacketTracer	30
2.2	Математичне моделювання мережі як системи масового обслуговування	32
2.2.1	Властивості стаціонарних пуасонівських потоків	32
2.2.2	Поняття розімкнутої мережі	34
2.2.3	Класична схема розрахунку ймовірностей стану замкнутих мереж масового обслуговування	38
2.2.4	Алгоритм згортання	43
3	Синтез комп'ютерної системи	48
3.1	Структура комплексу технічних засобів комп'ютерної системи та мережі підприємства	48
3.2	Характеристики апаратних засобів комп'ютерної системи	51
3.3	Характеристики апаратних засобів комп'ютерної мережі	57
3.4	Особливості адресації в комп'ютерній системі	60
3.4.1	Базове налаштування пристроїв мережі та розробка програми налаштування	61
3.4.2	Розробка алгоритму роботи системи	62
3.5	Розробка програмнозабезпечення	64
3.5.1	Призначення і область застосування програми	64
3.5.2	Обґрунтування технічних характеристик програми	64

	3.5.2.1 Постановка завдання на розробку програми	64
	3.5.2.2 Опис алгоритму функціонування програми	65
3.5.3	Опис і обґрунтування вибору методу організації вхідних та вихідних даних	66
	3.5.3.1 Опис і обґрунтування вибору та складу технічних та програмних засобів	66
3.5.4	Опис розробленої програми	67
	3.5.4.1 Загальні відомості	67
	3.5.4.2 Функціональне призначення	67
	3.5.4.3 Опис логічної структури програми	67
	3.5.4.4 Використані технічні засоби	68
	3.5.4.5 Виклик і завантаження програми	68
	3.5.4.6 Вхідні і вихідні дані	69
3.5.5	Очікувані техніко-економічні показники	69
4	Експериментальний розділ	70
4.1	Розробка математичної моделі мережі як замкнутої системи масового обслуговування	70
4.2	Розрахунок параметрів мережі по її моделі	72
	4.2.1 Параметри роботи мережі без впливу шкідливого програмного забезпечення	75
	4.2.2 Параметри роботи мережі під впливом вірусних програм	77
4.3	Робота мережі із скоригованими характеристиками проблемних вузлів	79
	Висновки	80
	Перелік посилань	85
	Додаток А. Текст програми комп'ютерної системи керування електродом електроконвертора	88
	Додаток Б. Текст програми математичної моделі мережі	105

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

- **ОЗП – оперативний запомнюючий пристрій;**
- АРМ – автоматизоване робоче місце;
- КІСП – комп'ютерна інформаційна система підприємства;
- ЛОМ – локальна обчислювальна мережа;
- ПЛК – програмований логічний контролер;
- LAN – локальна мережа;
- КМ – комп'ютерна мережа;
- СМО – система масового обслуговування;
- МеМО – мережа масового обслуговування.

## ВСТУП

Сферою впровадження комп'ютерної системи є дугова сталеплавильна піч. Електросталеплавильний процес найбільш активно розвивається у США, де за 40 років (1965–2005 р.) він збільшився більш ніж у 5 разів: з 10 до 55%. У Японії та Німеччині даний процес розвивався не так інтенсивно і в наш час його частка в цих країнах становить близько 25 і 30% відповідно. Дуже інтенсивно розвивається електросталеплавильний процес у Південній Кореї (з 30 до 45%). Частка електросталі в Україні найнижча, і, незважаючи на деякий підйом у 2005-2007 рр., становить 10%.

Але починаючи з 2012 року ситуація покращилась тому, що на світовий ринок, та ринок України появився такий гігант як «Інтерпайп Сталь» металургійний електросталеплавильний завод, ключовий інвестиційний проект компанії «Інтерпайп».

Одним із шляхів, що дозволяє підприємству підвищити рівень виробництва є розробка і впровадження нової системи керування, що дозволить підприємству підвищити ефективність. Ефект може бути досягнутий за рахунок автоматизації контролю і керування технологічними циклами ділянки і його обладнання.

**Мета роботи і завдання дослідження.** Удосконалення комп'ютерної мережі підприємства. Визначити вузли мережі, на які найсильніше впливає інформаційне перевантаження мережі. Визначити умови, та параметри властивостей технічних пристроїв мережі за яких може виникнути втрата продуктивності. Розробити рекомендації що до модернізації телекомунікаційного обладнання для підвищенні її стійкості до перевантажень.

**Об'єкт дослідження.** Комплекс технічних засобів та структура телекомунікаційного обладнання комп'ютерної системи підприємства, що лежить в основі забезпечення роботи, менеджменту, фінансових служб, транспорту та безпеки в організаційній структурі. Також комп'ютерна

мережа забезпечує онлайн контроль стану виробничого процесу по виплавці металу і стану виробничого обладнання вцілому.

**Предмет і методи дослідження.** Предметом дослідження є структура комп'ютерної мережі, інформаційні властивості мережі а також технічні можливості апаратних засобів з урахуванням системи моніторингу і управління плавкою металу у електроконверторі.

Для виконання завдань дослідження використовуються методи теорії масового обслуговування, розроблена математична модель комп'ютерної мережі як мережі масового обслуговування. Проведено дослідження властивостей мережі з різними параметрами інформаційного середовища та апаратних засобів.

**Ідея роботи.** Визначення найбільш «слабких» вузлів комп'ютерної мережі, які у випадку перевантаження приводять до втрати працездатності мережею і розробка рекомендацій для вирішення такої проблеми.

Практичні результати – визначення недоліків і шляхів удосконалення комп'ютерної мережі досягаються завдяки використанню наукового підходу до вирішення поставлених завдань. Застосовані наукові розробки з моделювання комп'ютерних мереж показали свою достовірність у багатьох прикладах їх застосувань в умовах стандартних засобів, інтерфейсів та протоколів.



# 1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Загальна характеристика об'єкта управління

Технологічна послідовність дій, пов'язаних з роботою сталеплавильної печі наведено на рис.1.1.

Дугова піч складається з робочого простору (власне печі) з електродами і струмопідводами і механізмів, що забезпечують нахил печі, утримання і переміщення електродів і завантаження шихти.

Плавку сталі ведуть в робочому просторі, обмеженому згори куполоподібним зведенням, знизу сферичним черенем і з боків стінками.

Вогнетривка кладка череня і стін поміщена в металевий кожух. Знімне зведення набране з вогнетривкої цегли, що спирається на опірне кільце. Через три симетрично розташованих отвори в робочому просторі введені струмопровідні електроди, які за допомогою спеціальних механізмів можуть переміщатися вгору і вниз. Піч живиться трифазним струмом [3].

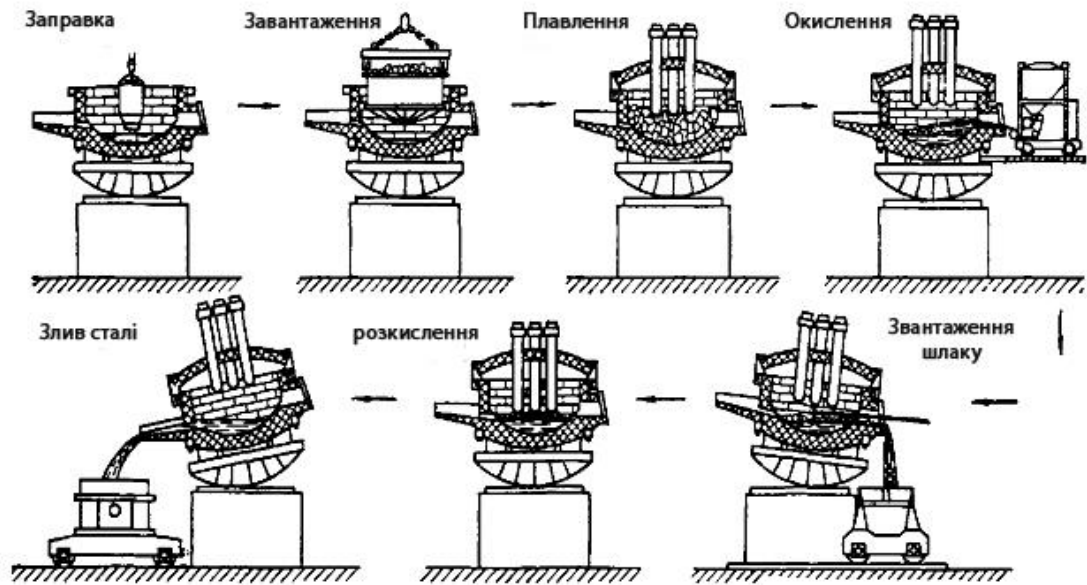


Рисунок 1.1 – Технологічна схема роботи сталеплавильної печі

Шихтові матеріали завантажують на черень печі, після їх розплавлення в печі утворюється шар металу і шлаку. Плавлення і нагрів здійснюється за рахунок тепла електричних дуг, що виникають між електродами і рідким металом або металевою шихтою. Випуск готової сталі і шлаку здійснюється через сталевипускний отвір і жолоб шляхом нахилу робочого простору. Робоче вікно, що закривається заслінкою, призначене для контролю за ходом плавки, ремонту череня і завантаження матеріалів.

Дугова сталеплавильна піч ДСП–200 місткістю 200 т складається з наступних основних компонентів:

- 1 – графітований електрод діаметром 710 мм;
- 2 – електродоутримувач;
- 3 – зведення;
- 4 – водоохолоджуване склепінне кільце;
- 5 – циліндричний кожух;
- 6 – водоохолоджені допоміжні дверці;

- 7 – електромеханічний механізм повороту печі навколо вертикальної осі;
- 8 – електромеханічний механізм нахилу печі;
- 9 – зливний носик;
- 10 – рухливий струмопровід з водоохолоджуваних гнучких кабелів;
- 11 – шток для вертикального переміщення системи стійка - рукав - електроутримувач - електрод;
- 12 – струмопровід з охолоджуваних мідних труб.

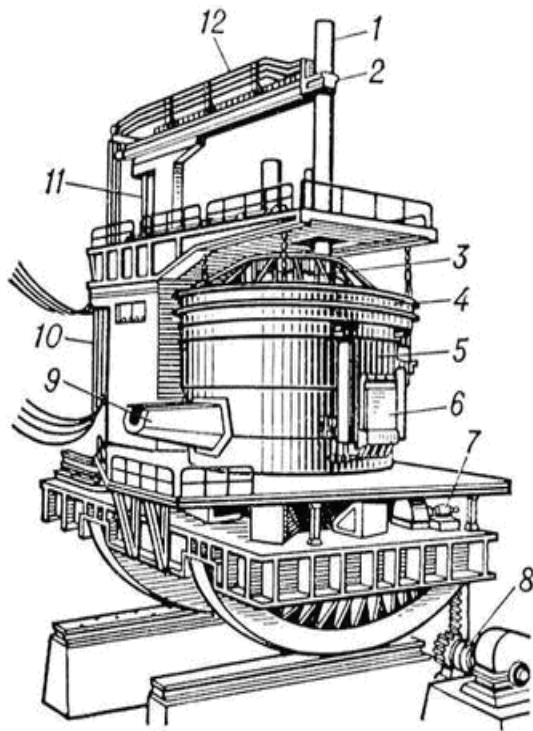


Рисунок 1.2 – Дугова сталеплавильна піч ДСП–200

Основний елемент конструкції це дугова піч – металевий корпус у вигляді кожуха, як правило, круглого перерізу. Зсередини кожух футеровано високовогнетривкими матеріалами. Вогнетривка кладка знімного зведення печі виконана в кільці. Для завантаження шихти в піч зведення зазвичай піднімають і відводять убік. У стінах дугової печі є одне або два робочі вікна і один випускний отвір з жолобом для зливу металу і шлаку в ківш. У

зведенні розташовані отвори для введення електродів, забезпечені водоохолоджуваними металевими коробками –економайзерами). Дугова піч встановлюється на люльці для можливості нахилу печі у бік робочого вікна або випускного отвору за допомогою механізму нахилу з електричним або гідравлічним приводом. Сучасні дугові печі забезпечені індукторами для електромагнітного перемішування рідкої ванни. Дугові печі будують різній місткості –до 250 т) з потужністю трансформатора до 85 МВт.

Істотною відмінністю отримання сталі в дугових печах являється можливість отримання в плавильному просторі відновної або нейтральної атмосфери і різного тиску.

Відновна атмосфера в електродугових печах дозволяє отримати шлак, що містить у кінці плавки не більше 1% FeO, що приблизно в 10 разів менше, ніж в звичайному шлаку мартенівської печі.

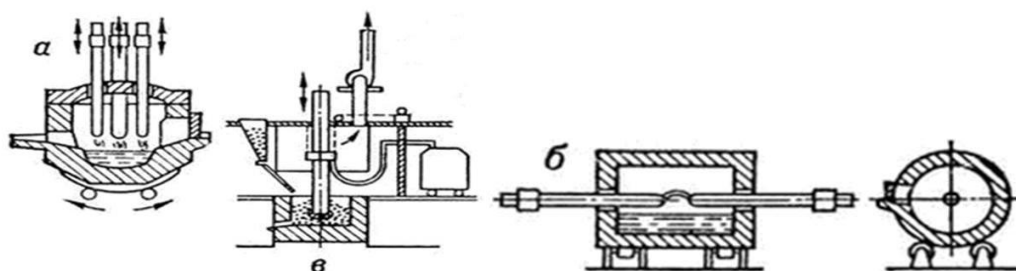


Рисунок 1.3 – Схем дугових печей:

а - прямої дії; б - побічної дії; у - із закритою дугою.

Іншою відмінністю є відсутність в атмосфері печі кисню. Тому ведення окислювальних процесів можливе тільки за рахунок зовнішнього кисню, джерелами якого можуть бути залізна руда і газоподібний кисень, що вдувається у ванну.

З цієї ж причини мають місце менші втрати металу на чад. Можливість ведення плавки на шлаку з більш високою температурою плавлення і перегрівання в умовах основного процесу полегшує здійснення десульфурації (фізико-хімічні процеси, сприяючі видаленню сірки з

розплавленого металу, наприклад, чавуну, стали). Сірка міцно зв'язується в сульфіді, наприклад, в сульфід кальцію і переходить в шлак. При основному процесі плавки забезпечуються усі умови, необхідні для отримання сталі з мінімальним змістом сірки [2].

У теж час процес дефосфорації (видалення фосфору з розплавленого чавуну, сталі або шлаку) в електродугових печах гірший.

У електродугових печах є сприятливі умови для переплавки високолегованих відходів. Тут втрати дефіцитних легуючих елементів мінімальні.

Особливістю виплавки сталі в електродугових печах є можливість роботи з одним шлаком, без спеціального відновного періоду. Це значно скорочує тривалість плавки, витрату електроенергії і покращує усі техніко-економічні показники процесу.

В процесі електроплавлення кінцевий результат зумовлюється в основній взаємодії двох фаз – металевою і шлаковою. У інших процесах трьома металевою, газовою і шлаковою.

Тому з точки зору можливості використання впливу фізико-хімічних чинників на кінцеві результати електроплавлення є досконалішим. Практично значна кількість дефектів у відливаннях і зливках з легованих сталей, виходить, через погану якість металу, або викликаються і посилюються чотирма шкідливими домішками: киснем, сіркою, воднем і фосфором. Електроплавлення є найбільш гнучким процесом для боротьби з трьома домішками: киснем, сіркою і воднем.

Основна перевага дугової печі полягає в можливості розкислювання і знесірчення металу і легкості його перегрівання, тому в цілях здешевлення процесу іноді застосовують так званий «дуплекс-процес», при якому розплавлення скрапу і окислення ведуть в дешевшому плавильному апараті мартенівської печі, а потім рідкий метал переливають в дугову піч для рафінування і доведення до потрібного складу. Рідше застосовують дуплекс-процес «конвертор-електропіч».

При дуплекс-процесах потужність печі може бути менша, ніж при роботі на твердій завалці, оскільки розплавлення скрапу в цьому випадку відсутнє. Плавки, що проводяться час від часу, на твердій завалці виконують при зменшеній вазі шихти; вони із-за меншої потужності триваліші, але оскільки проводяться не часто-головним чином після ремонту футерування), то їх подовження не є істотним. Електричний режим печей, працюючих на рідкій завалці, також значно спокійніше. За наявності рідкого металу, покритого шаром шлаку, дуга горить стабільніше, і відсутні короткі замикання із-за обвалів шихти.

Електродугова піч може бути зупинена або пущена в експлуатацію у будь-який час, зручний для виробництва, і при будь-якому режимі роботи. Капітальні витрати на установку електродугових печей в середньому на 40% менше, ніж на установку мартенівських печей аналогічної продуктивності.

## **1.2 Галузь застосування комп'ютерної системи**

### **1.2.1 Характеристика і структура дугової печі**

Плавка в дуговій печі розпочинається із заправки печі. Рідкорухливі нагріті шлаки сильно роз'їдають футерування, яке може бути пошкоджене при завантаженні. Якщо черень печі вчасно не буде закритий шаром рідкого металу і шлаку, то він може бути пошкоджений дугами. Тому перед початком плавки роблять ремонт – заправку череня. Перед заправкою з поверхні череня видаляють залишки шлаку і металу. На пошкоджені місця череня і укосів (місця переходу череня в стіни печі) закидають сухий магнезитовий порошок, а у разі великих ушкоджень – порошок з добавкою пеку або смоли.

Заправку роблять заправною машиною, що викидає через насадку за допомогою стислого повітря заправні матеріали, або розкидає матеріали по колу з диска, що швидко обертається, який опускається у відкриту піч згори.

Для як найповнішого використання робочого простору печі в центральну її частину ближче до електродів завантажують великі шматки (40%), ближче до укосів середній лом (45%), на черевину і на верх завантаження дрібний лом (15%). Дрібні шматки повинні заповнювати проміжки між великими шматками.

Виписка сталей включає наступні операції: розплавлення металу, видалення шкідливих домішок, що містяться в ній, і газів, розкислювання металу, і виливання його з печі в ківш для розливання по виливницях або формах. Значення цих операцій і вимоги, які вони пред'являють до дугової печі, можуть бути дуже різними.

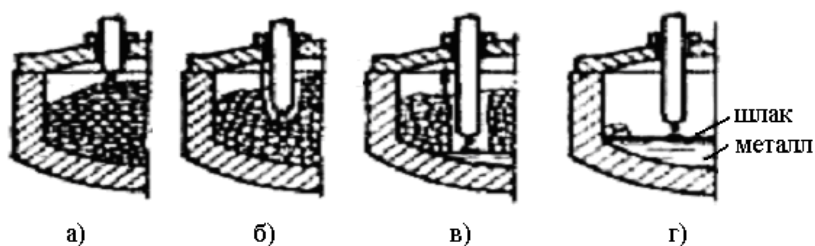


Рисунок 1.4 – Етапи плавлення шихти :

а - початок плавлення; б - опускання електроду; в - підйом електроду; г - закінчення плавлення.

Розплавлення скрапу необхідно вести по можливості швидше і з мінімальною витратою енергії. Часто тривалість його перевершує половину тривалості усієї плавки і при цьому витрачається 60–80% усієї електроенергії. Характерною особливістю періоду є неспокійний електричний режим печі, дуга, що горить між кінцем електроду і холодним металом, нестабільна, її довжина невелика і порівняно невеликі зміни в положенні електроду або металу (обвалу, зрушення підплавленого шматка скрапу) викликають або, обрив дуги, або, навпаки, коротке замикання. Хід плавлення шихти в дуговій печі ілюструється рисунком 1.3. Дуга спалахує спочатку між кінцем електроду і поверхнею шихти (рисунок 1.3, а), причому для підвищення її стійкості в перші хвилини під електроди зазвичай

підкладають шматки коксу або електродного бою. Після згорання останніх починає підплавляти метал і краплями стікати на черень. У шихті утворюються колодязі, в які поглиблюються електроди (рисунок 1.3 б), що опускаються, до тих пір, поки вони не досягнуть череня, на якій щоб уникнути перегрівання його до цього моменту має бути утворена калюжа розплавленого металу (рисунок 1.3 в) [2]. Це самий неспокійний, нестійкий період горіння дуги, підплавляемі шматки шихти падають на електрод, закортивши дугу, опусканні шматка шихти під торцем електроду можуть навпаки обірвати струм. Дуга, що горить між електродом і розплавленим металом перегріває метал і починається розмив і розплавлення шихти, що оточує колодязі. Колодязі розширюються, рівень рідкого металу у ванні починає підвищуватися, а електроди піднімаються (рисунок 1.3 в). У кінці цього періоду майже увесь метал виявляється розплавленим і залишаються лише окремі шматки шихти на укосах («настили», рисунок 1.3 г), що розплавляються останніми. Щоб не затягувати період розплавлення, зазвичай ці «настили» скидають ломом в глиб ванни. Період розплавлення вважають закінченим, коли увесь метал в печі перейшов в рідкий стан. До цього моменту режим горіння дуги стає спокійнішим, оскільки температура в печі вища, поверхня металу покрита шаром шлаку, утвореним кинутими в піч в період розплавлення шматками вапна і спливаючими оксидами. Довжина дуги в порівнянні з початком розплавлення збільшується у декілька разів, дуга горить стійкіше, кількість поштовхів струму і обривів зменшується [4].

### **1.2.2 Система контролю потужності печі**

Технологічний процес плавки в дугових печах припускає необхідність здійснення автоматичного запалення дуги на різних стадіях технологічного процесу плавки: первинному включенні печі, обриві дуги, ліквідації технологічних коротких замикань, що виникають при обвалі шихти і так далі. Точність і швидкодія системи управління дуговою плавильною піччю, визначають її продуктивність і енергетичну ефективність. Для підтримки



дуги подається напруга 120–600 В, при цьому струм досягає величини до 10–15 кА.

Регулятори потужності мають відносно просту кінематику, проте вони характеризуються нелінійністю і різноплановим характером зв'язків, що утрудняють визначення параметрів регуляторів. Раціональним слід рахувати застосування гідравлічного приводу переміщення електродів. Принцип побудови регулятора потужності ілюструється функціональною схемою рис. 1.4.

За допомогою датчиків струму і напруги ДТ і ДН виділяються сигнали зворотного зв'язку, які поступають на блок виміру і порівняння БИС, після порівняння із завданням різниця сигналів поступає на підсилювально-регулюючий пристрій УРУ, який відповідно до вибраної регульованої величини (по струму, по напрузі, диференціальний і так далі) виробляє дію, що управляє, і за допомогою системи управління СУ перемикає східці напруги силового трансформатора Т перемикачем східців напруги ПСН, або управляє механізмом переміщення електродів, складається з перетворювач частоти (ПЧ), асинхронного двигуна (М) і механізму переміщення електродів (Мех).

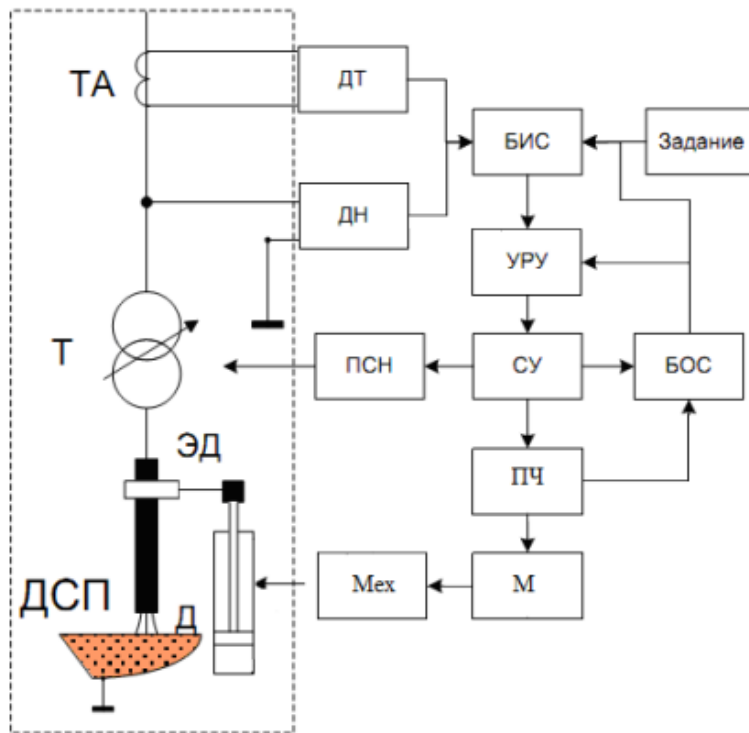


Рисунок 1.5 – Функціональна схема регулятора потужності дугової печі :

ДТ - датчик струму; ДН - датчик напруги; ВІС - блок виміру і порівняння;  
 УРУ - підсил.-регулюючий пристрій; СУ - система управління;  
 Т - трансформатор; ПСН - перемикач східців напруги;  
 ПЧ - перетворювач частоти; М - асинхронний двигун;  
 Хутро - механізм переміщення електроду

З технологічних причин електричний режим ДП нестабільний впродовж усієї плавки і супроводжується постійними коливаннями потужності, що вводиться в піч. Відхилення електричного режиму від номінального знижують її продуктивність і техніко-економічні показники. Зміна потужності в ДП здійснюється шляхом переміщення електродів. Регулятори потужності виконують окремо для кожної з трьох фаз живлячої мережі, що забезпечує їх незалежну роботу. Традиційно для переміщення електродів в ДП використовуються електрогідравлічні або електричні приводи з двигуном постійного струму незалежного збудження. Потужність двигунів, використовуваних для переміщення електродів в ДП, складає 0,5–15 кВт [4].

Структура електрогідравлічного приводу впродовж тривалого часу не зазнає істотних змін, тоді як номенклатура електричних приводів в останнє

десятиліття істотно розширилася завдяки досягненням силової напівпровідникової техніки. Промисловістю широко випускаються транзисторні перетворювачі частоти, на базі яких освоєні частотно-регульовані приводи з асинхронними коротко-замкнутими двигунами, конкурентоздатні за регульовальними властивостями, масо-габаритним показниками і вартістю з приводами постійного струму. Все більше застосування отримують тиристорні регулятори напруги, на базі якого виконують облаштування плавного пуску асинхронних двигунів. Вносять свою специфіку в управління приводами і сучасні мікропроцесорні засоби. Відмічені тенденції роблять доцільним пошук нових структур регуляторів потужності ДП, що більшою мірою відповідають сучасному стану електричних приводів. Заміна в регуляторах потужності ДП двигунів постійного струму, що мають контактний колекторно-щітковий вузол, істотно погіршуючи експлуатаційні показники двигуна, працюючого в умовах високих температур і запиленої середовища, на асинхронні коротко-замкнуті двигуни, представляється важливим народногосподарським завданням.

### **1.3 Функціональні особливості комп'ютерної системи**

Цех - головна виробнича ланка заводу, яку складають основні, допоміжні дільниці і інші підрозділи, що приймають участь в виготовленні продукції або напівфабрикатів. Також, як і завод, цех має лінійно-функціональну організаційну структуру управління.



Рисунок 1.6 – Організаційна структура

Організаційна структура управління - це сукупність певним чином пов'язаних між собою управлінських ланок. Вона характеризується кількістю органів управління, порядком їхньої взаємодії та функціями, які вони виконують. Головне призначення організаційної структури - забезпечити ефективну діяльність управлінського персоналу. Вона безпосередньо пов'язана з виробничою структурою підприємства. Принцип формування структури управління - організація та закріплення тих або інших функцій управління за підрозділами (службами) апарату управління.

Організаційна структура апарату управління характеризується різною кількістю ланок, частіше за все використовується система "трьох": директор (президент, менеджер) - начальник цеху - майстер. Кожний з них несе особисту відповідальність за доручену йому ділянку роботи.

Начальник цеху відповідає за всі сторони роботи цеху і виконує всі функції з технологічного і господарського керівництва цеху за допомогою підлеглого йому апарату управління. Функціональними органами управління великих цехів є планово-диспетчерське, технологічне бюро, бюро праці і заробітної плати тощо. Начальник цеху підпорядковується безпосередньо директору.

Великі дільниці цеху (відділення, прольоти) очолюють начальники ділянок (старші майстри), яким підлеглі змінні майстри. Майстер є керівником і організатором виробництва та праці на дільниці. Він підпорядковується безпосередньо начальнику цеху, а там, де є начальники дільниць або змін, - відповідно начальнику дільниці або зміни. Групою робітників, об'єднаних у бригаду, керує бригадир, який є старшим робітником і не звільняється від виробничої роботи, одержуючи доплату до тарифної ставки за виконання своїх обов'язків [8].

Діяльністю підприємства керує директор (президент, менеджер), який може бути як власником майна, так і найманим працівником (в останньому випадку з ним підписується контракт). Для забезпечення стратегічного, поточного й оперативного керівництва підприємством використовується функціональний апарат управління, безпосередньо підлеглий директору (президенту) і його заступникам. Кожний з них керує певною частиною роботи з управління виробничим процесом і має в розпорядженні відповідні функціональні служби. В апараті заводууправління (управління фірмою) виділяються функціональні структурні підрозділи (відділи, служби), а в цехах, як правило, - бюро. Апарат управління складається з таких основних служб:

- оперативного керівництва підприємством;
- управління персоналом;
- економічної й фінансової діяльності;
- перероблення інформації;
- адміністративного управління;
- маркетингу;
- зовнішніх економічних зв'язків;
- технічного розвитку тощо.

Комп'ютерна система виконує наступні функції:

- Збір інформації. Прийом інформації від датчиків на технологічному об'єкті та передача цих даних для подальшого аналізу та обробки.
- Аналіз та обробка інформації. Комп'ютерна система на підставі отриманих даних визначає необхідність внесення змін в хід технологічного процесу.
- Зберігання оперативних даних системи, даних для формування аналітичних звітів, документів системи, сформованих у процесі роботи звітів. Ця функція повинна забезпечити періодичне резервне копіювання і збереження даних на додаткових носіях інформації.
- Формування звітності. У комп'ютерній системі повинна забезпечуватися можливість формування різних видів звітів. Ця функція повинна забезпечувати механізми гнучкого налаштування, а також інструментарій щодо формування нових звітних форм.
- Керування. Система повинна мати можливість здійснювати безпосереднє вмикання/вимикання виконуючих пристроїв на технологічному обладнанні.

Для виконання вищеперахованих функцій система повинна мати інформацію про стан та зміни технологічних параметрів.

#### **1.4 Стандарти і уніфікація технічних та інформаційних складових комп'ютерної системи**

До складу технічних засобів комп'ютерної системи повинні входити наступні елементи: контролери керування на технологічному обладнанні, комунікаційне обладнання для створення технологічної мережі, комп'ютерне обладнання [1].

Контролери повинні мати такі властивості:

- розподілену та масштабовану архітектуру з можливостями розширення модулів вводу/виводу дискретних (не менше 256) /аналогових (не менше 64) сигналів та збільшення кількості інтерфейсів зв'язку;
- обов'язково підтримувати протоколи обміну Profibus, Modbus, інші протоколи обміну даними;
- підтримувати можливість підключення по Ethernet;
- СОМ-порти, при наявності, мають бути гальванічна ізольовані;
- модулі вводу дискретних сигналів повинні мати напругу 24В, модулі виводу дискретних сигналів повинні мати захист від перевантаження;
- модулі вводу/виводу повинні мати стандартні параметри сигналів: для аналогових входів струм 4..20 мА, , для дискретних входів та виходів 24 В постійного струму;

Комунікаційне обладнання.

Маршрутизатори мають підтримувати можливість налагоджування роботи за третім рівнем TCP моделі OSI, а також VLAN для забезпечення технологічного розподілу трафіка по підмережах.

Мережеві пристрої повинні відповідати стандартам з умов експлуатації, живлення, електромагнітної сумісності тощо, на які посилається ІЕС 61850-3.

Налагодження роутерів має проводитись через інтегрований WEB-інтерфейс, при цьому має бути можливість зміни параметрів використання термінального доступу.

Комп'ютерне обладнання має бути виконане згідно умов його експлуатації.

Комп'ютерне обладнання, що виконує функції серверів, має бути в промисловому виконанні.

Частина комп'ютерної системи, що відповідає за перебіг технологічного процесу, повинна функціонувати в реальному масштабі часу. Час реакції системи має бути не більше 500 мс.

Пропускна здатність, яка дозволить комфортно і без затримок працювати з системою, за умов використання каналу тільки в межах впроваджуваної комп'ютерної системи повинна становити не менше 3 Мбіт/с.

Крім того мережа Ethernet використовується для обміну документами між адміністративними підрозділами, тому мінімальною пропускною здатністю каналу повинна бути не меншою за 10 Мбіт/с.

#### **1.4.1 Завдання дослідження**

Завдання аналізу продуктивності комп'ютерної мережі (КМ) є однією з найважливіших серед завдань проектування КМ. У загальному вигляді задача аналізу продуктивності КМ полягає в тому, щоб оцінити показники продуктивності конкретної КМ при заданих параметрах її технічного, програмного забезпечення і зовнішнього середовища. До таких параметрів можуть ставитися швидкодії пристроїв, характеристики складності програм, інтенсивності потоків вимог на виконання програм, умови зовнішнього оточення (пропускна здатність орендованих ліній зв'язку, наявність випадкових і навмисних впливів інформаційного та іншого характеру, що призводять до непередбачуваного функціонування КМ), і інші.

Вирішуючи завдання аналізу продуктивності, необхідно враховувати випадкову природу багатьох факторів, від яких залежить продуктивність КМ. Так, випадковими часто є моменти надходження в КМ вимог, обсяги інформації що підлягає обробці, послідовність необхідних для її обробки операцій.



Складність структури КМ і необхідність обліку випадкових факторів роблять завдання аналізу продуктивності КМ дуже складною. Тому все більш широке поширення для аналізу продуктивності КМ отримує метод математичного моделювання.

Теорія масового обслуговування пов'язана з розробкою і аналізом математичних, тобто абстрактних, моделей, які описують процес обслуговування деяких об'єктів, що надходять на вхід обслуговуючого приладу у вигляді деякого потоку, і утворює в загальному випадку чергу на вході обслуговуючого приладу.

Метою використання СМО як моделі є аналіз якості функціонування систем-оригіналів.

У свою чергу, МеМО використовують для визначення найважливіших системних характеристик інформаційних систем:

продуктивності; часу доставки пакетів; ймовірності втрати повідомлень і блокування в вузлах; області допустимих значень навантаження, при яких забезпечується необхідну якість обслуговування та ін.

Головним завданням дослідження у кваліфікаційній роботі є визначення допустимих значень навантаження на існуючу мережу за яких мережа буде забезпечувати обробку запитів з мінімальною чергою.

Для забезпечення запасу по навантаженню необхідно промоделювати мережу з параметрами, що імітують дію шкідливого програмного забезпечення і визначити здатність мережі виконувати свої основні функції в цих умовах.

Розробити варіанти поліпшення роботи мережі в умовах значного інформаційного навантаження.

## 2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок основних характеристик трафіку комп'ютерної мережі

#### 2.1.1 Розрахунок трафіку ПЛК системи управління

Зв'язок між блоком управління та пультом оператора реалізовано по інтерфейсу RS-485 згідно з протоколом Modbus RTU. Швидкість передачі інформації по оптичному інтерфейсу значно швидша ніж по електричному, тому розрахунок буде виконуватися виходячи з параметрів електричного інтерфейсу.

Виходячи з переліку вхідних та вихідних сигналів та технічного завдання, протокол обміну посилка має вигляд, як табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри блоку живлення SPD 2460

0	7	8	1		0	1
			5			5
Address		Function		Data	CRC	

Усі поля крім поля даних (Data) виставляються автоматично відповідно до протоколу Modbus RTU. Запит від пульта оператора до програмованого логічного контролера по функції 03h та буде складати 2 байти. Відповідь буде складати 48 байт.

Для забезпечення керування з необхідним часом реакції необхідно дотримуватися нерівності Котельникова:

$$T_S \geq 2(T_{\text{ОБМ}} + T_{\text{ОБР}})$$

2.1)

де  $T_S = 10$  с – максимальний період контролю;  $T_{\text{ОБМ}}$  – максимальний період повного циклу обміну по каналу зв'язку;  $T_{\text{ОБР}}$  – максимальний період обробки інформації на вузлах системи. Час обробки на пульті оператора зі

SCADA системою zenon складе 0,2 с, при часі отриманні даних пускачем ПВИТ-МВР 0,1 с. Таким чином,  $T_{ІАД} \approx 0,3$  с.

Таким чином, для забезпечення адекватності системи період оброблення повного циклу обміну по каналу зв'язку системи повинен бути не більше 9,7 с.

Період обміну по каналу зв'язку при дисципліні обміну «циклічний опитування» визначається наступним виразом:

$$T_{\text{ОБМ}} = \frac{Nml_{\Sigma}}{K_{\text{ОПТ}}V_{\text{КАН}}} \quad (2.2)$$

де  $N$  – кількість ведених абонентів в системі ( $N = 1$ );

$m$  – кількість біт для посилки байти даних за вживаним інтерфейс ( $m = 10$ );

$K_{\text{ОПТ}}$  – коефіцієнт оптимального заповнення каналу зв'язку ( $K_{\text{ОПТ}} = 0,63$ );

$V_{\text{КАН}}$  – швидкість каналу зв'язку у вживаному обладнанні ( $V_{\text{КАН}} = 2400$  бод);

$l_{\Sigma}$  – сумарна довжина посилок при обміні з одним відомим за один цикл, приймаємо  $l_{\Sigma} = 58$  байт.

Таким чином, очікуваний період обміну по каналу зв'язку у проєктованій системі складе 0,38 с. Це дозволяє зробити висновок про придатність обраного протоколу за для використання в системі з 26 працюючими джерелами інформації при використанні контролерів, що значно більше кількості об'єктів управління [14].

### **2.1.2 Попередня оцінка пропускної здатності найбільшого сегмента мережі рівня підприємства**

Розрахувати основні характеристики для вихідного трафіку в найбільшому сегменті мережі підприємства за умови, що послугами одночасно користуються 100% користувачів. Характеристики такі як: коефіцієнт зайнятості обслуговуючого маршрутизатора, завантаження каналу передачі даних маршрутизатора, середню затримку кадру, середню довжину черги, середній час перебування пакета в черзі, пропускну здатність каналу [15].

Результати розрахунків порівнюються із заданими параметрами комп'ютерної системи.

Дано:

Кількість вузлів в найбільшій мережі: 25

Середня інтенсивність трафіку:  $\mu=160$  (кадрів/с)

Середня довжина повідомлення:  $l=600$  байт;

вимоги до затримки передачі пакету –  $\leq 5$  мс.

Згідно кількості вузлів мереж LAN4 і LAN5(28) для їх підключення на рівні розподілу обираємо роутер **SB SG112-24-EU**. (2шт), на рівні доступу коммутатор RV320-K9-G5 (1шт).

Рішення:

Вихідний трафік пересилається на маршрутизатор в лінію з пропускну здатністю 1000Мбіт/с.

Для того, щоб коммутатор рівня розподілу не був перенасичений, швидкість надходження пакетів не повинна перевищувати швидкості їхвідправлення. Вважаємо, що послугами одночасно користуються 100% користувачів. Середня інтенсивність трафіку  $\mu=160$  (кадрів/с), а середня довжина повідомлення – 600 байт.

Розрахуємо пропускну здатність мережі на рівні доступу припускаючи, що послугами одночасно користуються 100% користувачів.

$R_{p.d} = \mu * l * n * 8 = 160 * 600 * 28 * 8 = 21,5$  (Мбіт/с), де

n- кількість користувачів комутатора обох локальних мереж.

Отримані при розрахунку результати не перевищують задані параметри мережі. Отже, перевантажень на обраному обладнанні не буде.

Для LAN1, LAN2 і LAN3. Вважаємо, що послугами одночасно користуються 100% користувачів - 48. Середня інтенсивність трафіку  $\mu=160$  (кадрів/с), а середня довжина повідомлення – 600 байт.

Розрахуємо пропускну здатність мережі на рівні доступу припускаючи, що послугами одночасно користуються 100% користувачів.

$$P_{p.d} = \mu * n * 8 = 160 * 600 * 48 * 8 = 36,9 \text{ (Мбіт/с), де}$$

n- кількість користувачів в комутаторах 3 локальних мереж.

Отримані при розрахунку результати не перевищують задані параметри мережі. Отже, перевантажень на обраному обладнанні не буде.

Комутатор рівня розподілу пересилає трафік на маршрутизатор через вихідну лінію з пропускну здатністю 1000 Мбіт/с.

Загальне навантаження на комутатор не повинно перевищувати:

$$\mu_{вих} = 1000\ 000\ 000 / (600 * 8) = 208334 \text{ пакетів/с}$$

Оскільки кожне джерело виробляє в середньому 160 пакетів/с, то ми обмежені приєднанням до коммутатора рівня розподілу максимум:

$$N = 208334 / 160 = 1302 \text{ джерел.}$$

Що задовольняє нашу мережу на 76 ПК.

Кожен з 76 ПК посилає потік заявок з інтенсивністю 160 кадрів/с. Інтенсивність вихідного трафіку від всіх користувачів:

$$\lambda = N * \mu = 76 * 160 = 12160 \text{ (пакетів/с)}$$

Коефіцієнт затримки на рівні розподілу, тобто показник завантаженості вихідного каналу зв'язку, який впливає на час стояння в черзі:

$$\rho = \lambda / \mu_{вих} = 12160 / 208334 = 0,06$$

Коефіцієнт зайнятості комутатора рівня розподілу:

$$r = \rho / (1 - \rho) = 0,12 / (1 - 0,12) = 0,06$$

Середня затримка кадру, пов'язана з чергою, дорівнює:

$$T = 1 / ((\mu - \lambda)) = 1 / (208334 - 12160) = 0,051 \text{ мкс}$$

Середня довжина черги:

$$L_{\text{чер}} = \rho^2 / (1 - \rho) = [0,06^2 / (1 - 0,06)] = 0,003$$

Ця цифра може бути корисною при налаштуванні черг на обладнанні - в апаратурі можна вказувати максимальний розмір черги пакетів. В данному випадку в системі на обслуговуванні менше 1 пакету, значення досить умовне; воно свідчить про те, що система працює з великим запасом по продуктивності.

Середній час перебування пакета в черзі

$$T_{\text{оч}} = L_{\text{чер}} / \lambda = 0,003 / 12160 = 0,029 \text{ мкс}$$

Це значення менше необхідного значення  $\leq 5$  мс, що задовольняє вимогам.

Пропускна здатність каналу:

$$\lambda = (\text{пропускна здатність}) / (\text{довжина кадру}) = b / l$$

$$b = \lambda * l = 12160 * 600 * 8 = 58.4 \text{ Мбіт/с}$$

Що задовольняє пропускній здатності вихідного каналу в 1000 Мбіт/с.

Запас по пропускній здатності каналів може показатися надлишковим.

Але це дає можливість не змінювати обладнання при додатковому інформаційному навантаженні мережі.

### **2.1.3 Імітаційна модель мережі в пакеті CiscoPacketTracer**

Згідно завдання та таблиці адресації пристроїв була побудована в PacketTracer модель мережі представлена на рис. 2.1.

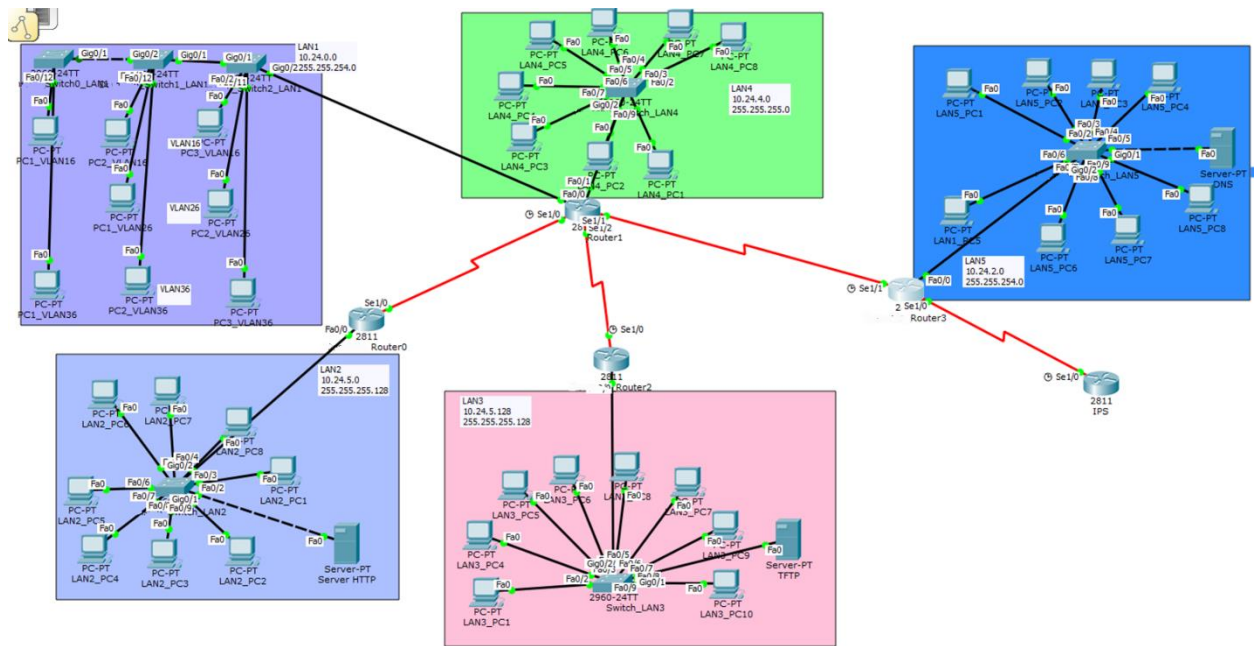


Рисунок 2.1 – Модель мережі в Packet Tracer

При традиційному поділі на підмережі до всіх підмереж застосовується одна і та ж маска підмережі. Це означає, що всі підмережі містять однакове число доступних адрес вузлів та використовують одну і ту ж маску під мережі [17, 18].

При використанні VLSM довжина маски підмережі залежить від числа бітів, запозичених для окремої підмережі, тобто від «змінної» частини маски підмережі змінної довжини. VLSM дозволяє розділити простір мережі на нерівні частини [10].

При використанні VLSM мережу спочатку розділяється на підмережі, а потім підмережі, в свою чергу, також розбиваються на підмережі. Цей процес можна повторювати багаторазово для створення підмереж різних розмірів.

Згідно завдання, у кожній підмережі повинно бути не менше 8 комп'ютерів. При цьому:

- перші можливі для використання IP-адреси призначено інтерфейсам і під інтерфейсам маршрутизаторів у LAN;
- другі з можливих IP-адрес призначено комутаторам у кожній LAN;

- сервери налаштовано і їм привласнено IP-адреси за правилом: IP-адрес дорівнює першому можливому адресу у мережі+9+1;
- останні з використовуваних IP-адрес призначено вузлам;
- в мережах VLAN використовується адресація кінцевих пристроїв по протоколу DHCP.

З рис. 2.1 видно, що топологія об'єднує 5 мереж з хост-вузлами, 3 мережі маршрутизаторів, 1 мережа зовнішнього шлюзу з заданим адресом мережі 209.165.202.0/28. Мережі маршрутизаторів та зовнішнього шлюзу потребують по 2 IP-адреси кожна.

В табл. 2.1 представлена схема IP-адресації мереж організації методом VLSM.

Таблиця 2.1 – Схема адресації мереж

Ім'я мережі	Кількість вузлів	Адрес мережі	Маска мережі	Діапазон адрес
LAN1	362	10.24.0.0	255.255.254.0	10.24.0.1 – 10.24.1.254
VLAN16		10.24.0.0	255.255.255.128	10.24.0.1 – 10.24.0.126
VLAN26		10.24.0.128	255.255.255.128	10.24.0.129 – 10.24.0.254
VLAN36		10.24.1.0	255.255.255.128	10.24.1.1 – 10.24.1.126
VLAN99		10.24.1.128	255.255.255.128	10.24.1.129 – 10.24.1.254
LAN5	311	10.24.2.0	255.255.254.0	10.24.2.1 – 10.24.3.254
LAN4	248	10.24.4.0	255.255.255.0	10.24.4.1 – 10.24.4.254
LAN2	122	10.24.5.0	255.255.255.128	10.24.5.1 – 10.24.5.126
LAN3	79	10.24.5.128	255.255.255.128	10.24.5.129 – 10.24.5.254
WAN1-2	2	10.24.6.0	255.255.255.252	10.24.6.1 – 10.24.6.2
WAN2-3	2	10.24.6.4	255.255.255.252	10.24.6.5 – 10.24.6.6
WAN2-4	2	10.24.6.8	255.255.255.252	10.24.6.9 – 10.24.6.10



WAN2-3	2	10.24.6.12	255.255.255.252	10.24.6.13 – 10.24.6.13
--------	---	------------	-----------------	-------------------------

## **2.2 Математичне моделювання мережі як системи масового обслуговування**

### **2.2.1 Властивості стаціонарних пуассонівських потоків**

Вирішуючи задачу оцінки характеристик комп'ютерних мереж в умовах впливу шкідливих програм, необхідно враховувати випадкову природу багатьох факторів, від яких залежать характеристики КС. Випадковими часто є моменти надходження в мережу вимог, обсяги підлягає обробці інформації, послідовність необхідних для її обробки операцій. Складність структури КС і необхідність обліку випадкових факторів роблять задачу оцінки характеристик складної, причому в міру прогресу обчислювальної техніки і шкідливих інформаційних впливів на КС складність цього завдання зростає. Тому широке поширення для оцінки пропускної здатності мережі отримав метод математичного моделювання.

Моделювання - один з найбільш поширених методів дослідження процесів функціонування складних систем. Найбільш поширеними з методів побудови математичних моделей є системи масового обслуговування (СМО).

Ускладнення структур і режимів реальних КС ускладнює застосування класичних методів теорії масового обслуговування (ТМО) з огляду на зростаючі розмірності вирішуваних завдань [6].

Одним з можливих шляхів подолання розмірності є використання моделей в формі мереж масового обслуговування (МеМО).

МеМО являє собою сукупність кінцевого числа обслуговуючих вузлів, в якій циркулюють заявки, що переходять відповідно до маршрутної матриці з одного вузла в інший. Вузол завжди є розімкнутою системою масового обслуговування (СМО). При цьому окремі СМО відображають функціональносамостійні частини реальної комп'ютерної мережі підприємства, зв'язку між СМО - структуру мережі, а вимоги, що циркулюють по МеМО, - складові матеріальних потоків (повідомлення (пакети) в мережі).

В теорії МеМО фундаментальним є поняття стану мережі. Найважливіша характеристика мереж МО – ймовірності їх станів. Для визначення ймовірностей станів МеМО досліджують в мережі випадковий процес. В якості моделей МеМО з процесів найбільш часто використовують марківські.

Марківським процесом з безперервним часом описують функціонування експоненційних МеМО. Мережа називається експоненціальною, якщо вхідні потоки вимог в кожному СМО пуассонівським, а час кожного етапу обслуговування, реалізованого на будь-який СМО мережі, мають експоненційний розподіл. Це дозволяє вважати, що етапи обслуговування не залежні між собою і не залежать ні від параметрів вхідного потоку, ні від стану мережі, ні від маршрутів прямування вимог.

Аналітичні моделі розрахунку характеристик КС базуються, як правило, на аналізі експоненційних МеМО. При використанні цього математичного апарату вдається отримати аналітичні моделі для вирішення широкого кола завдань дослідження комп'ютерних мереж.

### **2.2.2 Поняття розімкнутої мережі**

Нехай дана незамкнута мережа, що складається з джерела пакетів (вузол 0) и К СМО  $M/M/m1/\infty$ ,  $M/M/m2/\infty$ , ...,  $M/M/mK/\infty$ . Незамкнута мережу – це така відкрита мережа, в яку заявки надходять із зовнішнього середовища і йдуть після обслуговування з мережі в зовнішнє середовище. Іншими словами, особливістю незамкненої МеМО є наявність одного або декількох незалежних зовнішніх джерел, які генерують заявки, що надходять в мережу, незалежно від того, скільки заявок вже знаходиться в мережі. У будь-який момент часу у відкритій МеМО може перебувати довільне число заявок.

Задано  $P_R=(p_{ji})$  – маршрутна матриця,  $\mu_i$  – середня інтенсивність обробки пакета в одному конвеєрі і-го вузла,  $\lambda_0$  – інтенсивність вхідного в мережу потоку пакетів [8].

Потрібно: знайти інтенсивності потоків що надходять пакетів  $\lambda_i$ , мінімально необхідне число конвеєрів в кожному вузлі  $m_i$ , середню довжину черги  $r_i$ , середнє число пакетів в вузлі  $L_i$ , середній час перебування пакета в вузлі  $T_i$ , середнє число пакетів в мережі  $N$  і середній час перебування пакета в мережі  $T$ .

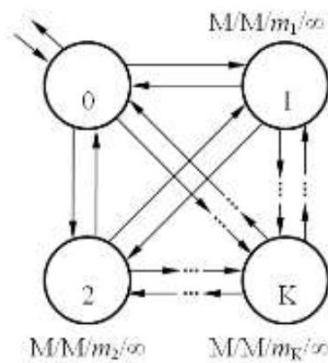


Рисунок 2.2 - Схема незамкнутої мережі

У загальному випадку мережа задається стохастичною маршрутною матрицею:

$$P_R = \begin{pmatrix} 0 & p_{01} & p_{02} & \dots & p_{0K} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1K} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{K0} & p_{K1} & p_{K2} & \dots & p_{KK} \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

Нехай  $N$  - кількість пакетів, які циркулюють в мережі; де  $p_{ij}$  – ймовірність пересилання пакета з і-го вузла в j-й вузол  $\sum_{j=0}^K p_{ij} = 1 \quad \forall i = \overline{0, K}$ .

Позначимо як  $\lambda_i = e_i \lambda_0$  інтенсивність потоку пакетів, що надходять в і-й вузол, де  $e_i$  – передавальні коефіцієнти. Фізичний сенс інтенсивності потоку

подій – це середнє число подій, що припадає на одиницю часу (число заявок в одиницю часу), розмірність -  $1/\text{час}$ . Для стаціонарного режиму інтенсивність потоку, що входить у вузол, дорівнює інтенсивності вихідного. Складемо систему рівнянь:

$$\lambda_i = \sum_{j=0}^K \lambda_j p_{ij} \quad \forall i = \overline{0, K}. \quad (2.2)$$

Ураховуючи, що  $\lambda_i = e_i \lambda_0$  и  $\lambda_j = e_j \lambda_0$ , отримуємо:

$$e_i = \sum_{j=0}^K e_j p_{ij}$$

або в розвернутому вигляді:

$$\left( \begin{array}{l}
 -e_0 + p_{10}e_1 + p_{20}e_2 + \dots + p_{K0}e_K = 0 \\
 p_{01}e_0 + (p_{11} - 1)e_1 + p_{21}e_2 + \dots + p_{K1}e_K = 0 \\
 p_{02}e_0 + p_{12}e_1 + (p_{22} - 1)e_2 + \dots + p_{K2}e_K = 0 \\
 \dots \\
 p_{0K}e_0 + p_{1K}e_1 + p_{2K}e_2 + \dots + (p_{KK} - 1)e_K = 0
 \end{array} \right.$$

Система лінійних рівнянь в матричній формі:  $P_1 E = 0$ , де матриця  $P_1$  отримана шляхом транспонування матриці і зменшення елементів головної діагоналі на 1:

$$P_1 = \begin{pmatrix}
 -1 & p_{10} & p_{20} & \dots & p_{K0} \\
 p_{01} & p_{11} - 1 & p_{21} & \dots & p_{K1} \\
 p_{02} & p_{12} & p_{22} - 1 & \dots & p_{K2} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 p_{0K} & p_{1K} & p_{2K} & \dots & p_{KK} - 1
 \end{pmatrix} \text{ и } E = \begin{pmatrix}
 e_0 \\
 e_1 \\
 e_2 \\
 \dots \\
 e_K
 \end{pmatrix}. \quad (2.4)$$

Зі знайденими передавальні коефіцієнти  $e_1, e_2, \dots, e_K$ . Підставимо знайдені значення  $e_i$  в вихідну систему і переконаємося, що рівняння звертаються в вірні рівності.

Тепер можемо знайти інтенсивність потоку пакетів, що надходять в  $i$ -й вузол:  $\lambda_i = e_i \lambda_0 \quad \forall i = \overline{1, K}$ .

Розглянемо один з вузлів мережі для загального випадку (рис. 2.5).

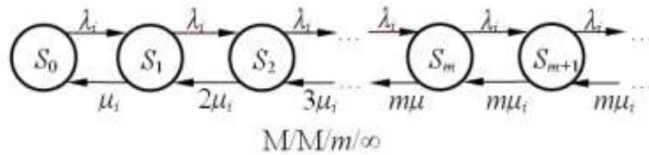


Рисунок 2.3 - Схема вузла мережі в загальному випадку

Припустимо, що він має  $m$  конвеєрів і необмежену чергу. Можливими станами цього вузла будуть  $\{S_k\} = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_m, S_{m+1}, \dots\}$ , де  $k$  – число пакетів (обробляються або очікують) в вузлі. Процес блукання по цих станах буде Марківським процесом загибелі і розмноження.

Імовірність знаходження вузла при стаціонарному режимі в стані  $S_k$  позначимо як  $P_i(k)$ . Виразимо вірогідність цих станів через  $P_i(0)$ .

Ймовірності знаходження вузла в різних

$n$	$P_i(n)$	$r_i(n)$	$k_i(n)$
0	$P_i(0)$	0	0
1	$P_i(0) \frac{\lambda_i}{\mu_i}$	0	1
...	...	...	...
$m$	$P_i(0) \frac{\lambda_i^m}{m! \mu_i^m}$	0	$m$
$m+1$	$P_i(0) \frac{\lambda_i^{m+1}}{m! m \mu_i^{m+1}}$	1	$m$
$m+2$	$P_i(0) \frac{\lambda_i^{m+2}}{m! m^2 \mu_i^{m+2}}$	2	$m$
...	...	...	...
станах	...	...	...

Вирази для чисельника виходять перемноженням інтенсивностей надходження пакетів (розмноження), для знаменника – інтенсивностей їх обслуговування (загибель). У загальному випадку:

$$P_i(n) = \frac{\lambda_i^n}{\mu_i^n \beta_i(n)} P_i(0) \quad \forall i = \overline{1, K}, \quad (2.5)$$

$$\beta_i(n) = \begin{cases} n!, & n \leq m \\ m! m^{n-m}, & n > m \end{cases}$$

$m$  – число конвеєрів в  $i$ -му вузлі.

З огляду на

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_i(n) = 1,$$

отримаємо

$$P_i(0) \left( + \frac{\lambda_i}{\mu_i} + \frac{\lambda_i^2}{2! \mu_i^2} + \dots + \frac{\lambda_i^m}{m! \mu_i^m} + \frac{\lambda_i^{m+1}}{m! m \mu_i^{m+1}} + \right. \\ \left. + \frac{\lambda_i^{m+2}}{m! m^2 \mu_i^{m+2}} + \dots \right) = 1.$$

Введем позначення

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} \quad \chi_i = \frac{\lambda_i}{m \mu_i}$$

$$P_i(0) \left( 1 + \rho_i + \frac{\rho_i^2}{2!} + \dots + \frac{\rho_i^m}{m!} + \frac{\rho_i^{m+1}}{m! m} (1 + \chi_i + \chi_i^2 + \dots) \right) = 1$$

Сума нескінченної геометричної прогресії  $(1 + \chi_i + \chi_i^2 + \dots)$  буде кінцевою величиною за умови  $\chi_i < 1$ . Звідси випливає, що число конвеєрів  $m_i$  в  $i$ -му вузлі слід вибирати як мінімальне ціле число, яке задовольняє умові

$$m_i > \frac{\lambda_i}{\mu_i} \quad \forall i = \overline{1, K}$$

інакше мережа не впорається із заданим входять потоком пакетів. повертаючись до  $P_i(0)$ , отримуємо

$$P_i(0) = \left( \sum_{n=0}^m \frac{\rho_i^n}{n!} + \frac{\rho_i^{m+1}}{m! m (1 - \chi_i)} \right)^{-1} \quad \forall i = \overline{1, K},$$

де  $m$ —число конвеєрів в  $i$ -му вузлі.

### 2.2.3 Класична схема розрахунку ймовірностей стану замкнутих мереж масового обслуговування

Нехай дана замкнута мережа, що складається з  $K$  систем масового обслуговування (рис. 2.3). У замкнутій МеМО циркулює фіксоване число заявок, а зовнішнє незалежне джерело відсутнє.  $PR=(p_{ji})$  – маршрутна матриця;  $m_i$ – кількість обробних конвеєрів в  $i$ -му вузлі;  $\tau_i$ – середній час обробки пакета в одному конвеєрі  $i$ -го вузла  $\forall i=1, K$ .

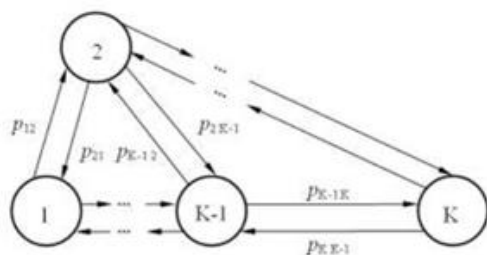


Рисунок 2.4 - Схема мережі в загальному випадку

Потрібно: знайти всі можливі стани мережі в цілому і стану кожного вузла окремо; розрахувати ймовірності цих станів  $P_i(n_i)$ ; знайти середнє число пакетів у вузлі  $L_i$ ; інтенсивності потоків надходять пакетів  $\lambda_i$ ; середній час перебування пакета в вузлі  $T_i$  і середній час циклу  $V_i$ . [5,7]

В загальному випадку мережа задається стохастичною маршрутною матрицею:

$$P_R = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1K} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{K1} & p_{K2} & \dots & p_{KK} \end{pmatrix}, \quad (2.7)$$

де  $p_{ij}$  – інтенсивність потоку пакетів, що надходять в позначимо як ймовірність пересилання пакета з  $i$ -го вузла в  $j$ -й вузол, причому  $\lambda_i = e_i A$

$$\sum_{j=1}^K p_{ij} = 1 \quad \forall i = \overline{1, K}.$$

де  $e_i$  – передаточні коефіцієнти.  $\lambda_i$  – це фізична величина, яку можна виміряти. Фізичний сенс інтенсивності потоку подій – це середнє число подій, що припадає на одиницю часу (число заявок в одиницю часу), розмірність -  $1/\text{час}$ . Для стаціонарного режиму інтенсивність потоку, що входить у вузол, дорівнює інтенсивності вихідного. Складемо систему рівнянь:

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^K \lambda_i p_{ij} \quad \forall i = \overline{1, K}$$

Враховуючи, що  $\lambda_i = e_i A$  и  $\lambda_j = e_j A$ , скоротимо на  $A$ :

$$e_j = \sum_{i=1}^K e_i p_{ij} \quad (2.9)$$

або в розвернутом вигляді:

$$\begin{cases} (p_{11} - 1)e_1 + p_{21}e_2 + \dots + p_{K1}e_K = 0 \\ p_{12}e_1 + (p_{22} - 1)e_2 + \dots + p_{K2}e_K = 0 \\ \dots \\ p_{1K}e_1 + p_{2K}e_2 + \dots + (p_{KK} - 1)e_K = 0 \end{cases}$$



Система лінійних рівнянь (2.10) в матричній формі:

$P_1 E = 0$ , де матриця  $P_1$  отримана шляхом транспонування матриці (2.7) і зменшенням елементів головної діагоналі на 1:

$$P_1 = \begin{pmatrix} p_{11} - 1 & p_{21} & \dots & p_{K1} \\ p_{12} & p_{22} - 1 & \dots & p_{K2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{1K} & p_{2K} & \dots & p_{KK} - 1 \end{pmatrix} \text{ и } E = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_K \end{pmatrix}.$$

Щоб отримати єдине рішення, покладемо  $e_1 = 1$ . Тоді складемо 1-у строчку матриці  $P_1$  почленно з  $k$ -ю, де  $k = 2, K$  і отримаємо:

$$P_2 E = Q,$$

$$P_2 = \begin{pmatrix} p_{21} + p_{22} - 1 & \dots & p_{K1} + p_{K2} \\ p_{21} + p_{23} & \dots & p_{K1} + p_{K3} \\ \dots & \dots & \dots \\ p_{21} + p_{2K} & \dots & p_{K1} + p_{KK} - 1 \end{pmatrix}$$

$$K-1 \text{ и } Q = \begin{pmatrix} p_{11} - 1 + p_{12} \\ p_{11} - 1 + p_{13} \\ \dots \\ p_{11} - 1 + p_{1K} \end{pmatrix}.$$

Використовуємо Метод Гауса для вирішення, знайдемо передаточні коефіцієнти  $e_2, e_3, \dots, e_K$ .

Розглянемо вузли замкнутої мережі окремо (рис. 2.5).

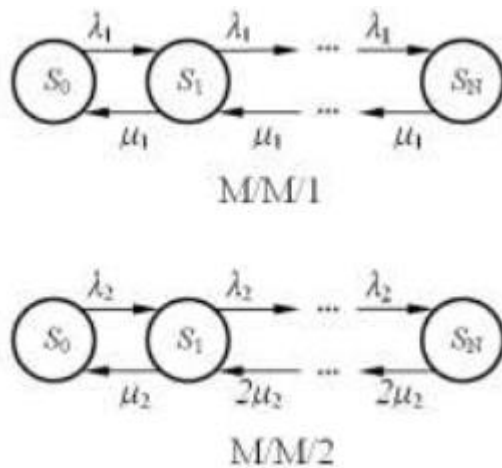


Рисунок 2.5 – Вузли замкнутої мережі

Позначимо як  $\mu_i = 1/\tau_i$  інтенсивність обробки пакетів в  $i$ -м вузлі, де  $\tau_i$  – середній час обробки пакета в  $i$ -му вузлі, розподілений по експоненційному закону:  $P(t) = \mu e^{-\mu t}$ ,  $t \geq 0$ . Можливі стани 1-го вузла (1 конвеєр)  $\{S_k\} = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_N\}$ , де  $k$  – число пакетів в вузлі. Процес блукання по цих станах буде Марківським процесом загибелі і розмноження. Імовірність знаходження 1-го вузла при стаціонарному режимі в стані  $S_k$  позначимо як  $P_1(k)$ . Виразимо вірогідність цих станів через  $P_1(0)$

$$P_1(1) = \frac{\lambda_1}{\mu_1} P_1(0),$$

$$P_1(2) = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} P_1(0),$$

$$P_1(3) = \frac{\lambda_1^3}{\mu_1^3} P_1(0)$$

і т.д,

$$\sum_{n=0}^N P_1(n) = 1$$

Вираз для чисельника виходять перемноженням інтенсивностей надходження пакетів (розмноження), для знаменника – інтенсивностей їх обслуговування (загибель).  $P_1(0)$  поки залишається невідомим. Розглянемо 2-

й вузол з 2-ма конвеєрами. Якщо у вузлі 2 конвеєра, то вузол починає обробляти пакети з подвоєною інтенсивністю (здіяні обидва конвеєра), коли в ньому знаходиться 2 пакети і більше.

$$P_2(1) = \frac{\lambda_2}{\mu_2} P_2(0), \quad P_2(2) = \frac{\lambda_2^2}{2\mu_2^2} P_2(0), \quad P_2(3) = \frac{\lambda_2^3}{4\mu_2^3} P_2(0)$$

і т.д., при цьому

$$\sum_{n=0}^N P_2(n) = 1.$$

В загальному випадку, імовірність знаходження  $i$ -го вузла в стані  $S_k$ :

$$P_i(n) = \frac{\lambda_i^n}{\mu_i^n \beta_i(n)} P_i(0) \quad \forall i = \overline{1, K},$$

$$\text{где } \beta_i(n) = \begin{cases} n!, & n \leq m \\ m! m^{n-m}, & n > m \end{cases}$$

Розглянемо всі можливі стани мережі

$$\vec{n} = (n_1, n_2, \dots, n_K): n_1 + n_2 + \dots + n_K = N$$

де  $n_i$  – число пакетів у вузлі. Позначимо множину всіх станів мережі як  $S(N, K)$ . По теоремі декомпозиції (Джексона), в стаціонарному режимі стан всієї мережі визначається станом її вузлів:

$$P(\vec{n}) = \frac{\prod_{i=1}^K P_i(n_i)}{\sum_{\vec{n}' \in S(N, K)} \prod_{i=1}^K P_i(n'_i)} \quad \forall \vec{n} = (n_1, n_2, \dots, n_K) \in S(N, K), \quad (2.11)$$

де  $P_i(n_i)$  – ймовірність знаходження  $i$ -го вузла в стані  $S_{ni}$ , а підсумовування проводиться по всій множині станів мережі  $S(N, K)$ . Підставами сюди вирази для  $P_i(n_i)$ , скоротимо дріб на  $P_1(0), P_2(0), \dots, P_K(0)$ .

Підставляючи сюди вирази для  $\lambda_i$  і враховуючи, що  $n_1 + n_2 + \dots + n_K = N$ , скоротимо дріб на  $LN$ . В результаті отримуємо:

$$P(\vec{n}) = \frac{\prod_{i=1}^K \frac{e^{n_i}}{\mu_i^{n_i} \beta_i(n_i)}}{\sum_{\vec{n}' \in S(N,K)} \prod_{i=1}^K \frac{e^{n'_i}}{\mu_i^{n'_i} \beta_i(n'_i)}} \quad \forall \vec{n} = (n_1, n_2, \dots, n_K) \in S(N, K) \quad .12)$$

Коли всі величини відомі, можна розрахувати ймовірності всіх станів мережі  $S(N, K)$ . Можна переконатися, що

$$\sum_{\vec{n} \in S(N, K)} P(\vec{n}) = 1.$$

Знайдемо також  $P_i(k)$  - всі ймовірності знаходження кожного  $i$ -го вузла в стані  $S_k$ :

$$P_i(k) = \sum_{\substack{\vec{n}' \in S(N, K): \\ n'_i = k}} P(\vec{n}') \quad \forall i = \overline{1, K}, \quad \forall k = \overline{0, N}.$$

#### 2.2.4 Алгоритм згортання

Наведені вище обчислення ймовірностей станів замкнутої мережі СМО за класичними розрахунковим формулами Гордона-Ньювелла виявилися не настільки вже складними. Однак в реальних обчислювальних системах і мережах число запитів і число систем обслуговування значно більше, ніж 4 запити і 3 СМО. Тому постає питання про те, як зробити процес обчислень простішим, уникнувши повного перебору всіх можливих станів замкнутої мережі. Дозволяє вирішити цю проблему алгоритм Бузена [6,7].

Спочатку перетворимо формулу Гордона - Ньювела. Введемо функцію:

$$A_i(N_i) = \begin{cases} N_i!, m_i \geq N, \\ 1, m_i = 1 \\ N_i!, 1 < m_i < N, N_i \leq m_i \\ m_i! m_i^{N_i - m_i}, 1 < m_i < N, N_i > m_i \end{cases} \quad (2.13)$$

Позначимо

$$X_i = \frac{\alpha_i}{\mu_i}, i = 1, 2, \dots, n$$

Тоді формула може бути записана у вигляді:

$$P_{\bar{N}} = \frac{\prod_{i=1}^n P_{N_i, i}}{\sum_{\bar{N} \in S(n, N)} \prod_{i=1}^n P_{N_i, i}} = \frac{\prod_{i=1}^n X_i^{N_i} / A_i(N_i)}{\sum_{\bar{N} \in S(n, N)} \prod_{i=1}^n X_i^{N_i} / A_i(N_i)}. \quad (2.14)$$

$$g(m, M) = \sum_{\bar{N} \in S(m, M)} \prod_{i=1}^m X_i^{N_i} / A_i(N_i), \quad 1 \leq m \leq n, \quad 0 \leq M \leq N. \quad (2.15)$$

З фізичної точки зору функція  $g(m, M)$  відповідає частині вихідної замкнутої мережі, що містить  $i$  СМО і  $N$  запитів. Від вихідної замкнутої мережі СМО взяті  $t$  перших систем обслуговування, між якими циркулює  $M$  запитів. Неважко бачити, що

$$g(m, 0) = 1, \quad m = 1, 2, \dots, n.$$

$$g(1, M) = X_1^M / A_1(M), \quad M = 0, 1, 2, \dots, N.$$

Таким чином, якщо розглядати функцію  $g(m, M)$  як двовимірний масив, то в ньому однозначно визначаються нульовий стовпець і перший рядок шляхом простих обчислень. Потрібно знайти формулу, яка б пов'язала між собою елементи цього двовимірного масиву. Для цього зафіксуємо в останній,  $i$ -ой, системі обслуговування усіченої мережі обслуговування до запитів. Тоді всі складові, що становлять суму, якої визначена функція  $g(m, M)$ , можуть бити розбиті на групи, для кожної з яких  $N_m = k$ . Кожна така група міститимуть співмножник

$$X_m^k / A_m(k)$$

Тому можна записати:

$$\begin{aligned}
 g(m, M) &= \sum_{\tilde{N} \in S(m, M)} \prod_{i=1}^m X_i^{N_i} / A_i(N_i) = \\
 &= \sum_{k=0}^M \sum_{\tilde{N} \in S(m, M) \& N_m = k} \prod_{i=1}^m X_i^{N_i} / A_i(N_i) = \\
 &= \sum_{k=0}^M \frac{X_m^k}{A_m(k)} \left( \sum_{\tilde{N} \in S(m-1, M-k)} \prod_{i=1}^{m-1} X_i^{N_i} / A_i(N_i) \right) = \\
 &= \sum_{k=0}^M \frac{X_m^k}{A_m(k)} g(m-1, M-k).
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

Таким чином, отримана рекурентна формула, що дозволяє розрахувати значення масиву  $g(m, M)$  рядок за рядком:

$$g(m, M) = \sum_{k=0}^M \frac{X_m^k}{A_m(k)} g(m-1, M-k); m = 2, 3, \dots, n; M = 1, 2, \dots, N \quad 7)$$

Вираз разом з умовами заповнення першого шпальти і нульовий рядки двовимірного масиву  $g(m, M)$ , по суті справи, задає алгоритм Бузена.

Елемент в останньому рядку і останньому стовпчику масиву  $g(n, N) = G(N)$  дасть ту саму константу нормування, яка потрібна для обчислення ймовірностей знаходження замкнутої мережі в станах, визначених умовою

$$\sum_{i=1}^n N_i = N$$

При цьому

$$P_\lambda = \text{Вер} \{N_1, \dots, N_n\} = \frac{1}{G(N)} \cdot \prod_{i=1}^n X_i^{N_i} / A_i(N_i), \tag{2.18}$$

Однак, як це було проілюстровано при розгляді прикладу розрахунку за класичною формулою Гордона - Ньюела, необхідно знайти ще й

ймовірності того, що в окремо взятій системі обслуговування буде точно до запитів. Спочатку запишемо вираз для СМО з номером  $n$ :

$$P_k^{(n)} = P^{(n)}(N_n = k) = \sum_{\tilde{N} \in S(n, N) \& N_n = k} P_{\tilde{N}} \quad (2.19)$$

Для знаходження необхідно підсумувати ймовірності всіх тих станів замкнутої мережі, при яких в  $n$ -й останньої СМО. Якщо проводити розрахунок за формулою, то необхідний перебір станів замкнутої мережі обслуговування. Уникнути його можна, якщо записати вираз для шуканої ймовірності наступним чином:

$$\begin{aligned} P_k^{(n)} &= \sum_{\tilde{N} \in S(n, N) \& N_n = k} \frac{X_n^k}{A_n(k)G(N)} \prod_{i=1}^{n-1} \frac{X_i^{N_i}}{A_i(N_i)} = \\ &= \frac{X_n^k}{A_n(k)G(N)} \sum_{\tilde{N} \in S(n-1, N-k)} \prod_{i=1}^{n-1} \frac{X_i^{N_i}}{A_i(N_i)} = \\ &= \frac{X_n^k}{A_n(k)G(N)} g(n-1, N-k) \end{aligned} \quad (2.20)$$

Знайдені елементи двовимірного масиву  $g(m, M)$  можуть бачь використані і для розрахунку ймовірностей знаходження заданого числа запитів в системах обслуговування замкнутої мережі [8].

## **3 СИНТЕЗ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА**

### **3.1 Структура комплексу технічних засобів комп'ютерної системи та мережі підприємства**

На підставі технічного завдання проєктована система автоматизованого управління повинна виконувати наступні завдання:

- управління переміщенням електродів в режимі плавлення;
- управління витяганням електроду в режимі короткого замикання або обриву дуги;
- візуалізацію процесу управління;
- реєстрацію стану датчиків і виконавчих механізмів системи управління;
- забезпечувати формування тривоги;
- архівація стану датчиків і виконавчих механізмів системи управління.

Для вирішення завдання управління переміщенням електродів в режимі плавлення, короткого замикання або обриву дуги використовуватиметься підсистема автоматизованого управління технологічним устаткуванням.

Функціональна структура системи управління електродуговою піччю складається з:

- підсистеми інформаційного забезпечення роботи оператора;
- підсистеми ведення архівів параметрів і подій, підсистеми автоматизованого управління технологічним устаткуванням.

У підсистемі ведення архівів параметрів і подій знаходиться база даних для зберігання даних по виробничому процесу і резервне сховище для безпечного відновлення даних у разі втрати їх з БД.

У підсистемі автоматизованого управління технологічним устаткуванням знаходяться: еталони стану устаткування (параметри устаткування необхідні для правильної роботи), система автоматичного стану



устаткування (забезпечує стеження за параметрами пристрою в автоматичному режимі), програма управління (забезпечує управління устаткуванням), протиаварійний захист (забезпечує реагування системи у разі аварійної ситуації), облаштування збору інформації (датчики необхідні для збору параметрів стани устаткування), блок перекладу в ручний режим (кожен пристрій повинен мати можливість перекладу на ручне управління), виконавчі органи-частотний перетворювач).

У підсистемі інформаційного забезпечення роботи оператора знаходяться: сигналізація (потрібна для попередження оператора про аварійну ситуацію), реєстрація, людино-машинний інтерфейс (потрібна для комфортної роботи оператора з пристроєм).

Розроблена функціональна структура системи управління [9].

Облаштування управління виконане на базі програмованого логічного контролера компанії VIPA 314–6CF02.

Схема облаштування управління складається з наступних вузлів:

- ПЛК VIPA 314–6CF02 і блок живлення VIPA 307–1BA00, що забезпечує його роботу;
- електроприводу Lenze MDEMA 132–22, для забезпечення руху електродів;
- частотного перетворювача LenzeE82EV752K4C;
- дискретних датчиків KBA1 S11, які призначені для збору інформації про положення електродів;
- блок живлення SPD 2460 для забезпечення роботи датчиків.

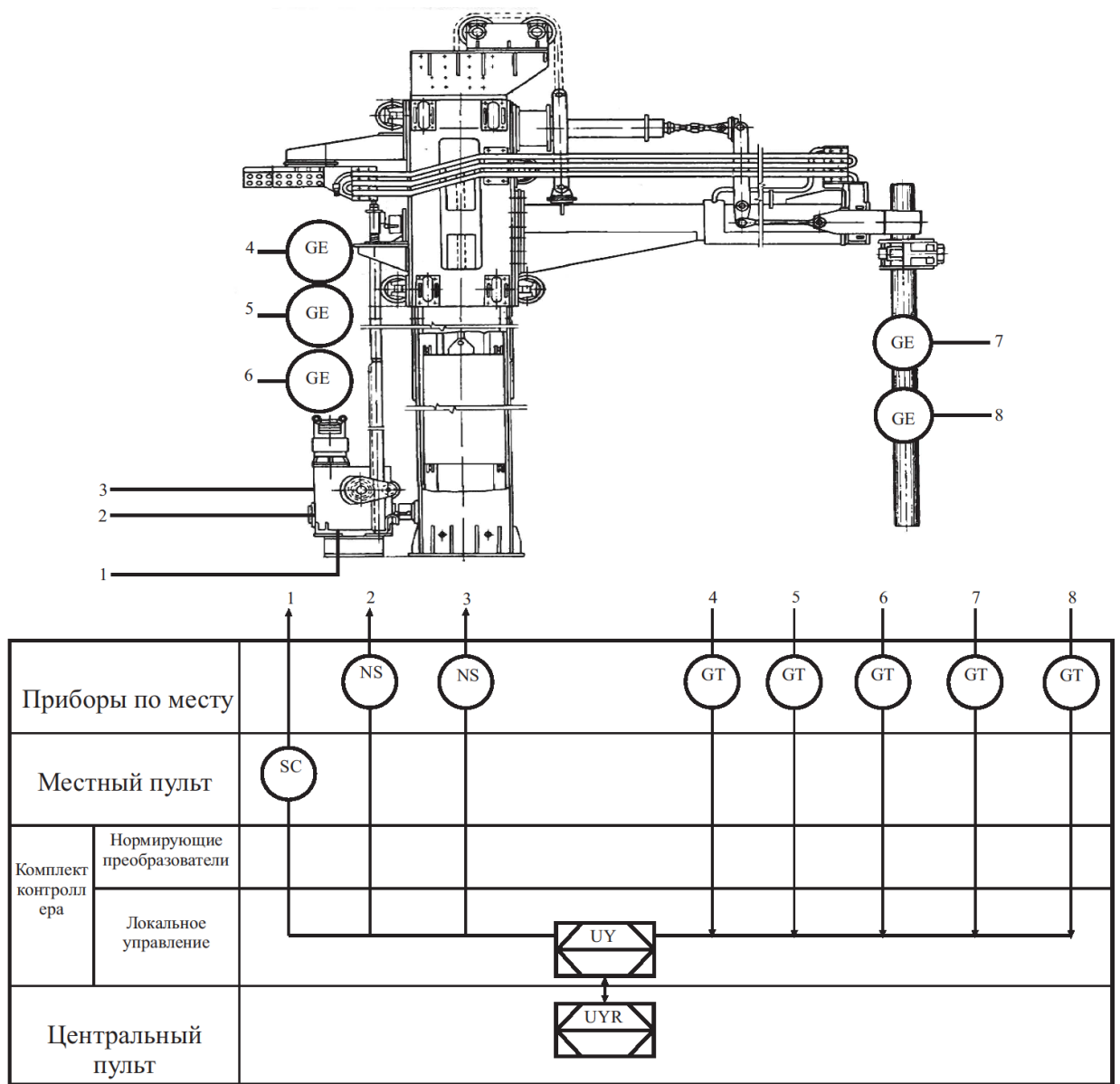


Рисунок 3.1 – Схема автоматизації

### 3.2 Характеристики аппаратных засобів комп'ютерної системи

Вибір апаратних засобів виконується відповідно до технічного завдання і розробленої функціональної структури системи управління. Виходячи з вимог до модернізації, що проводиться, електродвигун постійного струму приводу переміщення стержнів має бути замінений на асинхронний електродвигун з частотним перетворювачем [12,14,16].

Для заміни електродвигуна постійного струму вибраний асинхронний електродвигун компанії Lenze MDEMA 132-22 що відповідає по

типорозміру, живиться від трифазної мережі  $\sim 380$  В і що має потужність 7,5 кВт.

Для управління швидкістю обертання асинхронними електродвигунами використовуються частотні перетворювачі. Відповідно до параметрів електродвигуна вибраний частотний перетворювач LenzeE82EV752K4C що живиться від трифазної мережі  $\sim 380$  В і управляє електродвигунами потужністю до 7,5 кВт.

Механізм контролю положення стержня представлений у вигляді трьох кулачків. При досягненні електродами верхнього рівня виконується натиснення верхнього кулачка, при досягненні електродами нижнього рівня виконується натиснення нижнього кулачка, при упорі електроду в шихту спочатку здавлюється пружина після чого виконується натиснення кулачка упору. Для контролю положення кулачків вибраний кінцевий перемикач KBA1 S11 що має дві контактні групи NC і NO, що відповідає нормально замкнутому контакту і нормально розімкненому контакту.

Інформація про стан електродів (коротке замикання і обрив дуги) виходить від системи управління електродами вже використовуваної на технологічному об'єкті.

Відповідно до вимог до системи як пристрій, що управляє, повинен використовуватися програмований логічний контролер. Програмований логічний контролер повинен мати 1 аналоговий вихід з роздільною здатністю 12 біт, 2 дискретними виходами і 5 дискретними входами. Опитування вхідних і вихідних сигналів повинне відбуватися не рідше за 1 раз в 100 мс. Цим вимогам задовольняє програмований логічний контролер компанії VIPA 314–6CF02 що має 8 дискретних входів, 8 дискретних виходів, 2 аналогові виходи і 4 аналогові входи, а також що має час основного циклу не більше 1 мс. Для зв'язку з персональним комп'ютером використовуватиметься інтерфейс Ethernet.

Компанія Siemens є одним з лідерів ринку устаткування для автоматизації. Промислові контролери (ПЛК) німецького виробника

використовуються в самих різних галузях промисловості. Особливо широке поширення отримали моделі Simatic S7–200, S7–300, і S7–400 що пояснюється їх високою якістю і надійністю. Програмовані логічні контролери Siemens мають ряд технологічних переваг перед конкурентами:

- багатофункціональність;
- можливість створення систем автоматизації різної складності;
- можливість експлуатації ПЛК в складних умовах;
- практично повна автономність;
- простота в обслуговуванні.

Контролери Siemens це ефективне рішення для створення автоматизації.

Програмовані контролери Simatic S7–200 призначені для побудови відносно простих систем автоматичного управління, що відрізняються мінімальними витратами на придбання апаратури і розробку системи. Контролери здатні працювати в реальному масштабі часу і можуть бути використані як для побудови вузлів локальної автоматики, так і вузлів, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet, Profibus-DP, MPI, AS-Interface, MPI, PPI, Modbus, а також через модеми.

Контролери Simatic S7–300 знаходять застосування для автоматизації машин спеціального призначення, текстильних і пакувальних машин, машинобудівного устаткування, устаткування для виробництва технічних засобів управління і електротехнічного устаткування, в системах автоматизації суднових установок і систем водопостачання і так далі.

Програмовані контролери Simatic S7–300 можуть включати до свого складу наступні модулі.

Модуль центрального процесора (CPU). Залежно від міри складності вирішуваних завдань в програмованому контролері можуть використовуватися різні типи центральних процесорів.

Сигнальні модулі (SM), призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів, у тому числі FailSafe і модулі зі вбудованими Ex-бар'єрами. Підтримуються вітчизняні ГОСТ градування термометрів опору.

Комунікаційні процесори (CP) – це інтелектуальні модулі, що виконують автономну обробку комунікаційних завдань для промислових мереж AS-Interface, Profibus, Industrial Ethernet і інтерфейс PtP. Застосування завантажуваних драйверів для CP 341 дозволяє розширити комунікаційні можливості контролера підтримкою обміну даними в мережах Modbus RTU і DataHighway. Для організації модемного зв'язку у складі програмованого контролера Simatic S7–300 можуть використовуватися комунікаційні модулі сімейства SINAUT ST7.

Функціональні модулі (FM) – інтелектуальні модулі, оснащені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати завдання автоматичного регулювання, зважування, позиціонування, швидкісного рахунку, управління переміщенням і так далі. Цілий ряд функціональних модулів здатний продовжувати виконання покладених на них завдань навіть у разі зупинки центрального процесора.

Інтерфейсі модулів (IM) для підключення стоек розширення до базового блоку контролера Simatic S7–300, що дозволяє використати в системі локального введення-виведення до 32 модулів різного призначення. Модулі IM 365 дозволяють створювати 2-рядні конфігурації, модулі IM 360 і IM 361–2, 3 і 4-рядних конфігурації.

Блоки живлення (PS) для живлення контролера S7–300 від мережі змінного або постійного струму.

Конструкція контролера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування :

Усі модулі встановлюються на профільну шину контролера S7–300 і фіксуються в робочих положеннях гвинтами. Об'єднання модулів в єдину

систему виконується за допомогою шинних з'єднувачів (входять в комплект постачання кожного модуля), встановлюваних на тильну частину корпусу.

Довільний порядок розміщення модулів в монтажних стойках. Фіксовані посадочні місця займають тільки модулі PS, CPU і ІМ.

Наявність знімних фронтальних з'єднувачів (замовляються окремо), модулів, що дозволяють робити швидку заміну, без демонтажу їх зовнішніх ланцюгів і операцій підключення зовнішніх ланцюгів модулів, що спрощують виконання ремонту. Механічне кодування фронтальних з'єднувачів унеможливорює виникнення помилок при заміні модулів.

Застосування модульних і гнучких з'єднувачів TOP Connect, що істотно спрощують і знижують час виконання монтажних робіт.

Німецька компанія VIPA спеціалізується на розробці і виробництві програмованих логічних контролерів (ПЛК, PLC), сумісних з контролерами фірми Siemens за системою команд. Компанія була заснована в 1985 р. і пройшла шлях від невеликої інжинірингової фірми до корпорації світового масштабу з представництвами від США до Китаю. Штаб-квартира і склад готової продукції фірми VIPA знаходяться в місті Герцогенаурах (Herzogenaurach), недалеко від Нюрнберга.

Сьогодні VIPA пропонує наступні види продукції:

- мікро ПЛК серії System 100V;
- компактний ПЛК серії System 200V;
- ПЛК серії System 300V (програмно і апаратно сумісний з S7-300 фірм Siemens);
- процесори Speed 7 (над швидкий процесор);
- ПЛК серії System 500V (Slot PLC, для установки в PCI-слот розширення PC-сумісного комп'ютера);
- облаштування видаленого введення/виведення;
- різні види операторських панелей;
- програмне забезпечення.

Мабуть, найбільш помітні переваги від використання контролерів VIPA отримують ті підприємства, які застосовують системи автоматизації на базі ПЛК Siemens. У них з'явиться можливість розширювати наявні системи і створювати нові з меншими фінансовими витратами. Інженерам, знайомим з Simatic S7, не знадобиться багато часу для вивчення нового устаткування.

Програмування контролерів здійснюється як за допомогою ПО WinPLC7-VIPA), так і за допомогою STEP 7 (Siemens). Контролери VIPA можуть працювати без карти пам'яті – її використовують, коли недостатньо об'єму пам'яті, вбудованої в процесорний модуль, або для дублювання програми на інший ПЛК.

Крім того, однією з важливих особливостей продукції VIPA є підтримка відкритих інтерфейсів, широко вживаних в промисловості. Це створює можливість для підключення додаткових апаратних засобів і полегшує інтеграцію окремих виробничих ділянок в інформаційну мережу підприємства. За допомогою стандартних промислових інтерфейсів, таких як Ethernet, Profibus, CANOpen, DeviceNet, Interbus стає можливим використати контролери VIPA (які підтримують ці інтерфейси) спільно з устаткуванням інших виробників.

Мета фірми найближчим часом увійти до п'ятірки найбільших світових виробників засобів управління технологічного рівня, і VIPA упевнено до цієї мети рухається. Незважаючи на непорівнянність «вагових категорій» Siemens і VIPA, виробники VIPA вже отримали популярність. У списку замовників фірми BMW, Volkswagen, Audi, BASF, Bayer, Continental, Thyssen і багато інших найбільших підприємств Німеччини практично в усіх галузях промисловості.

Але контролери VIPA відомі не лише на своїй батьківщині. Різке зростання виробництва почалося буквально останніми роками, коли VIPA прийняла рішення про вихід на світовий ринок. На експорт продукція VIPA йде як під своїм ім'ям, так і у рамках OEM– співпраці під логотипом замовника. Зокрема, свій логотип ставлять на контролери VIPA такі відомі марки як німецька фірма Lenze– відомий виробник електроприводів,

італійська фірма Gefran – відомий виробник устаткування для обробки пластмас, і найбільший китайський системний інтегратор в області промислової автоматизації HollySys.

Компанія PhoenixContact пропонує широкий спектр програмованих контролерів.

Компактні і економічні: програмовані логічні модулі для управління простими застосуваннями. Спрощена система автоматизації за вигідною ціною: міні-контролери класу продуктивності 100 підтримують усі поширені способи передавання інформації, Ethernet, мобільний зв'язок або телефонні лінії. Крім того, до контролерів можна просто під'єднати модулі введення-виведення Inline, і вони мають вбудований веб-сервер.

Автоматизація на найвищому рівні: ПЛК класу 300 і 400 є високопродуктивними контролерами для вирішення середніх по складності і складних завдань. Крім того, програмний ПЛК дозволяє використати промисловий комп'ютер в якості повноцінної системи управління.

При розробці програмованих логічних модулів важливим елементом являється можливість їх взаємодії. Управляє базовими застосуваннями і обмінюється даними за допомогою різних засобів зв'язку.

Крім того, система має модульну структуру і можливість гнучкого розширення, а це оптимально до вимог замовника.

### **3.3 Характеристики апаратних засобів комп'ютерної мережі**

#### *Комутатори.*

Cisco SB SG112-24-EU доступний і простий у використанні комутатор для малого бізнесу.

#### *Особливості.*

- Доступні швидкості 10/100/1000 Мбіт навіть для самих вимогливих до смуги пропускання додатків.
- Некерований 24 портовий гігабітний коммутатор.
- Працює прямо з коробки: не вимагає налаштувань.



Cisco SB SG112-24-EU це некерований комутатор, який не потребує установки програмного забезпечення і додаткових налаштувань, відразу готовий до використання. Просто підключіть його до комп'ютера і іншого офісного обладнання і приступайте до роботи.

За допомогою Cisco SB SG112-24-EU легко побудувати досить надійну мережу для підключення комп'ютерів, принтерів, копіювальної та іншої офісної техніки. Користувачі, робочі групи, лабораторії, відділи, або зростаючі офіси тепер можуть отримувати велику кількість мультимедіа, зображень, відео та інформації по мережі в реальному часі.

Некерований коммутатор Cisco SB SG112-24-EU забезпечує базові підключення і надійність мережі для малих підприємств, з малим бюджетом і без складнощів. Комутатор забезпечує всі функції, розширюваність, і захист інвестицій [12].

Комутатор Cisco SB SG112-24-EU забезпечує з'єднання на швидкості каналу GigabitEthernet. Комутатор призначений для будь-якого офісного приміщення з основними потребами мережі та оптимізації енергетичної ефективності. Він споживає менше енергії і забезпечує міцний і надійний зв'язок, також підтримує додаткові функції, такі як якість обслуговування (QoS), визначає обрив проводу та виявлення петлі, діагностику кабелів [11].

Комутатор Cisco WS-C2960X-48TS-L.

Серія: Cisco Catalyst 2960-X

Рівень комутатора: 2 рівень

Тип Cisco IOS: LAN Lite.

Порти доступу Ethernet: 48 x GE RJ-45.

Порти агрегації Ethernet: Слоти під SFP модулі

Універсальні порти Ethernet: 2 x SFP

Стекування: FlexStackPlus / 8

Пам'ять FLASH: 64 Мб

Обсяг ОЗУ: 512 Мб

Висота RM UNIT: 1U

Матриця комутації: 100 Гбіт/с

Подробиці CiscoCatalyst 2960-X - лінійка стекові комутаторів з підтримкою технології доступу GigabitEthernet. Моделі CiscoCatalyst 2960-X забезпечують комутацію другого рівня (L2 layer) і оснащені одним основним блоком живлення з можливістю установки додаткового, резервного джерела живлення. Дані комутатори забезпечені 48 портами GigabitEthernet, підтримують технології PoweroverEthernet/PoweroverEthernetPlus (PoE / PoE+) і чотири канали GigabitEthernetSmall Form-Factor Pluggable (SFP) або два канали 10 GigabitEthernetSmall Form-Factor PluggablePlus (SFP+). Комутатори працюють на базі двох ядерного процесора 600МГц. Технологія FlexStack-Plus дозволяє зібрати стек з 8 комутаторів і забезпечує пропускну здатність 80 Гбіт/сек. Для забезпечення візуалізації та контролю трафіку різних додатків в мережі, Cisco додали функцію NetFlowLite, яка дозволяє інженерам моніторити і управляти потоками даних на всіх сегментах мережі. Ця платформа, прийшовши на зміну пристроям із серії Catalyst 2960-S, розроблена з метою скорочення операційних витрат та сукупну вартість.

Безпека мережі - це головний пріоритет системи захисту від мережевих погроз і погроз з Інтернету [13]. Застосовувана в ZyWALLVPN2S функція брандмауера SPI (StatefulPacketInspection) захищає від атак різного типу, в тому числі DoS (DenialofService), атак з використання підроблених IP-адрес, неавторизованого віддаленого доступу до систем, підозрілого мережевого трафіку і пакетів, забезпечуючи безпечну і керовану роботу мережного середовища. ZyWALLVPN2S забезпечує фільтрацію контенту, яка блокує доступ користувача до 64 URL адрес і різних категорій загроз, включаючи анонімайзери, шкідливе програмне забезпечення, фішинг і шахрайство, боти, сайти зі спамом і т.п., а також до стороннього контенту, наприклад, містить сцени насильства і порнографію.

Характеристики провідної мережі.

Вхідний інтерфейс - (WAN) 10 / 100BASE-TXEthernet (MDI / MDIX), 10/100 / 1000BASE-TEthernet (MDI / MDIX).

Кількість LAN портів (RJ-45) - 4 шт.

Доп. порти і роз'єми USB.

Підтримка транспортних протоколів PPTP, IPSec, L2TP, IPv6 (GRE).

Відповідність мережевим стандартам IEEE 802.3 10BASE-T (10 Мбіт / с), IEEE 802.3u 100BASE-TX (100 Мбіт / с), IEEE 802.3ab 1000BASE-T (1000 Мбіт / с), IEEE 802.1Q (VLAN).

Роутер Cisco RV340



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд Cisco RV340

Технічні характеристики.

Швидкість WAN - 1Гбіт/с

Кількість RJ-45 LAN 1 Гбіт/с - 4

Кількість слотів SFP - 1

Підтримка USB 3G/4G-модема

Модель RV340-K9-G5 серії SmallBusiness виробництва компанії Cisco - це невеликий продуктивний VPN-роутер для мереж малого бізнесу. Також є два USB-роз'єми під 3G / 4G модеми. Дана модель з розширеним VPN-функціоналом.

Сервер DellEMCT140, 4LFF, XeonE-2134, 1x16GB, H330, 2x2TBNLSAS, DVD-RW, iDRAC9Bas, 3YrNBD, Twr

Процесор IntelXeon E-2134 3.5GHz, 8M cache, 4C/8T, turbo (71W).

Оперативна пам'ять 1x16GB 2666MT/s DDR4 ECC UDIMM (up 4x DDR4 DIMM slots, supports UDIMMs, speeds upto 2666MT/s, 64GB max. Supports registered ECC).

Дисковий накопичувач 3.5 "Chassisupto 4 CabledHardDrives.

Установлені HDD2x2TB 7.2K RPM NLSAS 12Gbps 512n 3.5in CabledHardDrive.

Дисковий контролер PERC H330 RAID Controller, Adapter, FullHeight

Мережевий контроллер2 x 1GbE LOM.

Привід DVD +/- RW SATA Internal.

Слоти - 1x8 Gen3 (x16 connector) FH/HL 1x8 Gen3 (x8 connector) FH/HL 1x4 Gen3 (x8 connector) FH/HL 1x1 Gen3 (x1 connector) FH/HL.

Зовнішні порти FrontPorts: 1x USB 3.0, 1x iDRACmicro USB 2.0 managementportRearPorts: 2x USB 3.0, 4x USB 2.0, VGA, serialconnectorInternal USB: 1x internal USB 3.0.

Управління iDrac9, Basic.

Формфактор Towerserver.

### **3.4 Особливості адресації в комп'ютерній мережі**

#### **3.4.1 Базове налаштування пристроїв мережі та розробка програми налаштування**

В роботі необхідно змоделювати комп'ютерну мережу (рис. 2.1) в PacketTracert за наступними вимогами:

мережний блок: 10.24.0.0/15;

– кількість ПК у кожній LAN: LAN1 – 362, LAN2 –122, LAN3 – 79, LAN4 –248, LAN5 – 311;

– VLAN згідно табл. 3.1.

–

Таблиця 3.1 – VLAN

Номер VLAN	Ім'я VLAN	Примітка
1	default	Не використовується
16	Accounting	Для бухгалтерії
36	ResourcesDepartment	Для відділу кадрів
46	Guest	Для гостей

99	Management	Для управління пристроями
100	Native	Власна

Задавати назви пристроям за наступним правилом:

*Babenko\_тип пристрою\_номер пристрою.*

Під час налаштування комп'ютерної мережі встановити паролі:

- консолі і vty – *cisco123\_16sk*;
- привілейованого режиму – *class123\_16sk*.

При налаштуванні ssh:

- користувач: *KIITS-15-2\_Babenko*;
- пароль користувача: *Babenko*.

Розподілити порти на комутаторах згідно рисунку 2.1.

Під час налаштування пулів DHCP і NAT встановити такі дані:

- ім'я пулу DHCP - *pool\_vlanN*;
- ім'я пулу NAT – *Internet123\_16sk*;
- пул адресів NAT - *209.165.202.5 – 209.165.202.30*;
- номер списку доступу – *20*.

Згідно з вимогами було приведено базове налаштування пристроїв [16].

Розроблено базову конфігурацію пристроїв. При цьому додатково:

- зашифровано усі паролі, що зберігаються у відкритому вигляді;
- настроєно банер MOTD;
- настроєно на усіх лініях vty використання протоколу ssh і локальних облікових записів. Для цього створено користувача *KIITS-15-2\_Babenko* паролем *Babenko*. В якості імені домена використані назви пристроїв. Для шифрування даних створено ключ RSA завдовжки 1 024 біт;
- налаштовано IPv4-адреси відповідно до таб. 3.1;
- на DCE-інтерфейсах маршрутизаторів встановлено значення тактової частоти – *128000*.

Приклад налаштування на Babenko\_Router1.

```
Router>en
Router# configureterminal
Router(config)#hostnameBabenko_Router0
Babenko_Router0(config)#username KIITC-15-2_Babenkopassword 0
Babenko
Babenko_Router0(config)#ip domain-name Babenko_Router_LAN4
banner motd #LAN_5 KIITS-15-
2_BabenkoTheautomatedcontrolsystemequipmentcomplexprocessingofgasstations
constructionandsettingup a computernetwork #
Babenko_Router0(config)#line con 0
Babenko_Router0(config-line)# passwordcisco123_16sk
Babenko_Router0(config-line)# login
Babenko_Router0(config-line)#line vty 0 4
Babenko_Router0(config-line)# passwordcisco123_16sk
Babenko_Router0(config-line)# login
Babenko_Router0(config-line)# transportinputssh
Babenko_Router0(config-line)#line vty 5 15
Babenko_Router0(config-line)# passwordcisco123_16sk
Babenko_Router0(config-line)# login
Babenko_Router0(config-line)# transportinputssh
```

*LAN (Virtual Local-Area Network)* – це одна з функцій FastEthernet. VLAN дозволяє змінювати конфігурацію мережі, поєднувати користувачів в окремі робочі групи, визначати доступні сегменти для окремо взятого порту. VLAN дає можливість значно оптимізувати роботу локальної мережі за рахунок розвантаження окремих її сегментів від зайвого трафіка. За допомогою VLAN можна ще контролювати й ефективно пригнічувати широкомовні шторми, які в більших мережах іноді припиняють роботу цілих сегментів. Безсумнівним плюсом VLAN є ще й те, що ця функція здатна поєднувати декількох портів ( до 4) в один єдиний канал (називається транк), швидкість роботи якого збільшується пропорційна кількості об'єднаних портів. За допомогою технології VLAN звичайно створюються робочі групи. Користувачі однієї робочої групи не можуть одержати доступ до даних іншої групи, тому що кожна VLAN – це закрыта й логічна певна група. Так що VLAN – це ще й безпека[19].

Згідно завдання мережа LAN1 розділяється на рівні підмережі VLAN. Налаштовані параметри безпеки комутаторів, мережі VLAN і маршрутизація між VLAN. Використано табл. 3.13, щоб створити вказані в списку мережі VLAN і присвоїти кожній з них ім'я. Додатково:

- по топології настроєно транкові порти і порти доступу;
- вимкнено усі невикористовувані фізичні порти комутаторів;
- на портах комутаторів, підключених до серверів, настроєно функцію безпеки портів так, щоб:
  - a) тільки двом унікальним пристроям був дозволений доступ до порту;
  - b) MAC- адреса пристрою розпізнавалася динамічно і додавалася в поточну конфігурацію;
  - c) при порушенні системи безпеки вирушало повідомлення, а порт залишався включеним;
- налаштовано SVI-інтерфейси на комутаторах, призначивши по табл. 2.1 IPv4- адреси з мережі Management VLAN;
- налаштовано маршрутизацію між мережами VLAN.

Enhanced Interior Gateway Routing Protocol — (EIGRP) — це пропрієтарний протокол маршрутизації, що базується на старому протоколі IGRP. EIGRP — дистанційно-векторний протокол маршрутизації, що був оптимізований для зменшення нестабільності протоколу після змін топології мережі, уникнення проблеми зациклення маршруту та більш ефективного і економного використання потужності маршрутизатора. Роутери, що підтримують протокол EIGRP також підтримують і IGRP та перетворюють маршрутну інформацію для IGRP-сусідів з 32-бітної метрики EIGRP у 24-бітну метрику стандарту IGRP. Алгоритм визначення маршруту базується на

алгоритмі Дейкстри пошуку в глибину на графі. EIGRP обчислює і враховує 5 параметрів для кожної ділянки маршруту між вузлами мережі:

- Total Delay — Загальна затримка передачі (з точністю до мікросекунди);
- Minimum Bandwidth — Мінімальна пропускна спроможність (в Кб/с — кілобіт/секунду);
- Reliability — Надійність (оцінка від 1 до 255; 255 найбільш надійно);
- Load — Завантаження (оцінка від 1 до 255; 255 найбільш завантажено);
- Maximum Transmission Unit (MTU) (не враховується при обчисленні оптимального маршруту, береться до уваги окремо) — максимальний розмір блоку, що можливо передати по ділянці маршруту.

Згідно завдання в мережі використовується протокол EIGRP. На кожному маршрутизаторі оголошені безпосередньо підключені мережі та відключено поширення оновлень маршрутизації на інтерфейси в локальні мережі. На Babenko\_Router1 налаштований маршрут за умовчанням до інтернет-провайдера (ISP) і розповсюджено його через оновлення маршрутизації EIGRP.

DynamicHostConfigurationProtocol (DHCP) - динамічний протокол налаштування комп'ютерів. Сервер DHCP є першим комп'ютером з яким зв'язуються при завантаженні бездисківі робочі станції, що мають мережеву картку PXE. Основне завдання серверу DHCP полягає у призначенні адрес IP та іншої конфігураційної інформації стеку протоколів TCP/IP комп'ютерам, про існування котрих могло навіть не бути відомо до встановлення сеансу зв'язку. Сервер DHCP може роздавати адреси IP на підґрунті адрес MAC мережевих карт. Також сервер DHCP може вказувати бездисківим станціям звідки брати файлову систему та ядро для завантаження через мережу. Роль серверу DHCP є безцінною в мережах де кількість комп'ютерів є змінною, а їх кількість перевищує можливе для цієї мережі число адрес, наприклад для провайдерів послуг Інтернет через додзвон по комутованих лініях. Протокол DHCP розширює можливості старого BOOTP і дозволяє динамічно



змінювати налаштування стеку TCP/IP на робочих станціях. Фактично він значно полегшує роботу системних адміністраторів та обслуговуючого персоналу. Прослуховує запити на порт 67.

### **3.4.2 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу**

Програмне забезпечення (ПЗ) для автоматизованого управління електродуговою піччю здійснює реалізацію усіх функцій системи автоматизованого управління, що розробляється, відповідно до технічних вимог - ТЗ) [21].

Програма є граф, який реалізований на мові програмування FBD, з подальшою трансляцією і її відладкою в середовищі WinPLC7 для програмованого логічного контролера VIPA 314–6CF02.

Система управління, що розробляється, електродуговою піччю може знаходитися в семи станах: Стан стоп – система управління електродуговою піччю не функціонує;

1. Стан спокою – система управління електродуговою піччю функціонує;
2. Стан роботи – система управління здійснює рух електродів;
3. Стан підйому електродів – система управління здійснює підйом електродів;
4. Стан зупинки - система управління здійснює зупинку руху електродів;
5. Стан нижньої межі – стан в якому система управління досягає датчика нижньої межі;
6. Стан аварії – система управління здійснює прискорений підйом електродів.

Розроблений граф системи управління електроутримувачами електродуговій печі представлений на рис. 3.3.

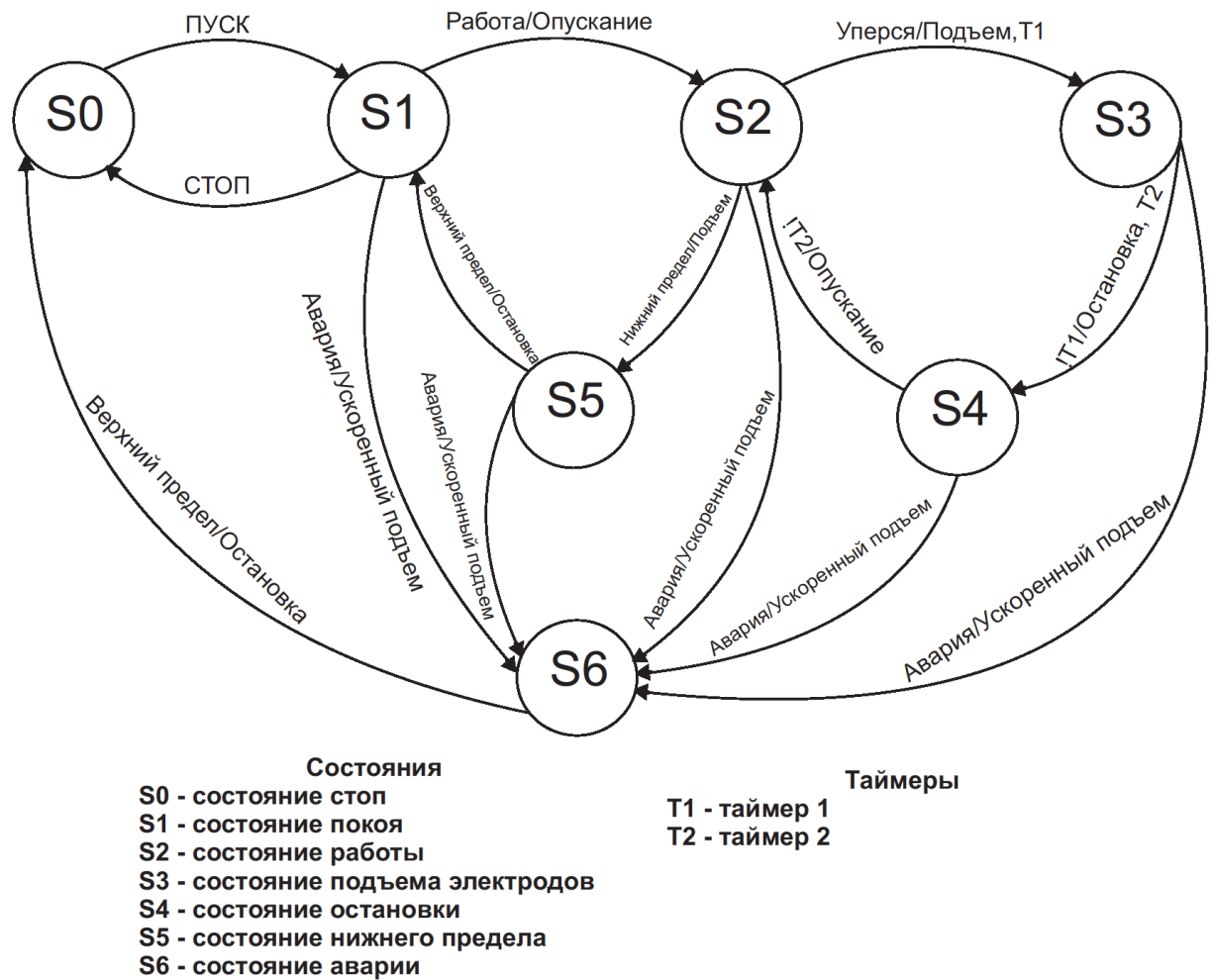


Рисунок 3.3 – Граф станів системи управління електроутримувачами електродугової печі

Початковим станом для системи управління електродуговою піччю є стан стоп в нього так само можна перейти по натисненню кнопки «СТОП». При переході в стан стоп із стану спокою електродуговій печі припиняється функціонування системи управління. При переході в стан стоп із стану аварії система вимикає струм на електродах, здійснює прискорений підйом електродів і переходить в стан спокою [23].

Система переходить із стану стоп в стан спокою при натисненні кнопки «ПУСК».

Розроблено програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу на базі SCADA системи zenon повинно включати зображення технологічного процесу та графіку зміни положення електродів. Відповідно до цього

необхідно реалізувати два зображення. Стандартним рішенням за для переключенням між зображенням є третє зображення з кнопками обрання зображення. Таким чином можливо поділити структуру зображення на зображення кнопок та загальне зображення.

В SCADA системі zenon відокремлення зображень реалізується за допомогою фреймів, кожен з яких відповідає за розмір та розміщення відповідного типу зображень. Згідно з цим розроблено загальне розміщення фреймів зображень яке наведено на рис. 3.4.

Головний фрейм має розміри 1366x690 та займає більшість екрану. На цьому фреймі відображаються зображення технологічного процесу та графіку зміни температури. На допоміжному фреймі відображається зображення кнопок.



Рисунок 3.4 – Фрейми людино-машинного інтерфейсу

Відповідно до фреймів та вимог до людино-машинного інтерфейсу розроблену зображення кнопок на якому відображаються кнопки перемикавання зображень та кнопка виходу (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Зображення кнопок

За для візуалізації технологічного процесу розроблено відповідне зображення на якому відображаються уставка положення електродів, уставка швидкості переміщення електродів, положення електродів та швидкість переміщення електродів (рис. 3.6).

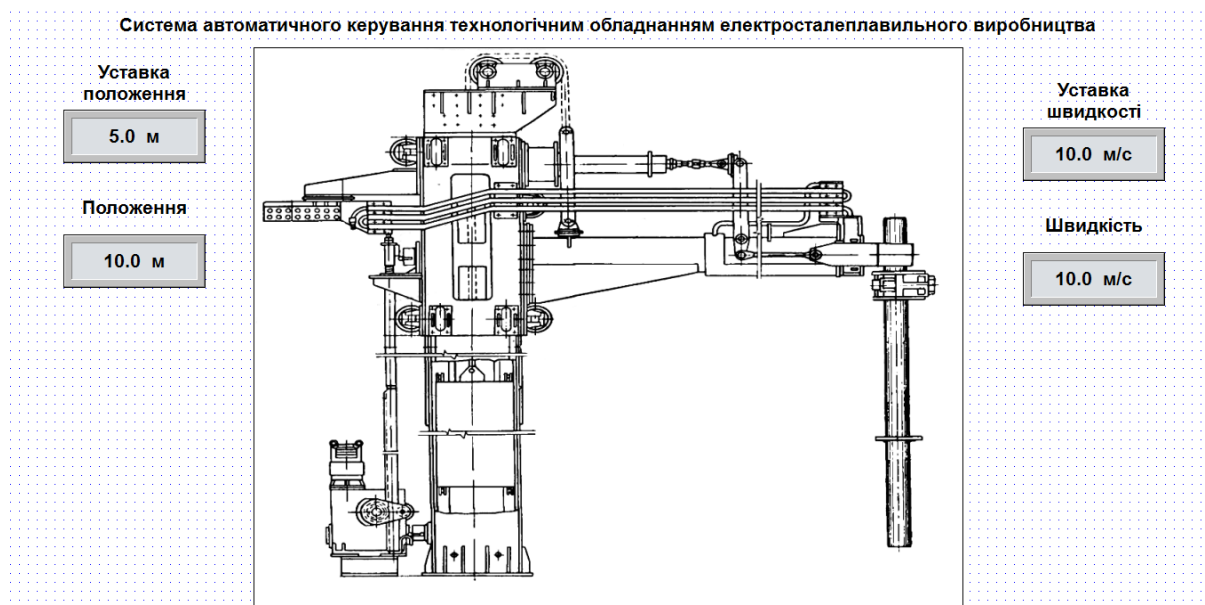


Рисунок 3.6 – Зображення технологічного процесу

За для відображення графіку змінення положення розроблено зображення на базі стандартного зображення “Extendedtrend”, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 3.7.

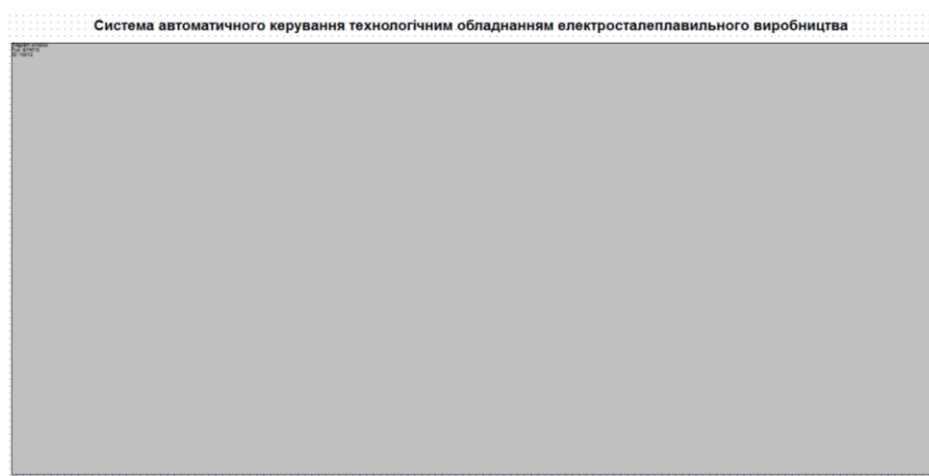


Рисунок 3.7 – Зображення графіку переміщення електродів

Перевірка функціонування системи керування та людино машинного-інтерфейсу виконувалася за допомогою програми симуляції об'єкта управління. У результаті перевірки виявлено, що зображення технологічного процесу функціонує у повній відповідальності до завдання: відображаються значення уставки, температури пару та положення виконавчого пристрою (рис. 3.8).

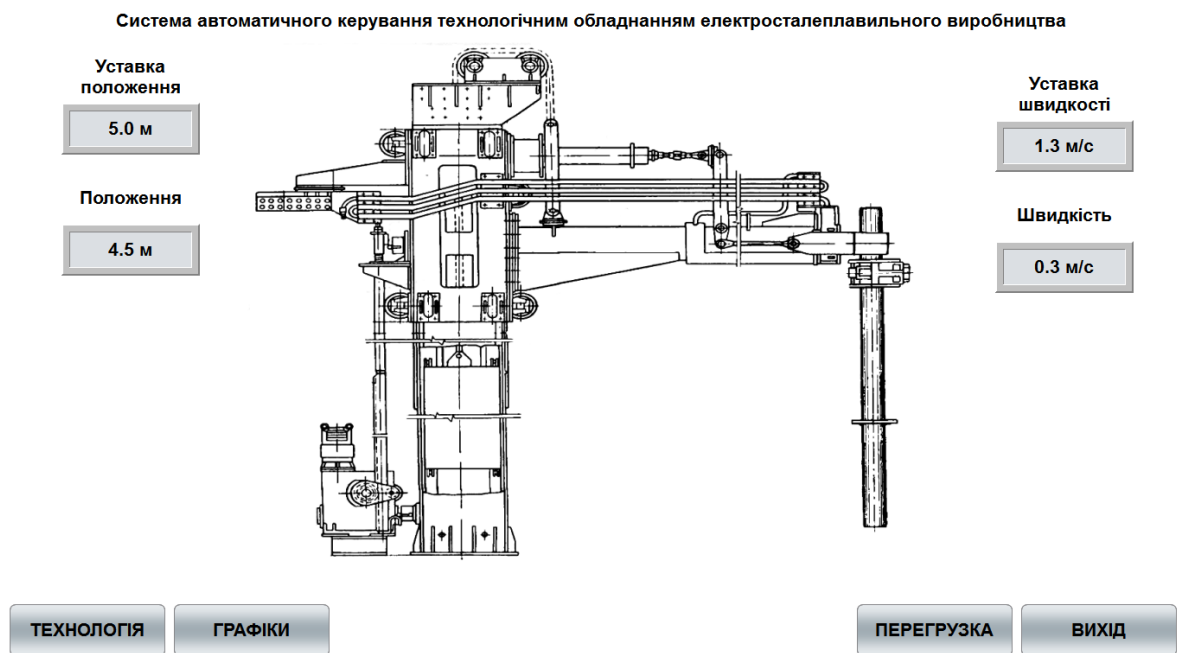


Рисунок 3.8 – Зображення технологічного процесу

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Розробка математичної моделі мережі як замкнутої системи масового обслуговування

Відповідно до структурної схеми комп'ютерної мережі та її імітаційної моделі розроблено структуру математичної моделі комп'ютерної мережі як замкнутої системи масового обслуговування (Рис. 4.1).

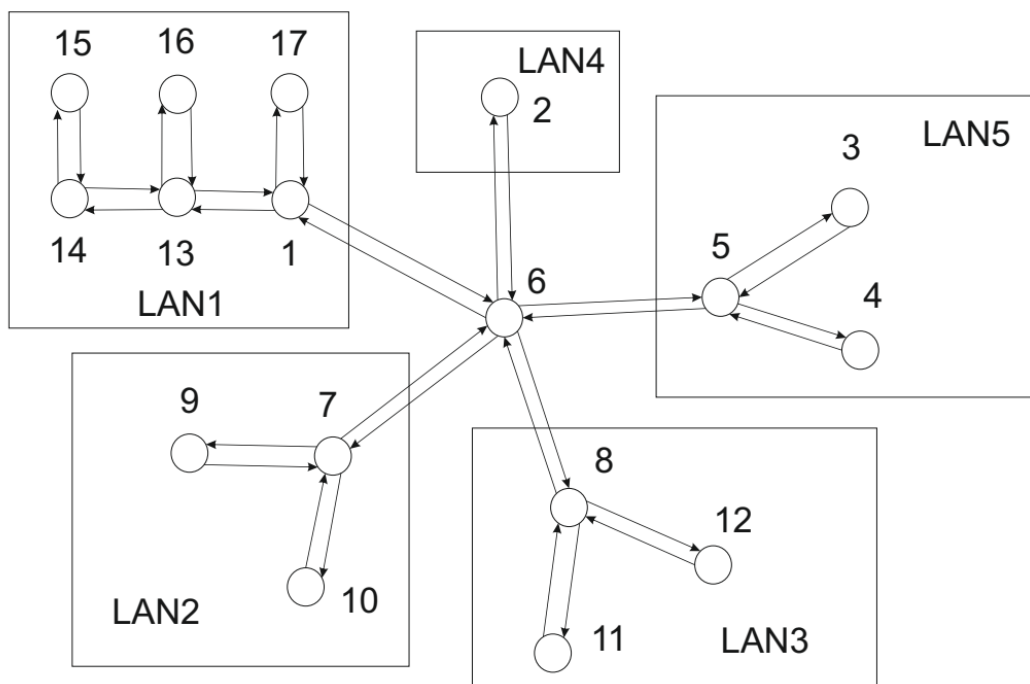


Рисунок 4.1 – Структура математичної моделі комп'ютерної мережі

Структура моделі комп'ютерної мережі відповідає структурі мережі рівня підприємства, яка була розроблена у бакалаврській роботі.

Зв'язки між елементами структури – це ймовірність передачі пакета від одного до другого вузла. Кожен вузол – це система масового обслуговування [6].

Ймовірність того що вузол зв'язується сам з собою дорівнює нулю.

Ймовірність того що вузли, які відповідають за маршрутизацію зв'язуються між собою приблизно рівна, ймовірність того, що найбільш інтенсивно буде йти зв'язок із серверами та інтернетом найбільш висока.

Результатом є маршрутна матриця розмірністю 17 x 17.

$$Pr := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.1 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Матриця стовпчик

	0
0	2
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2
6	2
7	2
τ = 8	2
9	2
10	2
11	2
12	2
13	2
14	2
15	2
16	2
17	

Показує час обробки одного повідомлення в відповідному вузлі. Для початкових умов моделювання ми задаємо однакові умови для усіх вузлів моделі.

## 4.2 Розрахунок параметрів мережі по її моделі

Далі методом Гауса розраховується матриця стовпчик з передаточними коефіцієнтами

$$e_{\text{мк}} := \begin{pmatrix} 1 \\ 0.4 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 2 \\ 4 \\ 1.667 \\ 1.667 \\ 0.33 \\ 0.33 \\ 0.167 \\ 0.5 \\ 0.4 \\ 0.2 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.2 \end{pmatrix}$$

Задаємо матрицю  $m$ , коефіцієнти якої означають кількість конвеєрів обробки пакетів в кожному із вузлів системи масового обслуговування.

Для розрахунків приймаємо, що в кожному пристрої знаходиться лише один конвеєр обробки пакетів.



	0
0	1
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
m = 8	1
9	1
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	

Матриця В це матриця яка визначає з якою ймовірністю у відповідному вузлі (строчки) буде знаходитися у чеканні обробки пакетів (номер стовпчика).

	0	1	2	3	4	5
0	0.807	0.161	0.028	$3.939 \cdot 10^{-3}$	0	
1	0.923	0.072	$4.806 \cdot 10^{-3}$	$2.449 \cdot 10^{-4}$	$7.171 \cdot 10^{-6}$	
2	0.904	0.088	$7.41 \cdot 10^{-3}$	$4.749 \cdot 10^{-4}$	$1.751 \cdot 10^{-5}$	
3	0.904	0.088	$7.41 \cdot 10^{-3}$	$4.749 \cdot 10^{-4}$	$1.751 \cdot 10^{-5}$	
4	0.615	0.259	0.095	0.027	$4.482 \cdot 10^{-3}$	
5	0.23	0.265	0.254	0.18	0.072	
6	0.679	0.233	0.07	0.016	$2.163 \cdot 10^{-3}$	
7	0.679	0.233	0.07	0.016	$2.163 \cdot 10^{-3}$	
8	0.936	0.06	$3.301 \cdot 10^{-3}$	$1.382 \cdot 10^{-4}$	$3.322 \cdot 10^{-6}$	
9	0.936	0.06	$3.301 \cdot 10^{-3}$	$1.382 \cdot 10^{-4}$	$3.322 \cdot 10^{-6}$	
10	0.968	0.031	$8.632 \cdot 10^{-4}$	$1.813 \cdot 10^{-5}$	$2.179 \cdot 10^{-7}$	
11	0.904	0.088	$7.41 \cdot 10^{-3}$	$4.749 \cdot 10^{-4}$	$1.751 \cdot 10^{-5}$	
12	0.923	0.072	$4.806 \cdot 10^{-3}$	$2.449 \cdot 10^{-4}$	$7.171 \cdot 10^{-6}$	
13	0.961	0.037	$1.233 \cdot 10^{-3}$	$3.106 \cdot 10^{-5}$	$4.482 \cdot 10^{-7}$	
14	0.981	0.019	$3.122 \cdot 10^{-4}$	$3.911 \cdot 10^{-6}$	$2.801 \cdot 10^{-8}$	
15	0.981	0.019	$3.122 \cdot 10^{-4}$	$3.911 \cdot 10^{-6}$	$2.801 \cdot 10^{-8}$	
16	0.961	0.039	$1.264 \cdot 10^{-3}$	$3.151 \cdot 10^{-5}$	$4.482 \cdot 10^{-7}$	

Відповідно до алгоритму Бузена розраховуються середні значення по кожному із вузлів мережі.

Інтенсивність вхідного потоку пакетів у кожному вузлі

	0
0	0.093
1	0.037
2	0.047
3	0.047
4	0.186
5	0.373
6	0.155
7	0.155
8	0.031
9	0.031
10	0.016
11	0.047
12	0.037
13	0.019
14	$9.315 \cdot 10^{-3}$
15	$9.315 \cdot 10^{-3}$
16	0.019
17	

$\lambda =$

Середнє число пакетів що чекають на обробку в кожному вузлі

	0
0	0.228
1	0.082
2	0.105
3	0.105
4	0.548
5	1.6
6	0.429
7	0.429
8	0.067
9	0.067
10	0.033
11	0.105
12	0.082
13	0.04
14	0.02
15	0.02
16	0.041

$L =$

## Середній час обробки пакета в вузлі

	0
0	2.45
1	2.211
2	2.248
3	2.248
4	2.94
5	4.294
6	2.765
7	2.765
8	2.185
9	2.185
10	2.126
11	2.248
12	2.211
13	2.137
14	2.102
15	2.102
16	2.209

### 4.2.1 Параметри роботи мережі без впливу шкідливого програмного забезпечення

Робота комп'ютерної мережі в «нормальному» режимі характеризується наступними параметрами.

Кількість пакетів, які циркулюють у мережі дорівнює 5. Час обробки пакетів у всіх вузлах мережі однаков і складає 2 часові одиниці (для досліджуваної мережі 1 часова одиниця дорівнює 1 мілісекунді). Кількість конвеєрів обробки пакетів у кожному вузлі мережі дорівнює 1.

За таких вихідних даних отримано графіки, що показують усереднені характеристики кожного з вузлів.

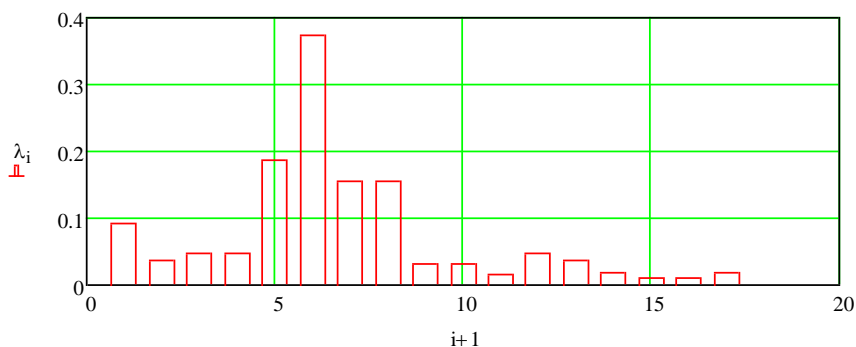


Рисунок 4.2 – Інтенсивність потоку, що входить у вузол

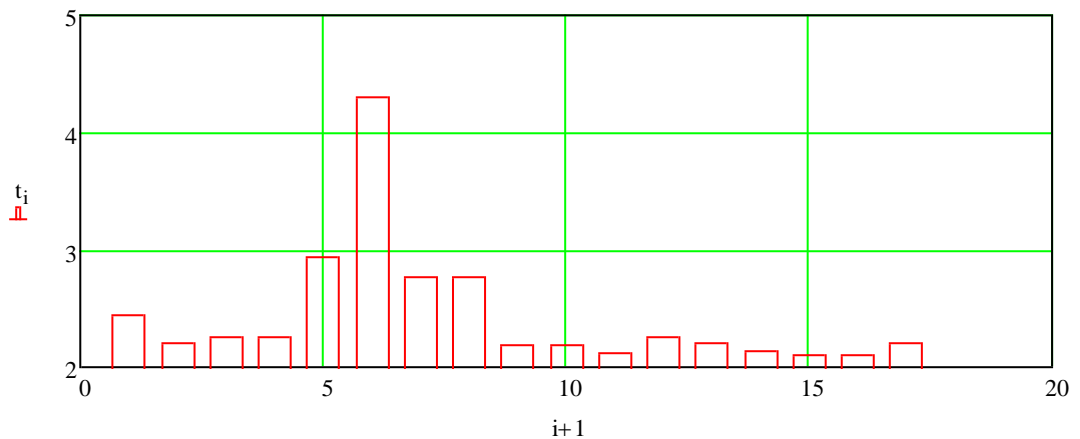


Рисунок 4.3 – Середній час перебування пакета у вузлі

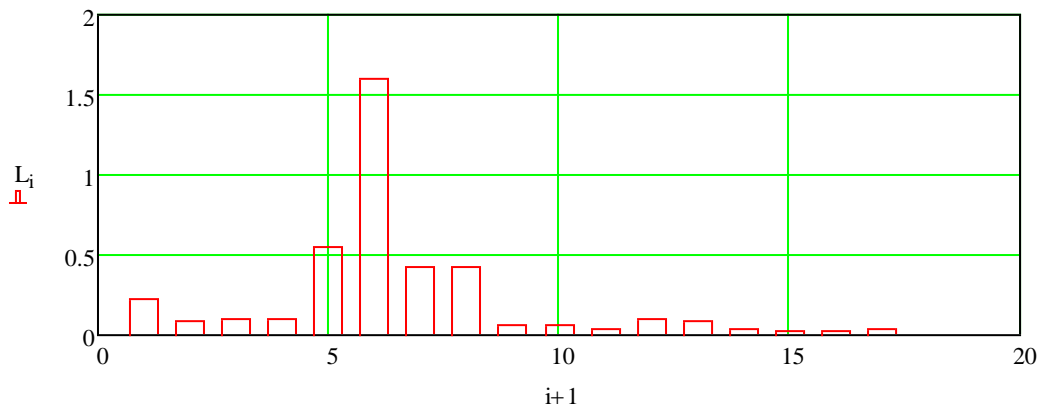
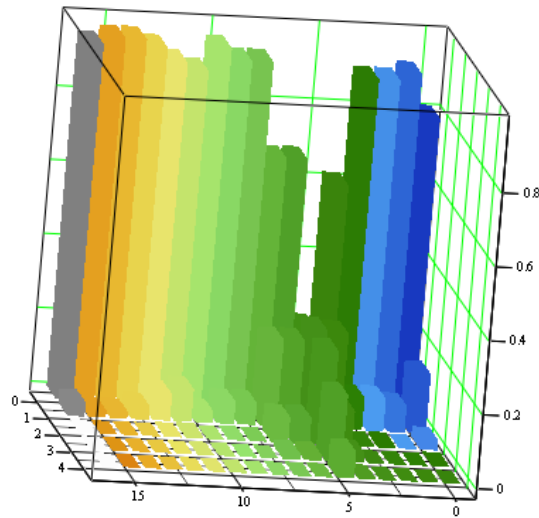


Рисунок 4.4 – Середня кількість пакетів які знаходяться у вузлі

Як бачимо, в цілому у всіх вузлах мережі усереднені параметри показують, що усі повідомлення обробляються швидко і без черги. Виключенням є вузол 6.

Ймовірність того, що в вузлі 6 в черзі на обробку будуть знаходитися 2-3 пакети досить висока. В вузлах 5,7,8 з ймовірністю 0.6 – 0.8 черги не буде. Але їх показники гірші ніж показники у інших вузлів.



В

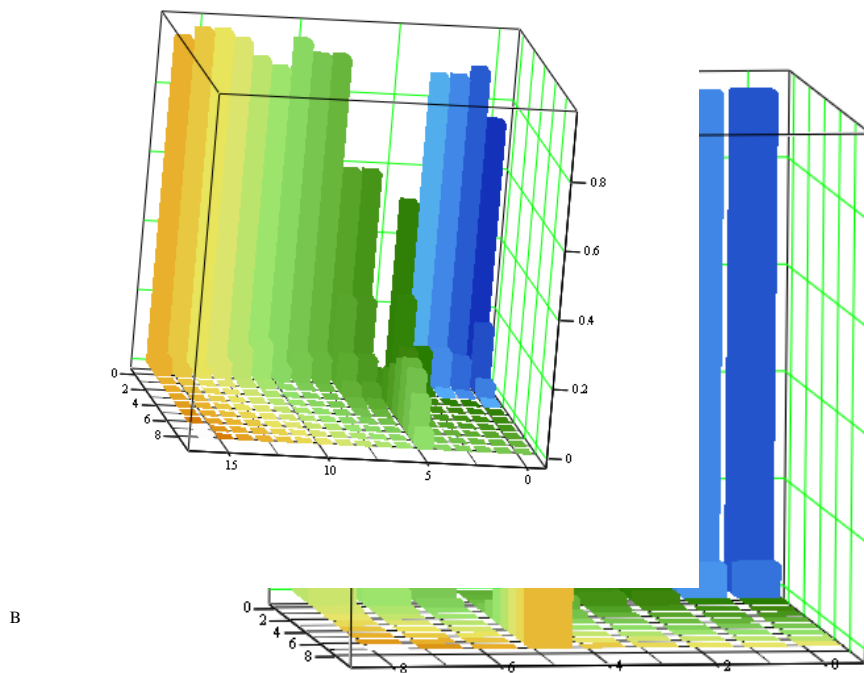
Рисунок 4.5 – Ймовірність черги у вузлах мережі

Можемо зробити попередній висновок про те, що при заданих параметрах вузол 6 мережі є найбільш проблемним.

#### 4.2.2 Параметри роботи мережі під впливом вірусних програм

Вірусне ПЗ, як і будь-які інші програми, вимагають певного обсягу ресурсів ЕОМ, на якому вони виконуються, а також можуть генерувати додатковий трафік в мережі. В залежності від виду вірусів, створювана ними навантаження на ЕОМ і мережу може сильно відрізнятись. Так, наприклад, класичні віруси в загальному випадку не створюють навантаження на мережу зовсім. Деякі ж мережеві віруси можуть здійснювати таку кількість мережевих запитів, що обчислювальна мережа може і зовсім перестати функціонувати [5].

Для моделювання подібної ситуації задаємо кількість запитів у мережі збільшуємо вдвічі,  $N=10$ .



В  
 Рисунок 4.6 – Ймовірність черги у вузлах якщо в мережі циркулює 10 пакетів

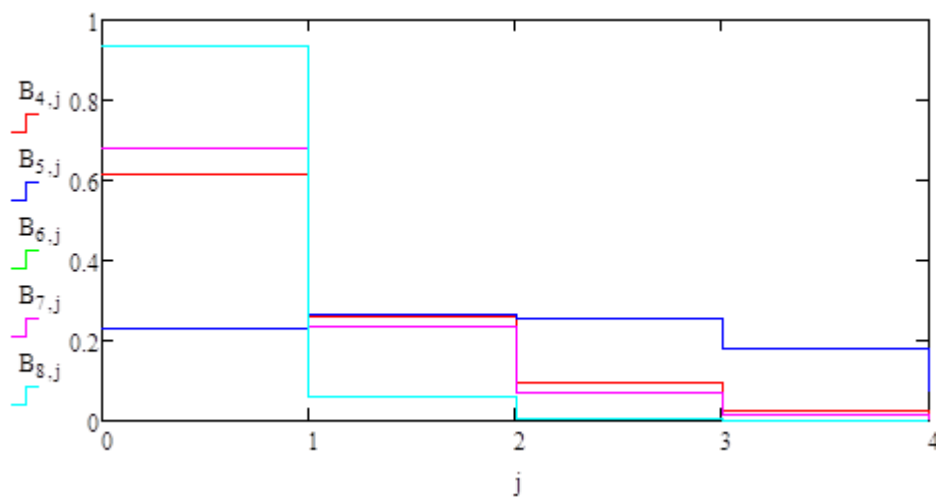


Рисунок 4.7 – Ймовірність черги у вузлах якщо в мережі циркулює 5 пакетів



Відповідно до змін розраховані як усереднені так і ймовірнісні характеристики.

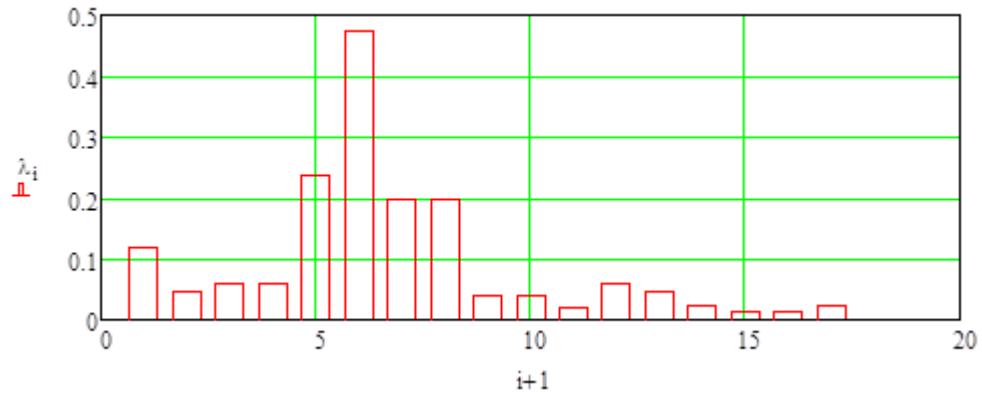


Рисунок 4.9 – Інтенсивність потоку, що входить у вузол

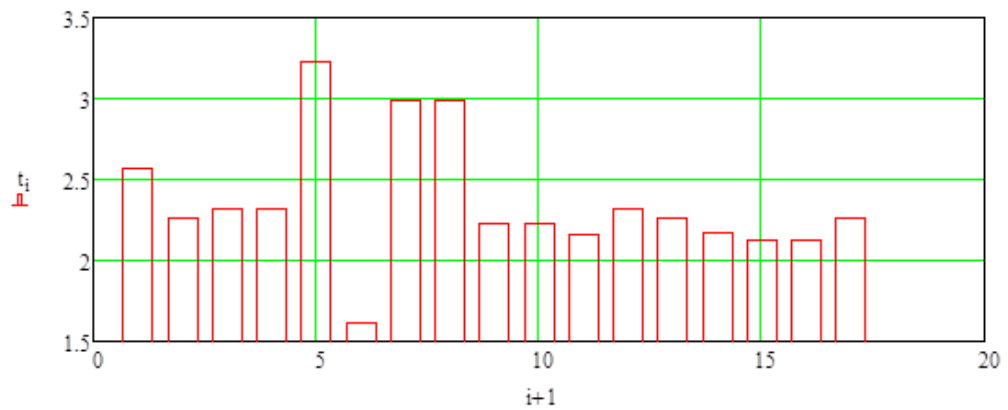


Рисунок 4.10 – Середній час перебування пакета у вузлі

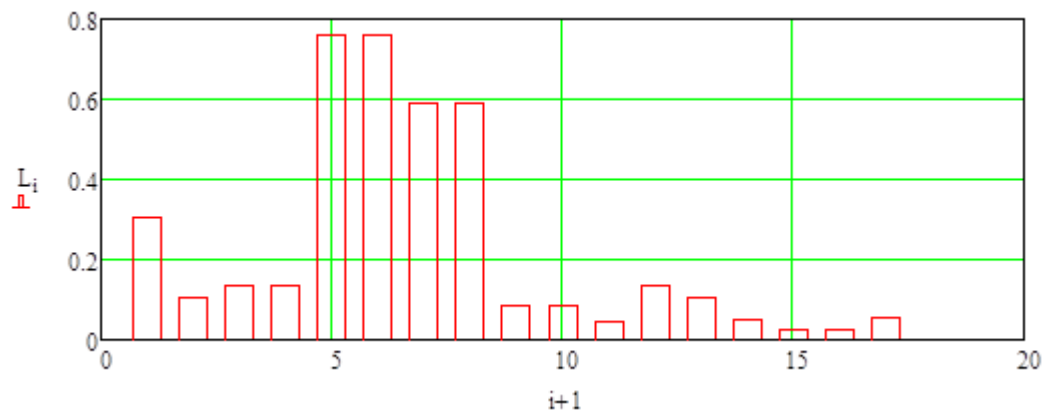
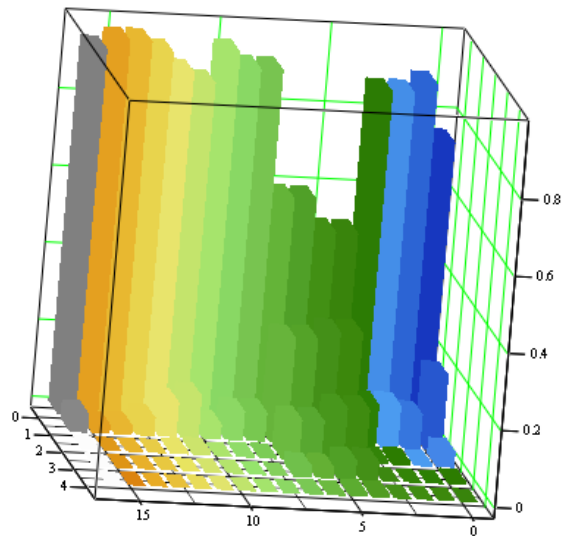




Рисунок 4.11 – Середня кількість пакетів які знаходяться у вузлі

Ймовірність того, що в вузлах мережі може виникнути черга значно знизилася (Рис. 4.12)

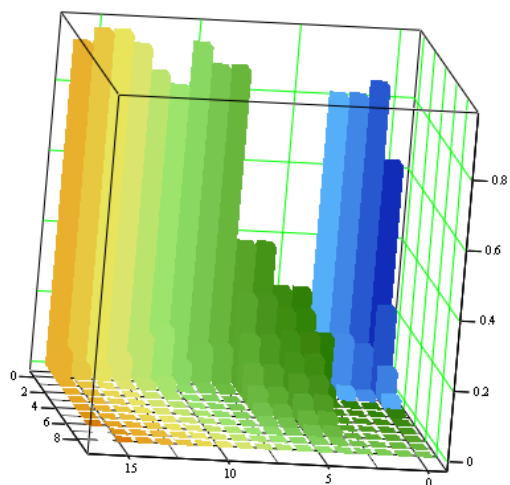


В

Рисунок 4.12 – Ймовірність черги у вузлах якщо в мережі циркулює 5 пакетів

Якщо в мережі із скоригованими характеристиками буде циркулювати 10 пакетів тоді вірогідність того, що в вузлах не буде черги зменшується для вузла №6, (Рис.13).

Підвищення швидкості обробки пакетів у вузлах, які показали найменшу стійкість до перевантаження дозволили певним чином покращити характеристики мережі [7].



В

Рисунок 4.13 – Ймовірність черги у вузлах якщо в мережі циркулює 10 пакетів

Згідно з аналізом даних, отриманих в результаті вивчення стану мережі під впливом тільки шкідливих програм, стохастичний характер маршрутної матриці, яка описує мережу, може стати причиною нелінійного зростання основних характеристик в деяких вузлах мережі, незважаючи на те, що завантаження вузлів мережі зростатиме лінійно. Таке явище може призводити до збоїв в роботі комп'ютерної мережі.

Аналіз характеристик розглянутої мережі під впливом тільки АПО показує, що внаслідок запуску антивірусної програми в вузлах мережі з досить високою середньою завантаженістю конвеєрів, основні характеристики можуть погіршитися.

За результатами порівняння характеристик обчислювальної мережі у всіх розглянутих станах зроблено висновок про те, що найбільш негативно на характеристиках мережі позначається атака шкідливими програмами.

## ВИСНОВКИ

Електросталеплавильне виробництво є одним із найсучасніших технологічних комплексів, робота якого залежить як від кваліфікації персоналу так і від оснащення системами управління та засобами передачі цифрової інформації.

Відповідно до перерахованих вище складових в кваліфікаційній роботі вирішені задачі створення сучасного людино-машинного інтерфейсу системи управління виробництвом, комп'ютерної мережі рівня підприємства для об'єднання усіх складових сучасного підприємства.

Основні висновки і результати роботи полягають у наступному:

1. Відповідно до функціональних особливостей комп'ютерної системи керування технологічним процесом виплавки металу у електроконверторі розроблений людино-машинний інтерфейс і його програмне забезпечення. Реалізована можливість передавання інформації про стан процесів через комп'ютерну мережу рівня підприємства.
2. Показано, що навантаження на комп'ютерну мережу може викликатися дією шкідливого програмного забезпечення. Що може негативно вплинути на роботу систем управління виробництвом металу і призвести до значних втрат.
3. Вирішення завдань досліджень можливе при застосуванні методів теорії масового обслуговування. Класичні підходи до рішення завдань доволі трудомісткі, тому використаний алгоритм Бузена.
4. Розроблена математична модель комп'ютерної мережі як замкнутої системи масового обслуговування. Обґрунтовано обрані параметри перехідної матриці мережі.
5. Розроблена модель дозволяє визначити усереднені значення інтенсивності вхідного потоку, часу перебування пакета у вузлах,

середню кількість пакетів у вузлах. Що відноситься до класу безрозмірних характеристик.

6. Аналіз ймовірностей черги у вузлах мережі показав що найбільша ймовірність черги виникає у вузлі 6.
7. При збільшенні кількості пакетів, що циркулюють у мережі вдвічі у вузлі 6 висока ймовірність виникнення черги з 4 – 6 пакетів. Ця ситуація можлива коли в мережі функціонує шкідливе програмне забезпечення.
8. Для підвищення стійкості мережі до перевантаження необхідно замінити роутер, який є вузлом 6 моделі на більш потужні. Час обробки пакетів у цих пристроїв повинен бути в 2 рази менший ніж у інших вузлів.
9. Зважаючи на те, що при лінійному рості навантаження на вузли мережі, ймовірності станів вузлів мережі розподіляються нелінійно виникає додаткове навантаження на вузли 5,7,8. На основі проведених досліджень можемо рекомендувати удосконалення структури комп'ютерної мережі рівня підприємства.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 228 с.
2. Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой: новые подходы [Текст] : монография / [И. Г. Муравьева, Д. Н. Тогобицкая, Ю. С. Семенов и др.] ; НАН Украины, Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова. - Киев : Наукова думка, 2019. - 272 с. : граф., рис., табл. - (Проект "Наукова книга"). - Библиогр.: с. 254-266
3. 1. Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць / Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: ПП Грек О.С. – 2007. – 324 с.
4. Смоляк В.А. и др. Автоматизация производственных процессов металлургической промышленности. – К.: Вища школа, 1976. -416 с.
5. Груздева Л.М., Монахов Ю.М., Монахов М.Ю. Оценка сетевых характеристик компьютерных сетей в условиях информационного вредоносного воздействия: учебное пособие. / Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – с.
6. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник / А. Л. Литвинов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с..
7. Globa L.S. Approaches and technologies of creating data-processing resources in the telecommunication environment – Электроника и связь. Проблемы электроники ч.2, Киев, 2005
8. Глоба Л.С. Математичні основи побудови інформаційно телекомунікаційних систем. - К.: Політехніка, 2003. -276с

9. ГОСТ 2.702-75. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. – М.: Госстандарт, 1995. – 115 с.
10. VLSM Calculator – калькулятор подсетей с маской переменной длины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.vlsm-calc.net/>. – Загол. з экрана.
11. Воробьёва Н.И., Корнейчук В.И., Савчук Е.В. Надёжность компьютерных систем. – К.: «Корнійчук», 2002. – 144 с.
12. Мережеве обладнання [Электронный ресурс] – Режим доступа : URL : [https://elmir.ua/routers/router\\_zyxel\\_sbg5500-a.html](https://elmir.ua/routers/router_zyxel_sbg5500-a.html). – Загол. з екрану.
13. Классификация угроз информационной безопасности (Електрон. ресурс)/Способ доступа: URL: [http://www.cnews.ru/reviews/free/oldcom/security/elvis\\_class.shtml](http://www.cnews.ru/reviews/free/oldcom/security/elvis_class.shtml) – Загол. з екрана..
14. Новиков Ю.В., Карпенко Д.Г. Аппаратура локальных сетей: функции, выбор, разработка / Под общей редакцией Ю.В. Новикова. – М.: Эком, 1998. – 288 с.
15. Кулаков Ю.А., Луцкий Г.М. Локальные сети. – К.: Юниор, 1998. – 336 с.
16. Кулаков Ю.А., Омелянский С.В. Компьютерные сети. Выбор, установка, использование и администрирование. – К: Юниор, 1999. – 544 с.
17. Спортак М, Паппас Ф., Рензинг Э. Компьютерные сети. Книга 1. Энциклопедия пользователя: Пер. с англ. – М.: Диасофт, 1998. – 432 с.
18. Баня Е.Н. Компьютерные сети. – К.: Світ, 1999. – 112 с.
19. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2001. – 172 с.
20. Джеймс Челлис Основы построения сетей: Учебное пособие для специалистов MCSE 1.0. – СПб.: Питер, 1997. – 326 с.
21. Технологии разработки программного обеспечения: / Учебник С. Орлов. – СПб.: Питер, 2002. – 464 с.

22. Microsoft Corporation. Принципы проектирования и разработки программного обеспечения. Учебный курс MSCD/ Пер. с англ. – М.: Издательско-торговый дом «Русская редакция», 2002. – 736 с.

23. Розробка програмного забезпечення комп'ютерних систем. Програмування [Текст]: навч. посібник / Л.І. Цвіркун, А.А. Євстігнєєва, Я.В. Панферова. – 2-ге вид., випр. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 222 с.

24. Цвіркун Л.І. Глобальні комп'ютерні мережі. Програмування мовою PHP: навч. посібник / Л.І. Цвіркун, Р.В. Липовий, під заг. ред. Л.І. Цвіркуна. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 239 с.

## **Додаток А**

**Тексти програми комп'ютерної системи керування електродом  
електроконвертора**



**Міністерство освіти і науки України**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**  
**ПРОГРАМА КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ**  
**ЕЛЕКТРОДОМ ЕЛЕКТРОКОНВЕРТОРА**

Текст програми

804.02070743.20005-01 12 01

Листів 17

2020

## **АНОТАЦІЯ**

Даний документ містить ПЗ реалізації програми керування положенням електрода в процесі виплавки металу в електроконверторі.

Програма реалізує людино-машинний інтерфейс.

## ЗМІСТ

	Стор.
Програмні модулі системи управління	
·	
Програмне забезпечення об'єкта управління	
·	1
Програмне забезпечення людино-машинного	
· інтерфейсу	4

# 1 Програмні модулі системи управління

## Модуль об'єкта управління

```
(*  
*  
* File: Sys__last.exp  
*  
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem  
"Sys__last/Model_Object"  
*  
* Model name           : Sys__last  
* Model version        : 1.34  
* Model creator        : WORK  
* Model last modified by :  
* Model last modified on : Sun Jan 21 00:07:00 2018  
* Model sample time    : 0s  
* Subsystem name       : Sys__last/Model_Object  
* Subsystem sample time : 0.1s  
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013  
* ST code generated on   : Sun Jan 21 15:32:16 2018  
*  
* Target IDE selection   : 3S CoDeSys 2.3  
* Test Bench included    : No  
*  
*)  
FUNCTION_BLOCK Model_Object  
VAR_INPUT  
    ssMethodType: SINT;  
    bi_Reg_Current: LREAL;  
END_VAR  
VAR_OUTPUT  
    bo_Air_Humidity: LREAL;  
END_VAR  
VAR  
    CircBufIdx: UDINT;  
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;  
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;  
    Delay_DSTATE: ARRAY [0..199] OF LREAL;  
END_VAR  
VAR_TEMP  
    i: DINT;  
    DiscreteTransferFcn: LREAL;
```

```

END_VAR
CASE ssMethodType OF
  SS_INITIALIZE:

    (* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)
    FOR i := 0 TO 199 DO
      Delay_DSTATE[i] := 0.0;
    END_FOR;
    CircBufIdx := 0;
    (* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Delay' *)

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn' *)
    DiscreteTransferFcn_states := 0.0;

    (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete
Transfer Fcn1' *)
    DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;
  SS_STEP:

    (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
    DiscreteTransferFcn      :=      0.00180799082869      *
DiscreteTransferFcn_states;

    (* Output: '<Root>/bo_Air_Humidity' incorporates:
* Constant: '<S1>/Constant1'
* Delay: '<S1>/Delay'
* Sum: '<S1>/Sum1' *)
    bo_Air_Humidity := Delay_DSTATE[CircBufIdx] + 2.0;

    (* Update for Delay: '<S1>/Delay' incorporates:
* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
    Delay_DSTATE[CircBufIdx]      :=      0.00160410616843      *
DiscreteTransferFcn1_states;
    IF CircBufIdx < 199 THEN
      CircBufIdx := CircBufIdx + 1;
    ELSE
      CircBufIdx := 0;
    END_IF;
    (* End of Update for Delay: '<S1>/Delay' *)

    (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn'
incorporates:

```

```

* Fcn: '<S1>/Привод Заслінки1'
* Gain: '<S1>/Gain2'
* Update for Inport: '<Root>/bi_Reg_Current' *)
DiscreteTransferFcn_states := (((bi_Reg_Current - 4.0) * 100.0) /
16.0) * 0.32) - (-0.99819200917131 * DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (-
0.99839589383157 * DiscreteTransferFcn1_states);
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
SS_INITIALIZE: SINT := 0;
SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

### Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: Sys__last.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Sys_D3_5_PO2_last/Control"
*
* Model name           : Sys__last
* Model version        : 1.34
* Model creator        : WORK
* Model last modified by :
* Model last modified on : Sun Jan 21 00:07:00 2018
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : Sys__last/Control
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Sun Jan 21 15:31:05 2018
*
* Target IDE selection  : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included   : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Control
VAR_INPUT
ssMethodType: SINT;

```

```

    bi_Error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Reg_Current: LREAL;
END_VAR
VAR
    Integrator_DSTATE: LREAL;
    Filter_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_IntegralGain: LREAL;
    rtb_DeadZone: LREAL;
    rtb_FilterCoefficient: LREAL;
    rtb_Saturation: LREAL;
    y: LREAL;
    y_0: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator' *)
        Integrator_DSTATE := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter' *)
        Filter_DSTATE := 0.0;
    SS_STEP:

        (* Fcn: '<S1>/Перетворення діапазону зміни сигналів1' incorporates:
        * Inport: '<Root>/bi_Error' *)
        rtb_IntegralGain := (bi_Error * 100.0) / 32.0;

        (* Gain: '<S2>/Filter Coefficient' incorporates:
        * DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter'
        * Gain: '<S2>/Derivative Gain'
        * Sum: '<S2>/SumD' *)
        rtb_FilterCoefficient := ((73.018 * rtb_IntegralGain) - Filter_DSTATE)
* 2.622;

        (* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
        * DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator'
        * Gain: '<S2>/Proportional Gain' *)
        rtb_DeadZone := ((2.7291 * rtb_IntegralGain) + Integrator_DSTATE)
+ rtb_FilterCoefficient;

        (* Gain: '<S2>/Integral Gain' *)

```

```
rtb_IntegralGain := 0.02384 * rtb_IntegralGain;
```

```
(* Saturate: '<S2>/Saturation' *)  
IF rtb_DeadZone >= 100.0 THEN  
    rtb_Saturation := 100.0;  
ELSIF rtb_DeadZone > 0.0 THEN  
    rtb_Saturation := rtb_DeadZone;  
ELSE  
    rtb_Saturation := 0.0;  
END_IF;  
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation' *)
```

```
(* DeadZone: '<S3>/DeadZone' *)  
IF rtb_DeadZone > 100.0 THEN  
    rtb_DeadZone := rtb_DeadZone - 100.0;  
ELSIF rtb_DeadZone >= 0.0 THEN  
    rtb_DeadZone := 0.0;  
END_IF;  
(* End of DeadZone: '<S3>/DeadZone' *)
```

```
(* Signum: '<S3>/SignPreSat' *)  
IF rtb_DeadZone < 0.0 THEN  
    y := -1.0;  
ELSIF rtb_DeadZone > 0.0 THEN  
    y := 1.0;  
ELSE  
    y := rtb_DeadZone;  
END_IF;  
(* Signum: '<S3>/SignPreIntegrator' *)
```

```
IF rtb_IntegralGain < 0.0 THEN  
    y_0 := -1.0;  
ELSIF rtb_IntegralGain > 0.0 THEN  
    y_0 := 1.0;  
ELSE  
    y_0 := rtb_IntegralGain;  
END_IF;
```

```
(* Switch: '<S2>/Switch' incorporates:  
* Constant: '<S2>/Constant'  
* Logic: '<S3>/AND'  
* RelationalOperator: '<S3>/Equal'  
* RelationalOperator: '<S3>/NotEqual'  
* Signum: '<S3>/SignPreIntegrator'  
* Signum: '<S3>/SignPreSat' *)  
IF (0.0 <> rtb_DeadZone) AND (y = y_0) THEN  
    rtb_IntegralGain := 0.0;
```



```

END_IF;
(* End of Switch: '<S2>/Switch' *)

(* Output: '<Root>/bo_Reg_Current' incorporates:
 * Fcn: '<S1>/Формування керуючого сигналу1' *)
bo_Reg_Current := ((rtb_Saturation * 16.0) / 100.0) + 4.0;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Integrator' *)
Integrator_DSTATE := (0.1 * rtb_IntegralGain) + Integrator_DSTATE;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Filter' *)
Filter_DSTATE := (0.1 * rtb_FilterCoefficient) + Filter_DSTATE;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

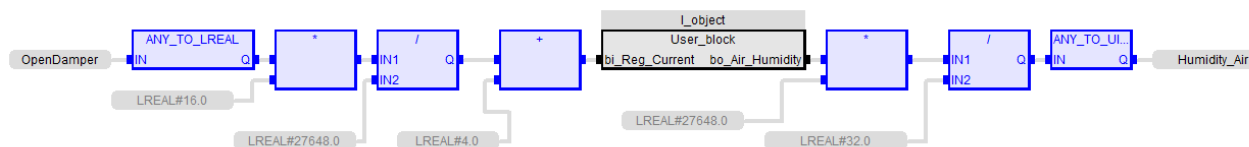
## 2 Програмне забезпечення об'єкта управління

### Список програм

[FBD] Main (\* Основна програма \*)

[ST] User\_block (\* Об'єкт управління \*)

### Основна програма



### Користувачський функціональний блок

```
DiscreteTransferFcn      :=      LREAL#0.00180799082869      *
DiscreteTransferFcn_states;
```

```
bo_Air_Humidity := Delay_DSTATE[CircBufIdx] + LREAL#2.0;
Delay_DSTATE[CircBufIdx] := LREAL#0.00160410616843      *
DiscreteTransferFcn1_states;
```

```
IF CircBufIdx < 199 THEN
    CircBufIdx := CircBufIdx + 1;
ELSE
    CircBufIdx := 0;
END_IF;
```

```
DiscreteTransferFcn_states := (((bi_Reg_Current - LREAL#4.0) *
LREAL#100.0) / LREAL#16.0) * LREAL#0.32) - (LREAL#-0.99819200917131
* DiscreteTransferFcn_states);
```

```
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (LREAL#-
0.99839589383157 * DiscreteTransferFcn1_states);
```

### Перелік змінних

Name	Type	Properties
User_block		
bi_Reg_Current	LREAL	
bo_Air_Humidity	LREAL	
CircBufIdx	UDINT	
DiscreteTransferFcn_states	LREAL	
DiscreteTransferFcn1_states	LREAL	
Delay_DSTATE	LREAL	
i	DINT	
DiscreteTransferFcn	LREAL	
Global variables		
RETAIN variables		

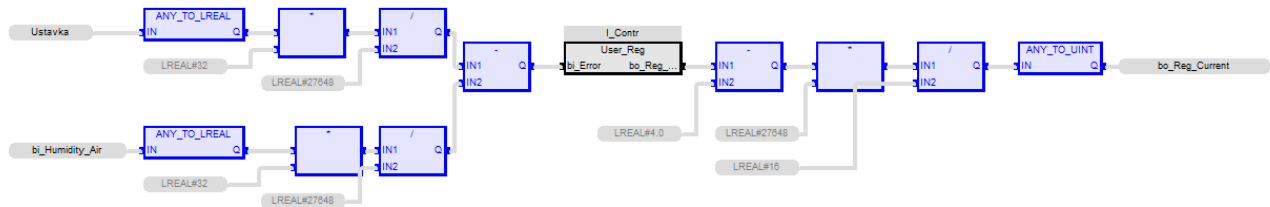
### Програмне забезпечення регулятора

## Список програм

[FBD] Main (\* Основна програма \*)

[ST] User\_Reg (\* Контролер \*)

## Основна програма



## Користувачький функціональний блок

(\* Fcn: '<S1>/Перетворення діапазону зміни сигналів1' incorporates: \*)

$rtb\_IntegralGain := (bi\_Error * LREAL\#100.0) / LREAL\#32.0;$

$rtb\_FilterCoefficient := ((LREAL\#73.018 * rtb\_IntegralGain) - Filter\_DSTATE) * LREAL\#2.622;$

$rtb\_DeadZone := ((LREAL\#2.7291 * rtb\_IntegralGain) + Integrator\_DSTATE) + rtb\_FilterCoefficient;$

$rtb\_IntegralGain := LREAL\#0.02384 * rtb\_IntegralGain;$

IF  $rtb\_DeadZone \geq LREAL\#100.0$  THEN

$rtb\_Saturation := LREAL\#100.0;$

ELSIF  $rtb\_DeadZone > LREAL\#0.0$  THEN

$rtb\_Saturation := rtb\_DeadZone;$

ELSE

$rtb\_Saturation := LREAL\#0.0;$

END\_IF;

IF  $rtb\_DeadZone > LREAL\#100.0$  THEN

$rtb\_DeadZone := rtb\_DeadZone - LREAL\#100.0;$

ELSIF  $rtb\_DeadZone \geq LREAL\#0.0$  THEN

$rtb\_DeadZone := LREAL\#0.0;$

END\_IF;

IF  $rtb\_DeadZone < LREAL\#0.0$  THEN

$y := LREAL\#-1.0;$

ELSIF  $rtb\_DeadZone > 0.0$  THEN

$y := LREAL\#1.0;$

ELSE

```

    y := rtb_DeadZone;
END_IF;

IF rtb_IntegralGain < LREAL#0.0 THEN
    y_0 := LREAL#-1.0;
ELSIF rtb_IntegralGain > 0.0 THEN
    y_0 := LREAL#1.0;
ELSE
    y_0 := rtb_IntegralGain;
END_IF;
IF (LREAL#0.0 <> rtb_DeadZone) AND (y = y_0) THEN
    rtb_IntegralGain := LREAL#0.0;
END_IF;
(* Fcn: '<S1>/Формування керуючого сигналу1' *)
bo_Reg_Current := ((rtb_Saturation * LREAL#16.0) / LREAL#100.0)
+ LREAL#4.0;

    Integrator_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_IntegralGain) +
Integrator_DSTATE;

    Filter_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_FilterCoefficient) +
Filter_DSTATE;

```

### Перелік змінних

Name	Type	Properties	Dim.
User_Reg			
bi_Error	LREAL		
bo_Reg_Cur...	LREAL		
Integrator_D...	LREAL		
Filter_DSTA...	LREAL		
rtb_Integral...	LREAL		
rtb_DeadZone	LREAL		
rtb_FilterCoef..	LREAL		
rtb_Saturati...	LREAL		
y	LREAL		
y_0	LREAL		

# Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

## Драйвера

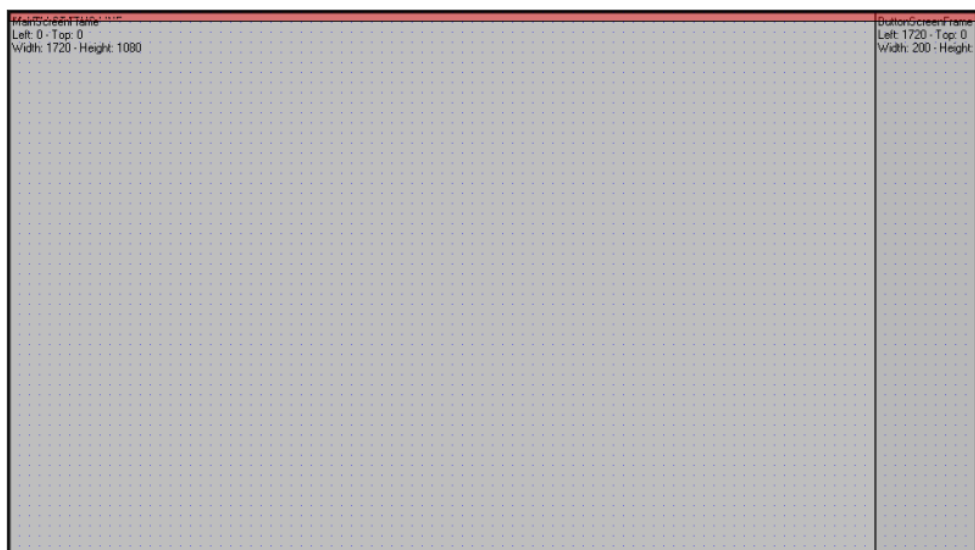
Со...	Обозначение	Описание	Имя файла
Текст филь...	Текст фильтра	Текст фильтра	Текст фил...
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32
	Driver for system variables		SYSDRV
	Object_Domna		S7TCP32
	zenon Logic: Regulator		STRATONNG

## Перелік змінних

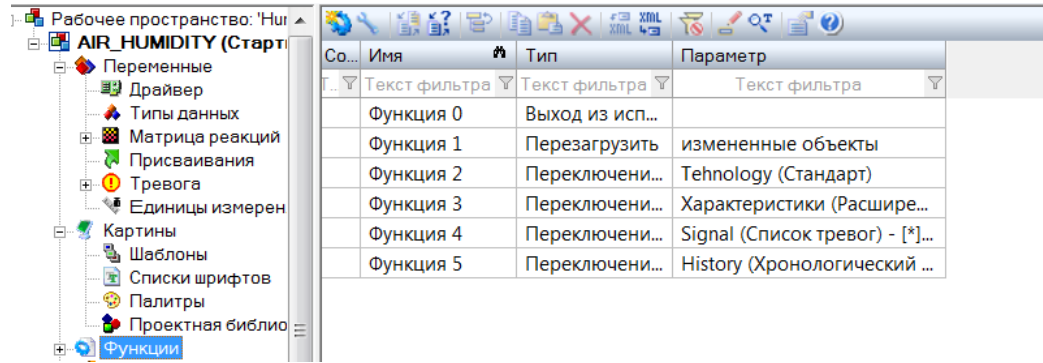
Состояние	Имя	Един.	Драйвер	Тип данн.	Максимум обл...	Минимум обл...	Максимум области ...	Минимум области изм...
Текст фильт...	Текст фильтра	Тек...	Текст фильтра	Текст фил...	Текст филь...	Текст филь...	Текст фильтра	Текст фильтра
	OpenDamper	мА	S7TCP32 - Object_Domna	UINT	27648	0	20	4
	Humidity_Air	г/м3	S7TCP32 - Object_Domna	UINT	27648	0	34	2
	Regulator/Global/Ustavka	г/м3	STRATONNG - zenon Logi...	UINT	27648	0	34	2
	Regulator/Global/bo_Reg_Curre...	мА	STRATONNG - zenon Logi...	UINT	27648	0	20	4
	Regulator/Global/bi_Humidity...	г/м3	STRATONNG - zenon Logi...	UINT	27648	0	34	2

## Шаблони зображень

Со...	Пока...	Имя	цвет фона	Свободно ...	Сл
Тек...	Тек...	Текст фильтра	Текст фил...	Текст фи...	Тек
	<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STATUS...	#FF0000	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	MainFrame	#FFFFFF	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonFrame	#FFFFFF	<input checked="" type="checkbox"/>	



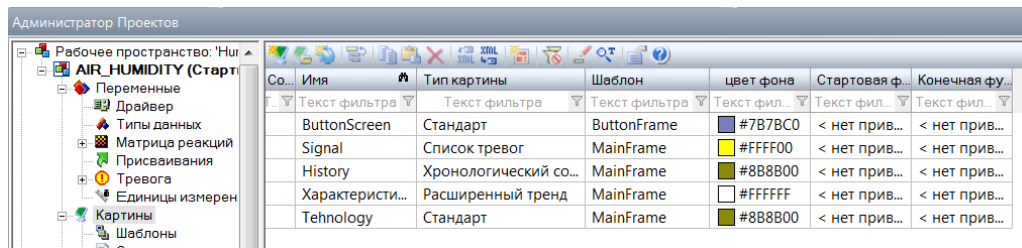
## Функції



The screenshot shows a software interface for the 'AIR\_HUMIDITY (Старт)' project. On the left is a tree view with categories like 'Переменные', 'Драйвер', 'Типы данных', 'Матрица реакций', 'Присваивания', 'Тревога', 'Единицы измерен', 'Картинки', 'Шаблоны', 'Списки шрифтов', 'Палитры', 'Проектная библио', and 'Функции'. The main area displays a table of functions.

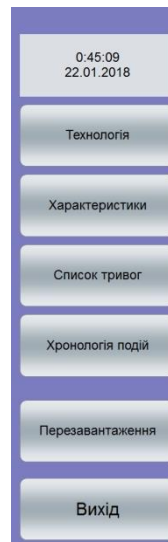
Со...	Имя	Тип	Параметр
Т...	Текст фильтра	Текст фильтра	Текст фильтра
	Функция 0	Выход из исп...	
	Функция 1	Перезагрузить	измененные объекты
	Функция 2	Переключени...	Tehnology (Стандарт)
	Функция 3	Переключени...	Характеристики (Расшире...
	Функция 4	Переключени...	Signal (Список тревог) - [*]...
	Функция 5	Переключени...	History (Хронологический ...

## Зображення



The screenshot shows the 'Администратор Проектов' window. The left tree view is similar to the previous image. The main area displays a table of image templates.

Со...	Имя	Тип картинки	Шаблон	цвет фона	Стартовая ф...	Конечная фу...
Т...	Текст фильтра	Текст фильтра	Текст фильтра	Текст фил...	Текст фил...	Текст фил...
	ButtonScreen	Стандарт	ButtonFrame	#7B7BC0	< нет прив...	< нет прив...
	Signal	Список тревог	MainFrame	#FFFF00	< нет прив...	< нет прив...
	History	Хронологический со...	MainFrame	#8B8B00	< нет прив...	< нет прив...
	Характеристи...	Расширенный тренд	MainFrame	#FFFFFF	< нет прив...	< нет прив...
	Tehnology	Стандарт	MainFrame	#8B8B00	< нет прив...	< нет прив...



The screenshot shows a vertical menu with the following buttons from top to bottom:

- 0:45:09  
22.01.2018
- Технологія
- Характеристики
- Список тривог
- Хронологія подій
- Перезавантаження
- Вихід

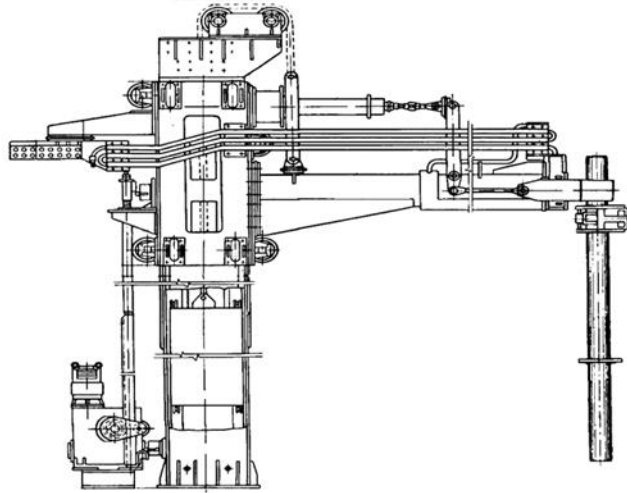
Система автоматичного керування технологічним обладнанням електросталеплавильного виробництва

Уставка  
положення

5.0 м

Положення

4.5 м



Уставка  
швидкості

1.3 м/с

Швидкість

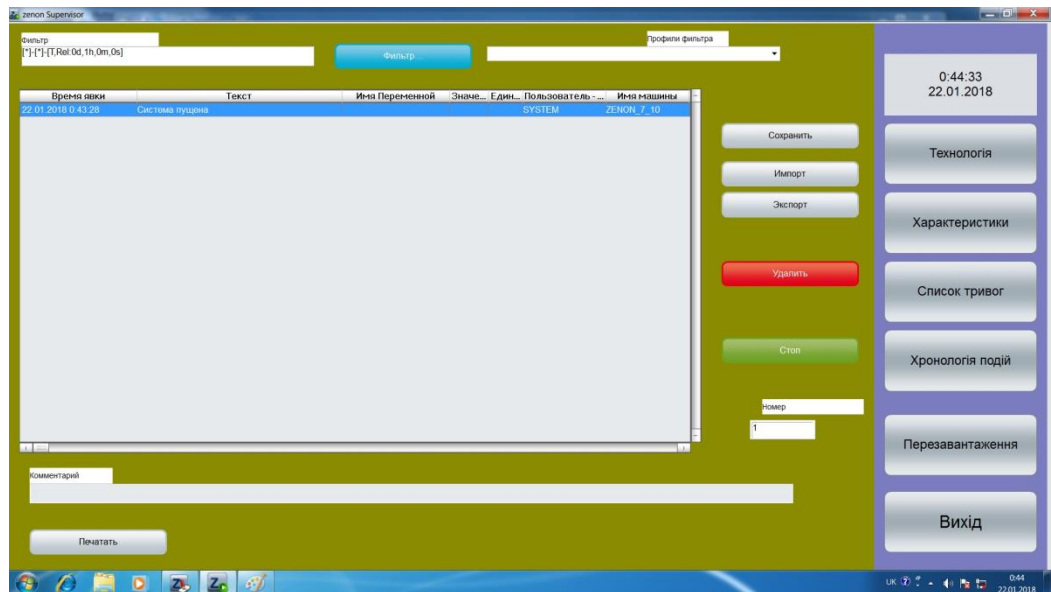
0.3 м/с

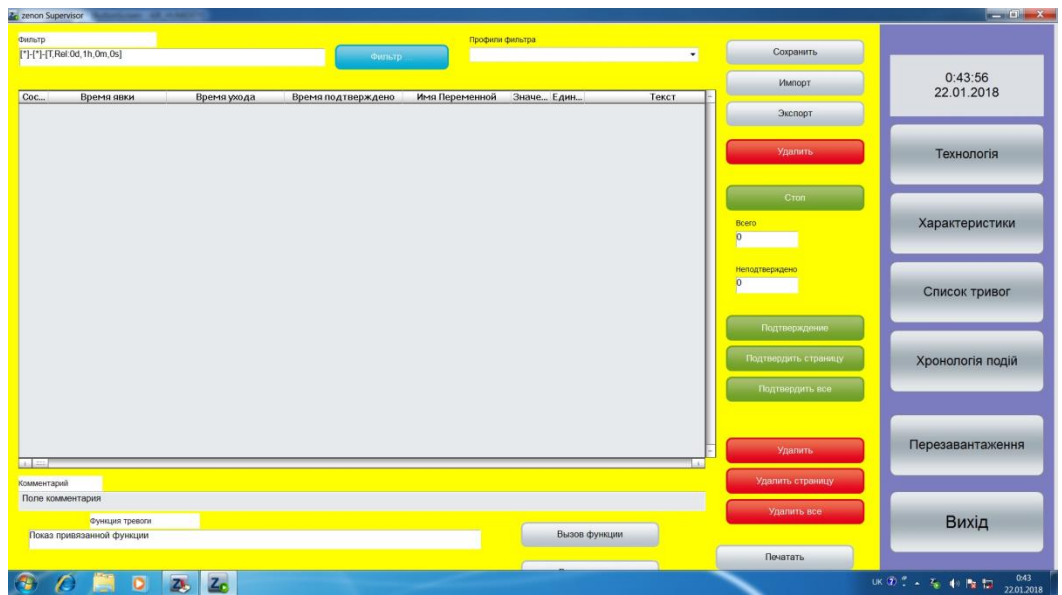
ТЕХНОЛОГІЯ

ГРАФІКИ

ПЕРЕГРУЗКА

ВИХІД







## **Додаток Б**

**Тексти програм реалізації математичної моделі комп'ютерної мережі як замкнутої системи масового обслуговування**

**Міністерство освіти і науки України**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**  
**ПРОГРАМА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕРЕЖІ**  
**КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ**

Текст програми

804.02070743.20005-01 12 01

Листів 19

2020

## АНОТАЦІЯ

Даний документ містить ПЗ реалізації математичної моделі комп'ютерної мережі.

Тексти програм реалізовані в середовищі Matchcfdv середовищі операційної системи Windows 10..

Програма реалізує рекурентний метод Бузена для розрахунку параметрів комп'ютерної мережі як замкнутої системи масового обслуговування.

## ЗМІСТ

Стор

Перелік використаних змінних

.

Текст програми

.

Результати розрахунку

.

6

## 1 Перелік використаних змінних

$N_n$  – кількість вузлів мережі.

$\tau$  – час обробки одного пакета у вузлі.

$P_r$  – матриця перехідних ймовірностей.

$e$  – матриця перехідних коефіцієнтів.

$m$  – кількість конвеєрів у вузлах.

$N$  – кількість пакетів що циркулюють в мережі.

$B$  – матриця ймовірностей черги у вузлах.

$\lambda$  – середня інтенсивність запитів на вході у вузол.

$L$  – середня черга пакетів у вузлі.

$t$  – середній час перебування пакета у вузлі.

## 2 Текст програми

Кількість вузлів мережі

$Nn := 16$

$i := 0..Nn$      $j := 0..Nn$

Час обробки запиту в вузлах мережі

$\tau_i :=$

2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2
2

	0
0	2
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2
6	2
7	2
8	2
9	2
10	2
11	2
12	2
13	2
14	2
15	2
16	2
17	

Розрахунок інтенсивності обробки запитів в вузлах мережі

$$\mu_i := \frac{1}{\tau_i}$$

	0
0	0.5
1	0.5
2	0.5
3	0.5
4	0.5
5	0.5
6	0.5
7	0.5
8	0.5
9	0.5
10	0.5
11	0.5
12	0.5
13	0.5
14	0.5
15	0.5
16	0.5
17	

### Матриця імовірностей передачі

$$Pr := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.1 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Перевірка правильності заповнення передаточної матриці

$$SumPr_i := \sum_{j=0}^{Nn} Pr_{i,j}$$

	0
0	1
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
-	.







	0
0	-1
1	-1
2	-1
3	-1
4	-0.4
5	-1

	0
0	-0.4
1	-0.5
2	-0.5
3	-2
4	-4

Q =

7	-1
8	-1
9	-1
10	-1
11	-0.8
12	-1
13	-1
14	-1
15	-0.8

E =

6	-1.667
7	-0.333
8	-0.333
9	-0.167
10	-0.5
11	-0.4
12	-0.2
13	-0.1
14	...

E := Isolve(PP2,Q)

$\underline{g} :=$

1
0.4
0.5
0.5
2
4
1.667
1.667
0.33
0.33
0.167
0.5
0.4
0.2
0.1
0.1
0.2

Кількість пакетів які циркулюють в мережі  $N_0 = 5$

$i := 0..Nn$        $j := 0..N - 1$   
 Кількість конвеєрів в кожному вузлі

$m_i :=$

1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1

		0
0		1
1		1
2		1
3		1
4		1
5		1
6		1
7		1
8	m =	1
9		1
10		1
11		1
12		1
13		1
14		1
15		1
16		1
17		

Розрахунок значень функції A

$$A_{i,j} = \begin{cases} j! & \text{if } m_i \geq N - 1 \\ 1 & \text{if } m_i = 1 \\ j! & \text{if } 1 < m_i < N - 1 \wedge j \leq m_i \\ m_i! \cdot (m_i)^{j-m_i} & \text{if } 1 < m_i < N - 1 \wedge j > m_i \end{cases}$$

$$X_i = \frac{F_i}{P_i}$$

Обчислення матриці констант T

$$T_{i,j} := \frac{(X_i)^j}{A_{i,j}} \quad T_{i,0} := 1$$

T =

	0	1	2	3	4	5
0	1	2	4	8	16	
1	1	0.8	0.64	0.512	0.41	
2	1	1	1	1	1	
3	1	1	1	1	1	
4	1	4	16	64	256	
5	1	8	64	512	4.096·10 <sup>3</sup>	
6	1	3.334	11.116	37.059	123.556	
7	1	3.334	11.116	37.059	123.556	
8	1	0.66	0.436	0.287	0.19	
9	1	0.66	0.436	0.287	0.19	
10	1	0.334	0.112	0.037	0.012	
11	1	1	1	1	1	
12	1	0.8	0.64	0.512	0.41	
13	1	0.4	0.16	0.064	0.026	
14	1	0.2	0.04	8·10 <sup>-3</sup>	1.6·10 <sup>-3</sup>	
15	1	0.2	0.04	8·10 <sup>-3</sup>	1.6·10 <sup>-3</sup>	

Розраховуем константи для другого і наступних вузлів

$$i := 1..Nn \quad k := 0..N-1$$

$$G_{0,j} := T_{0,j}$$

	0	1	2	3	4	5
0	1	2	4	8	16	
1	1	2.8	6.24	12.992	26.394	
2	1	3.8	10.04	23.032	49.426	
3	1	4.8	14.84	37.872	87.298	
4	1	8.8	50.04	238.032	$1.039 \cdot 10^3$	
5	1	16.8	184.44	$1.714 \cdot 10^3$	$1.475 \cdot 10^4$	
6	1	20.134	251.567	$2.552 \cdot 10^3$	$2.326 \cdot 10^4$	
7	1	23.468	329.809	$3.652 \cdot 10^3$	$3.543 \cdot 10^4$	
8	1	24.128	345.734	$3.88 \cdot 10^3$	$3.799 \cdot 10^4$	
9	1	24.788	362.094	$4.119 \cdot 10^3$	$4.071 \cdot 10^4$	
10	1	25.122	370.484	$4.243 \cdot 10^3$	$4.213 \cdot 10^4$	
11	1	26.122	396.606	$4.639 \cdot 10^3$	$4.677 \cdot 10^4$	
12	1	26.922	418.144	$4.974 \cdot 10^3$	$5.075 \cdot 10^4$	
13	1	27.322	429.073	$5.146 \cdot 10^3$	$5.281 \cdot 10^4$	
14	1	27.522	434.577	$5.232 \cdot 10^3$	$5.385 \cdot 10^4$	
15	1	27.722	440.122	$5.32 \cdot 10^3$	$5.492 \cdot 10^4$	
16	1	28.122	451.37	$5.501 \cdot 10^3$	$5.712 \cdot 10^4$	

G =

$$B_{Nn,j} := \frac{T_{Nn,j}}{G_{Nn,N-1}} \cdot G_{Nn,N-1-j}$$

$$B_{Nn,0} := 1 - B_{Nn,1}$$

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0.961	0.039	$1.264 \cdot 10^{-3}$	$3.151 \cdot 10^{-5}$	$4.482 \cdot 10^{-7}$

Розрахунок допоміжних коефіцієнтів  $i := 0..Nn - 1$   $j := 1..N - 1$   $Gn_{i,0} := 1$

	0	1	2	3	4
0	1	26.122	395.126	$4.598 \cdot 10^3$	$4.611 \cdot 10^4$
1	1	27.322	428.873	$5.14 \cdot 10^3$	$5.272 \cdot 10^4$
2	1	27.122	423.248	$5.05 \cdot 10^3$	$5.162 \cdot 10^4$
3	1	27.122	423.248	$5.05 \cdot 10^3$	$5.162 \cdot 10^4$
4	1	24.122	338.882	$3.696 \cdot 10^3$	$3.511 \cdot 10^4$
5	1	20.122	226.394	$1.89 \cdot 10^3$	$1.311 \cdot 10^4$
6	1	24.788	357.612	$3.996 \cdot 10^3$	$3.878 \cdot 10^4$
7	1	24.788	357.612	$3.996 \cdot 10^3$	$3.878 \cdot 10^4$
8	1	27.462	432.81	$5.203 \cdot 10^3$	$5.349 \cdot 10^4$
9	1	27.462	432.81	$5.203 \cdot 10^3$	$5.349 \cdot 10^4$
10	1	27.788	441.978	$5.35 \cdot 10^3$	$5.528 \cdot 10^4$
11	1	27.122	423.248	$5.05 \cdot 10^3$	$5.162 \cdot 10^4$
12	1	27.322	428.873	$5.14 \cdot 10^3$	$5.272 \cdot 10^4$
13	1	27.777	440.177	$5.37 \cdot 10^3$	$5.497 \cdot 10^4$

$$i := 0..Nn - 1 \quad j := 0..N - 1$$

$$B_{i,j} := \frac{T_{i,j}}{G_{Nn,N-1}} G_{n_i,N-1-j}$$

B =

	0	1	2	3	4
0	0.807	0.161	0.028	$3.659 \cdot 10^{-3}$	$2.801 \cdot 10^{-4}$
1	0.923	0.072	$4.806 \cdot 10^{-3}$	$2.449 \cdot 10^{-4}$	$7.171 \cdot 10^{-6}$
2	0.904	0.088	$7.41 \cdot 10^{-3}$	$4.749 \cdot 10^{-4}$	$1.751 \cdot 10^{-5}$
3	0.904	0.088	$7.41 \cdot 10^{-3}$	$4.749 \cdot 10^{-4}$	$1.751 \cdot 10^{-5}$
4	0.615	0.259	0.095	0.027	$4.482 \cdot 10^{-3}$
5	0.23	0.265	0.254	0.18	0.072
6	0.679	0.233	0.07	0.016	$2.163 \cdot 10^{-3}$
7	0.679	0.233	0.07	0.016	$2.163 \cdot 10^{-3}$
8	0.936	0.06	$3.301 \cdot 10^{-3}$	$1.382 \cdot 10^{-4}$	$3.322 \cdot 10^{-6}$
9	0.936	0.06	$3.301 \cdot 10^{-3}$	$1.382 \cdot 10^{-4}$	$3.322 \cdot 10^{-6}$
10	0.968	0.031	$8.632 \cdot 10^{-4}$	$1.813 \cdot 10^{-5}$	$2.179 \cdot 10^{-7}$
11	0.904	0.088	$7.41 \cdot 10^{-3}$	$4.749 \cdot 10^{-4}$	$1.751 \cdot 10^{-5}$
12	0.923	0.072	$4.806 \cdot 10^{-3}$	$2.449 \cdot 10^{-4}$	$7.171 \cdot 10^{-6}$
13	0.961	0.037	$1.233 \cdot 10^{-3}$	$3.106 \cdot 10^{-5}$	$4.482 \cdot 10^{-7}$
14	0.981	0.019	$3.122 \cdot 10^{-4}$	$3.911 \cdot 10^{-6}$	$2.801 \cdot 10^{-8}$
15	0.981	0.019	$3.122 \cdot 10^{-4}$	$3.911 \cdot 10^{-6}$	$2.801 \cdot 10^{-8}$
16	0.961	0.039	$1.264 \cdot 10^{-3}$	$3.151 \cdot 10^{-5}$	$4.482 \cdot 10^{-7}$

$$i := 0..Nn \quad j := 0..N - 1$$

$$\text{SumB}_i := \sum_j B_{i,j}$$

SumB =

	0
0	1
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	...

Інтенсивність вхідного потоку

Середнє число пакетів в вузлах

$$\lambda_i := e_i \cdot \frac{G_{Nn-1, N-2}}{G_{Nn, N-1}}$$

$$L_{wy} := \sum_{n=0}^{N-1} (n \cdot B_{i,n})$$

### 3 Результати розрахунку

$$\lambda_i := e_i \cdot \frac{G_{Nn-1, N-2}}{G_{Nn, N-1}}$$

$$L_i := \sum_{n=0}^{N-1} (n \cdot B_{i, n})$$

$\lambda =$

	0
0	0.093
1	0.037
2	0.047
3	0.047
4	0.186
5	0.373
6	0.155
7	0.155
8	0.031
9	0.031
10	0.016
11	0.047
12	0.037
13	0.019
14	$9.315 \cdot 10^{-3}$
15	$9.315 \cdot 10^{-3}$
16	0.019
17	

$L =$

	0
0	0.228
1	0.082
2	0.105
3	0.105
4	0.548
5	1.6
6	0.429
7	0.429
8	0.067
9	0.067
10	0.033
11	0.105
12	0.082
13	0.04
14	0.02
15	0.02
16	0.041

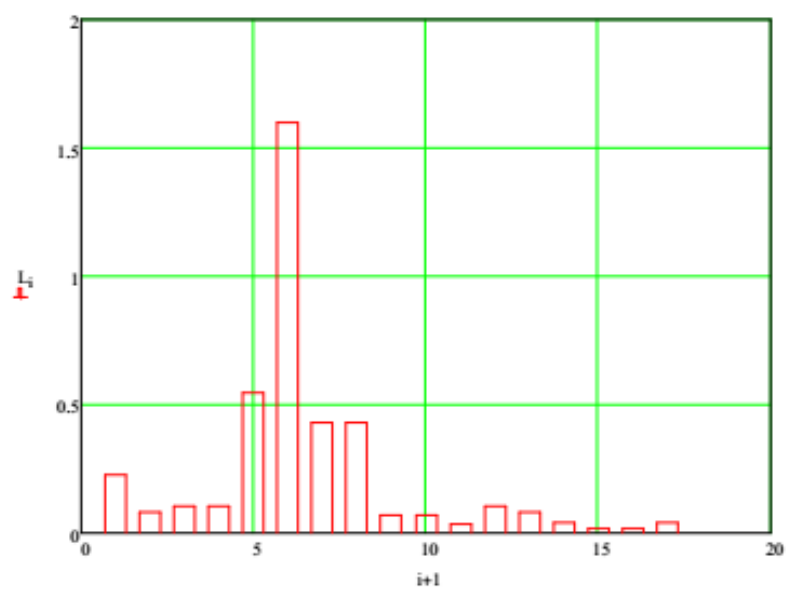
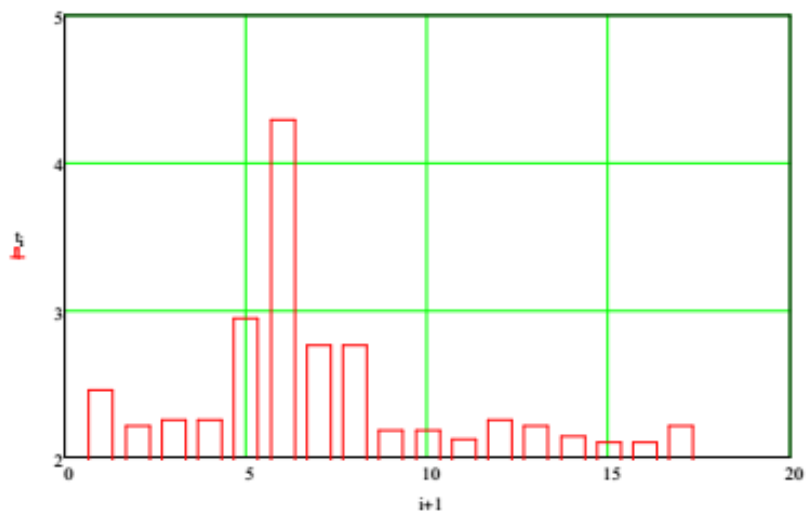
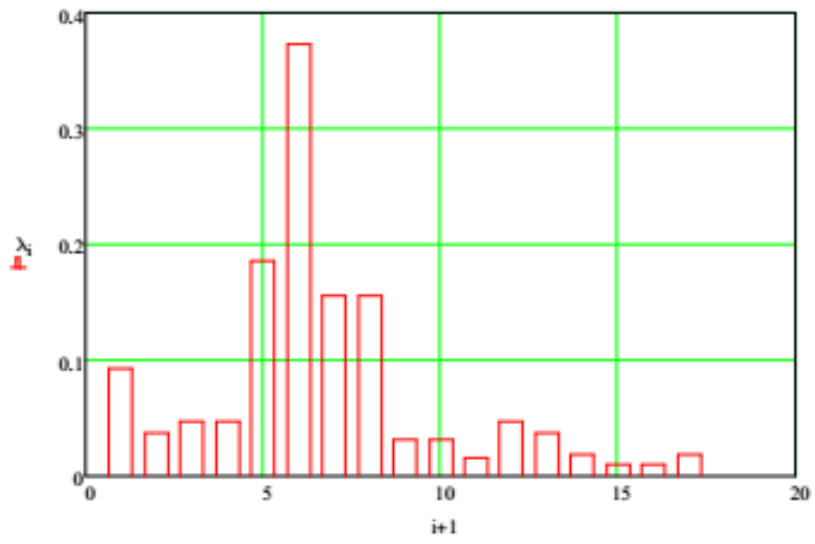
Середній час перебування пакета в вузлі

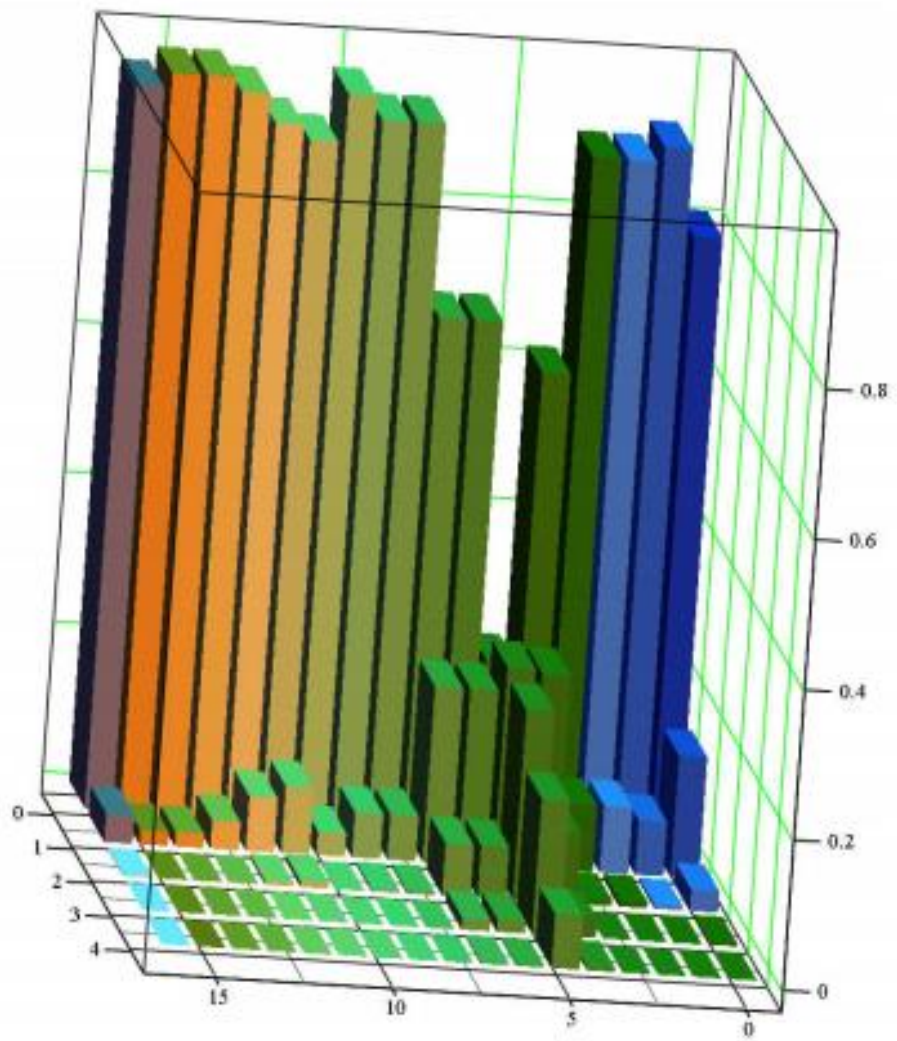
$$t_i := \frac{L_i}{\lambda_i}$$

$t =$

	0
0	2.453
1	2.211
2	2.248
3	2.248
4	2.94
5	4.294
6	2.765
7	2.765
8	2.185
9	2.185
10	2.126
11	2.248
12	2.211
13	2.137
14	2.102
15	2.102
16	2.209







B

