

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

КОГУТ Ігор Романович

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ КАСКАДОМ
МІКРО-ГЕС НА БАЗІ SCADA / SYSTEM OF AUTOMATED CONTROL OF
MICRO-HYDROELECTRIC CASCADE BASED ON SCADA.**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Випускна кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТм-21
І. Р. Когут

Науковий керівник:
к.т.н., доцент А. І. Сегін

Випускну кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
" ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А.І.Сегін

Тернопіль 2023

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"
спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

_____ А. І. Сегін

26 жовтня 2022р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

_____ КОГУТУ Ігорю Романовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

_____ Система автоматизованого управління каскадом мікро-ГЕС на базі
SCADA / System of automated control of micro-hydroelectric cascade based on
SCADA.

_____ керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А. І.

_____ затверджено наказом по університету від «8» грудня 2022 р. № 491

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

30 листопада 2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Особливості побудови та експлуатації МГЕС. _____

2. Параметри, що потребують управління в МГЕС. _____

3. Вимоги до системи автоматизованого управління МГЕС. _____

4. Вимоги до апаратно-технічного забезпечення. _____

5. Вимоги до інформаційного та програмного забезпечення. _____

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Проаналізувати перспективність побудови та експлуатації каскадів МГЕС. _____

2. На основі проведеного аналізу визначити основні труднощі у створенні ефективних систем управління каскадом МГЕС. _____

3. Визначити основні завдання та функції САУ каскадом МГЕС. _____

4. Розробити структурну схему САУ каскадом МГЕС та алгоритм її роботи. _____

5. Проаналізувати та обґунтувати вибір технічного обладнання для реалізації САУ. _____

6. Розробити програмне забезпечення на основі SCADA-систем _____

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна схема МГЕС.
2. Загальна структурна схема САУ каскаду МГЕС.
3. Архітектури систем автоматизованого управління каскаду МГЕС кожного технологічного рівня

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А. І., зав. кафедри СКС		
2	Сегін А. І., зав. кафедри СКС		
3	Сегін А. І., зав. кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз джерела електроенергії мікро-ГЕС як об'єкта автоматизації	20.10.2022р. – 28.02.2023р.	виконано
2	Архітектура, функції та апаратно-технічне забезпечення системи автоматизованого управління МІКРО-ГЕС	1.03.2023р. – 30.06.2023р.	виконано
3	Реалізація інформаційно-програмного забезпечення проекту за допомогою SCADA SYSTEM	1.07.2023р. – 5.11.2023р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	6.11.2023р. – 30.11.2023р.	виконано

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Когут І. Р.

Сегін А. І.

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 72 сторінках та містить 35 рисунків, 3 таблиць, 27 джерел за переліком посилань.

Мета кваліфікаційної роботи – розроблення загальної структури системи автоматизованого управління каскадом мікро-ГЕС та її програмного забезпечення на базі SCADA.

Результати роботи. Розроблено базовий проект системи автоматизованого управління мікро-ГЕС, який можна використати та адаптувати для реально діючих МГЕС. Основна ідея проекту полягає в створенні єдиної САУ, яка дозволяє консолідувати інформацію та керувати територіально розподіленими МГЕС з одного диспетчерського пункту і надавати можливість працювати кожній МГЕС в автономному режимі.

Рекомендації по використанню результатів роботи. Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані для модернізації діючих МГЕС для підвищення ефективності їх роботи та зменшенню витрат на обслуговування, а також стати основою для розробки нових проектів МГЕС.

Ключові слова: СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ, МІКРО-ГЕС, SCADA.

ABSTRACT

The work is completed on 72 pages and contains 35 figures, 3 tables, 27 sources according to the list of references.

The purpose of the qualification work is to develop the general structure of the automated control system of the micro-HPP cascade and its SCADA-based software.

Work results. A basic design of the micro-HPP automated control system has been developed, which can be used and adapted for actual operating MHPs. The main idea of the project is to create a single ACS that allows consolidating information and managing territorially distributed MHPs from one dispatch center and providing the opportunity to operate each MHP in autonomous mode.

Recommendations on the use of work results. The results of the qualification work can be used to modernize the existing MSPPs to increase their efficiency and reduce maintenance costs, as well as become the basis for the development of new MSPP projects.

Keywords: SYSTEM OF AUTOMATED MANAGEMENT, MICRO-HESP, SCADA.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МІКРО-ГЕС ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	11
1.1 Аналіз перспектив використання міні ГЕС для отримання електроенергії.....	11
1.2. Аналіз традиційних структур мікро-ГЕС та об'єднання їх у каскади.	15
1.3. Принцип побудови необслуговуваної ГЕС.....	20
1.4 Основні завдання автоматизації мікро-ГЕС.....	27
2. АРХІТЕКТУРА, ФУНКЦІЇ ТА АПАРАТНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ МІКРО-ГЕС.....	29
2.1 Особливості малих ГЕС як об'єктів управління.....	29
2.2 Розроблення структурних схем САУ каскаду малих ГЕС.....	37
2.3 Обґрунтування та вибір апаратури основних компонентів для САУ МГЕС.....	41
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУ ЗА ДОПОМОГОЮ SCADA SYSTEM.....	50
3.1 Створення проекту SCADA для системи автоматизованого управління МГЕС у середовищі Citect.....	50
3.2. Програмування ПЛК Siemens SIMATIC S7-300 за допомогою програми STEP 7.....	61
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70
ДОДАТОК А Програми «Опитування обладнання та задання параметрів роботи».....	73
ДОДАТОК Б Копії публікації.....	89

ВСТУП

Актуальність теми. Світове споживання енергії за прогнозами до 2030 року зросте на 55% по відношенню до сьогодення внаслідок зростання економіки та її енергозатратності, урбанізації та росту населення. В даний час найбільша доля необхідної енергії виробляється за рахунок викопного палива, але ця технологія не має перспективи розвитку. Це пов'язано з одного боку з виснаженням ресурсів вуглеводнів, а з іншого боку – з жорсткими вимогами до екології технологічних процесів із виробництва електроенергії. Необхідно освоювати нові джерела енергії, і у цій тенденції провідна роль належить альтернативним джерелам, що перетворюють енергію світла, води, біоресурсів у електрику. Цей процес найбільшою мірою торкається країн, що розвиваються, для яких економічно складно вкладати фінанси у створення великих енергосистем. При цьому слід врахувати, що потужні джерела енергії, включаючи гідроресурси, вже освоєно.

У багатьох країнах існує розвинена мережа великих гідроелектростанцій, і можливість побудувати додаткові ГЕС стає дедалі меншою.

При цьому слід зазначити, що енергоресурс малих і середніх рік практично не використаний, а за експертними оцінками він у десятки разів перевищує енергоресурси великих річок. Це вказує на суттєві потенційні можливості використання поновлюваних гідроенергетичних ресурсів малих та середніх річок, але для його освоєння потрібне будівництво великої кількості міні-ГЕС.

Важливу роль малі гідроелектростанції можуть відігравати також в енергетичній безпеці країни і дозволяють підвищити стійкість енергосистеми в цілому. Значну частину електроенергії в нашій країні виробляється атомними електростанціями, але вони не можуть різко змінювати кількість виробленої енергії в залежності від навантаження і потребують включення в

їх систему маневрових електростанцій, які саме забезпечують компенсацію добових та сезонних коливань споживання електроенергії. Такими електростанціями також в певній мірі можуть виступати мікро- та міні- ГЕС.

Аналіз функціональної схеми мікро-ГЕС (МГЕС) показує, що вона є досить складним технічним об'єктом, який потребує періодичного обслуговування та постійного спостереження. За даними статистики, кожен ГЕС потужністю від кількох десятків кВт до одиниць МВт безперервно обслуговує в середньому 2-3 особи. До цього персоналу необхідно додати людей, які працюють у районних системах електропостачання та зайняті конкретною станцією. Таким чином, вартість виробництва електроенергії зростає дуже значно через високі експлуатаційних витрат. Вирішити цю суперечність можна, якщо міні-ГЕС, що обслуговуються численним персоналом, замінити на повністю автоматизовані міні електростанції, які працювали б автономно або паралельно з централізованою мережею.

Однією з вимог, які пред'являються до цих електростанцій, є висока надійність. Інтелектуальна комп'ютерно-інтегрована система керування такими станціями повинна, окрім забезпечення штатного режиму роботи, залежно від навантаження, забезпечувати діагностику і аналіз працездатності всіх систем та інформувати центральні диспетчерські служби про можливі та ймовірні несправності. Сучасний рівень комп'ютеризації енергетичних систем здатний вирішити це завдання, але ці системи треба створювати та вести наукові дослідження у цьому напрямі.

Впровадження системи автоматизованого контролю та управління на ГЕС дозволяє отримати максимальний ефект не лише з погляду продуктивності та інформативності, але й з точки зору правильного та раціонального використання водних ресурсів, оптимального використання механізмів гідропоруди, своєчасного проведення технічного обслуговування обладнання. У роботі розглядається розробка САУ з використанням SCADA-систем на об'єкті мікро-ГЕС, що входить до складу каскаду.

Таким чином, створення повністю автоматичних МГЕС, забезпечення їх працездатності та попередження аварійних ситуацій є актуальною науковою-технічно задачею.

Мета і завдання дослідження.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення загальної структури системи автоматизованого управління каскадом мікро-ГЕС та її програмного забезпечення на базі SCADA. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Проаналізувати перспективність побудови та експлуатації каскадів МГЕС.
2. На основі проведеного аналізу визначити основні труднощі у створенні ефективних систем управління каскадом МГЕС.
3. Визначити основні завдання та функції САУ каскадом МГЕС.
4. Розробити структурну схему САУ каскадом МГЕС та алгоритм її роботи.
5. Проаналізувати та обґрунтувати вибір технічного обладнання для реалізації САУ.
6. Розробити програмне забезпечення на основі SCADA-систем.

Об'єкт та предмет дослідження.

Об'єктом дослідження є технологічний процес роботи мікро-ГЕС.

Предметом дослідження є інтегрована система автоматизованого управління каскадом мікро-ГЕС.

Методологія та методи дослідження. Поставлені науково-технічні завдання вирішено із застосуванням теорії електротехніки, загальної теорії електричних машин, теорії автоматичного управління, математичної статистики, комп'ютерного та імітаційного моделювання.

Наукова новизна. Наукова новизна кваліфікаційної роботи полягає у розробленні трьохрівневої архітектури системи автоматизованого управління

каскадом мікро-ГЕС, алгоритмічного та програмного забезпечення її функціонування.

Практична цінність результатів роботи полягає у створенні базового проекту системи автоматизованого управління каскадом мікро-ГЕС з трьохрівневою архітектурою, яка дозволяє інтегрувати інформацію на один диспетчерський пункт з територіально розподілених об'єктів – мікро-ГЕС, віддалено ними керувати, і в той же час забезпечує автономність їх роботи.

Напрямки подальшого дослідження. Результати даної кваліфікаційної роботи можуть бути розвинуті у напрямку покращення окремих технологій управління, підбору більш сучасного та вдалого набору технічних засобів, деякого покращення в архітектурі САУ та адаптації даного проекту під конкретні реальні об'єкти.

Публікації.

1. Сегін А.І., Цебрій В.С., Когут І.Р. Система автоматичного регулювання роботи електрогідравлічного підсилувача. / Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ–2023), Тернопіль, 2023. С. 16-21.

2. Попик Ю. І., Когут Ю. В., Когут І. Р. Автоматизована система розпізнавання голосової інформації. / Збірник матеріалів науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Кібербезпека та комп'ютерно-інтегровані технології» (КБКІТ – 2023), Тернопіль, 2023. С. 200 – 208с.

1. АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МІКРО-ГЕС ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Аналіз перспектив використання міні ГЕС для отримання електроенергії

На території України протікає понад 63 тис. річок і струмків загальною протяжністю 206 тис. км. Їхній сумарний стік становить 120 кубічних кілометрів. До великих річок належать Дніпро, Дністер, Прип'ять, Дунай, Південний Буг, Сіверський Донець, Горинь, Десна, Інгулець, Случ, Стир Західний Буг, Ворскла, Прут та інші. Шлях цих річок нашою землею становить сотні кілометрів. Проте важко перерахувати енергію води цих річок у кіловат-години.

На Україні загальна потужність експлуатованих малих ГЕС становить понад 100 МВт, понад 100 малих та міні-ГЕС потребують відновлення та реконструкції.

Ряд малих ГЕС побудовано р. Південний Буг, зокрема, одна з них – у районі м. Ладизин Вінницької області.

Загальний економічно ефективний потенціал малих ГЕС України оцінюється у понад 3,0 млрд. кВт•год. Більшість неосвоєного потенціалу знаходиться в Карпатському регіоні, де передбачається будівництво малих ГЕС з водосховищами комплексного призначення. Будується каскад малих ГЕС на р. Тересве потужністю 16 МВт.

Ухвалені законодавчі акти (закони «Про альтернативні джерела енергії», «Про зелений тариф») створюють сприятливий інвестиційний клімат для будівництва малих ГЕС.

Кілька років тому Центральним науково-дослідним інститутом комплексного використання водних ресурсів (ЦНІКІВР) були розроблені методичні рекомендації з оцінки господарського гідропотенціалу

білоруських річок. У нашій країні поки освоєно лише 3 відсотки наявного економічного гідроенергетичного потенціалу, тоді як у Литві – 30 відсотків, у Польщі – 44 відсотки.

Як уже зазначалося, на території України можуть використовуватися тільки низьконапірні гідроелектростанції. І якщо на Дніпрі та в басейні Прип'яті можливості для будівництва ГЕС обмежені через величезні площі затоплених земель при створенні водосховищ, то на притоках Дніпра, а також у басейнах р. Дністра, Бугу Дунаю та інших річок є умови для створення досить економічних і екологічно чистих гідроелектростанцій.

Кількість малих гідроелектростанцій в Україні вже більше сотні, а їх сумарна потужність перевищує 100 МВт. Побудова та введення в експлуатацію нових потужностей гідро генерації електроенергії дозволить в рази збільшити цю цифру. Це дозволить отримувати близько 5 відсотків електроенергії, яку зараз споживає країна. Слід враховувати, що із зростанням цін на паливо економічна ефективність вітчизняних гідроелектростанцій також зростає, а їх будівництво та експлуатація стануть ще рентабельнішими порівняно з ТЕС. Очікується, що загальні капітальні інвестиції в гідроенергетику складуть приблизно 300 мільйонів доларів.

Відповідна програма включає заходи з розвитку гідроенергетики за трьома розділами: будівництво каскадів гідроелектростанцій на головних річках (Дніпро, Дністер, Буг); будівництво малих гідроелектростанцій на притоках головних річок і існуючих водосховищах неенергетичного призначення (орієнтовна встановлена потужність – 3,9 МВт); відновлення раніше діючих гідроелектростанцій (орієнтовна встановлена потужність – 2,5 МВт). [2] Загалом планується ввести в експлуатацію більше двох десятків гідроелектростанцій загальною встановленою потужністю близько 200-210 МВт, що забезпечить виробництво понад 1 млрд кВт/год електроенергії. За прогнозами, електроенергія, вироблена на цих ГЕС, замінить 215-225 тис. тонн умовного палива.

Для створення рентабельної та економічно доцільної мікро-ГЕС (МГЕС) необхідний ретельний попередній аналіз ресурсів річки, місця установки МГЕС та економічна ефективність проекту. З метою реалізації поставленого завдання пропонується наступний алгоритм вибору та розрахунку інвестиційного проекту для МГЕС.

Алгоритм розробки та реалізації проекту енергопостачання на базі міні-ГЕС складається з наступних основних блоків, представлених у структурній схемі, зображеній на рисунку 1.2.

Етап «1. Дослідження гідроресурсів місцевості та потреби в електроенергії».

На цьому етапі проводяться дослідження гідроресурсів місцевості та визначається потреба населення в електроенергії. Досліджується як потужність гідропотоків, так і їхня важкодоступність для монтажу обладнання та віддаленість від потенційних споживачів.

Етап «2. Прийняття рішення щодо формування технічного проекту на розробку міні-ГЕС».

Після дослідження місцевості та потенційних споживачів приймається рішення про формування технічного проекту на розробку МГЕС, що включає перелік необхідного обладнання та ресурсів (матеріальних, людських та фінансових).

Етап 3. «Попередня оцінка вартості проекту міні-ГЕС та вибір джерел фінансування».

На цьому етапі складається попередня калькуляція необхідного обладнання МГЕС та проводиться оцінка його вартості. Тут же попередньо розраховуються необхідні людські та матеріальні ресурси та проводиться їх оцінка у вартісному вираженні за весь період реалізації проекту. Цей етап призначений для попередньої оцінки необхідних інвестицій у проект МГЕС. Ухвалюються рішення про джерела інвестицій: власні кошти, позикові кошти або їх комбінація.

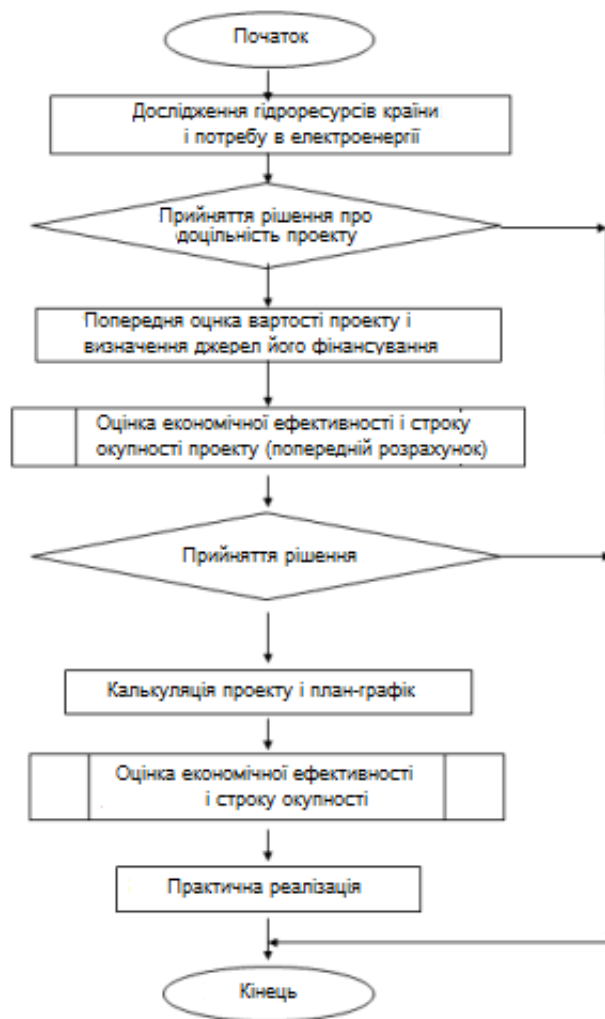


Рисунок 1.1 – Алгоритм розробки та реалізації проекту енергопостачання на базі МГЕС

Етап 4. «Оцінка економічної ефективності та окупності проекту (попередній розрахунок)»

На цьому етапі проекту за введеними даними необхідних інвестицій та джерел фінансування проекту, внутрішніх та зовнішніх, з урахуванням умов кредитування проводиться розрахунок окупності проекту за спеціальною методикою. У розрахунках враховується інвестиційна частина проекту, а також поточні доходи та поточні витрати від виробництва та реалізації електроенергії. Враховуються також показники інфляції та ризику реалізації проекту. За введеними в розрахункову програму вихідними даними проводиться розрахунок терміну окупності проекту МГЕС.

Етап 5. «Прийняття рішення щодо реалізації проекту».

Після отримання даних про термін окупності проекту МГЕС приймається рішення щодо можливості його реалізації. Якщо рішення є позитивним, то переходять до наступного етапу проекту.

Етап 6. «Калькуляція проекту та план-графік реалізації».

На цьому етапі складається план-графік та детальна калькуляція проекту з урахуванням термінів поставки обладнання та обсягів залучених матеріальних та людських ресурсів на кожному етапі робіт.

Етап 7. «Оцінка економічної ефективності та окупності проекту (уточнений розрахунок)».

За викладеною в описі етапу 4 методики проводиться уточнений розрахунок терміну окупності проекту з урахуванням його детальної калькуляції. Після цього переходять до практичної реалізації проекту.

Етап 8. «Практична реалізація проекту»

Цей етап передбачає виконання робіт із введення МГЕС в експлуатацію.

1.2. Аналіз традиційних структур мікро-ГЕС та об'єднання їх у каскади

Гідроелектричні станції поділяються в залежності від потужності, що виробляється:

- потужні ГЕС – виробляють від 25 МВт та вище;
- середні ГЕС – від 5 МВт до 25 МВт;
- міні ГЕС – від 0,1 МВт до 5 МВт;
- мікро ГЕС – до 0,1 МВт.

Використання енергії невеликих водотоків за допомогою малих гідроелектростанцій (мікро-ГЕС) – один із найефективніших напрямків розвитку альтернативної енергетики.

Мала гідроенергетика є чудовою альтернативою централізованому

енергопостачанню для віддалених та важкодоступних районів та районів з обмеженою передавальною потужністю ліній електропередач (ЛЕП).

Її перевагами можна назвати:

- зменшення або повна відсутність впливу на природний ландшафт місцевості в процесі будівництва та експлуатації МГЕС;

- незначний вплив на екосистему місцевості та відсутність забруднення води, що дозволяє використовувати її для водопостачання населених пунктів, якщо це дозволяв її початковий стан;

- незалежність від погодних умов за виключенням надзвичайних ситуацій;

- генерація та постачання відносно дешевої електроенергії споживачам практично у будь-яку пору року та стану погодних умов;

- уникнення проблем пов'язаних з великими масштабами будівництва, таких як, прокладання нових доріг та комунікацій, задіювання складної спецтехніки, постачання будматеріалів та інше.

Потенційними джерела енергії для малої гідроенергетики є:

- невеликі річки, канали, струмки, стоки;

- природні перепади висот на озерних водоскидах та на зрошувальних каналах іригаційних систем;

- технологічні водотоки (промислові та каналізаційні скидання);

- перепади висот питних трубопроводів, систем водопідготовки та інших трубопроводів, призначених для перекачування різних видів рідких продуктів.

Використання мікро-ГЕС дозволяє зафіксувати вартість енергоресурсів на прийнятному для споживача рівні та вирішує проблему перебоїв електроенергії.

Для оцінки доцільності впровадження мікро-ГЕС до загального енергобалансу системи енергопостачання необхідно визначити її структуру. Розглянемо традиційну структуру МГЕС (рисунок 1.2).

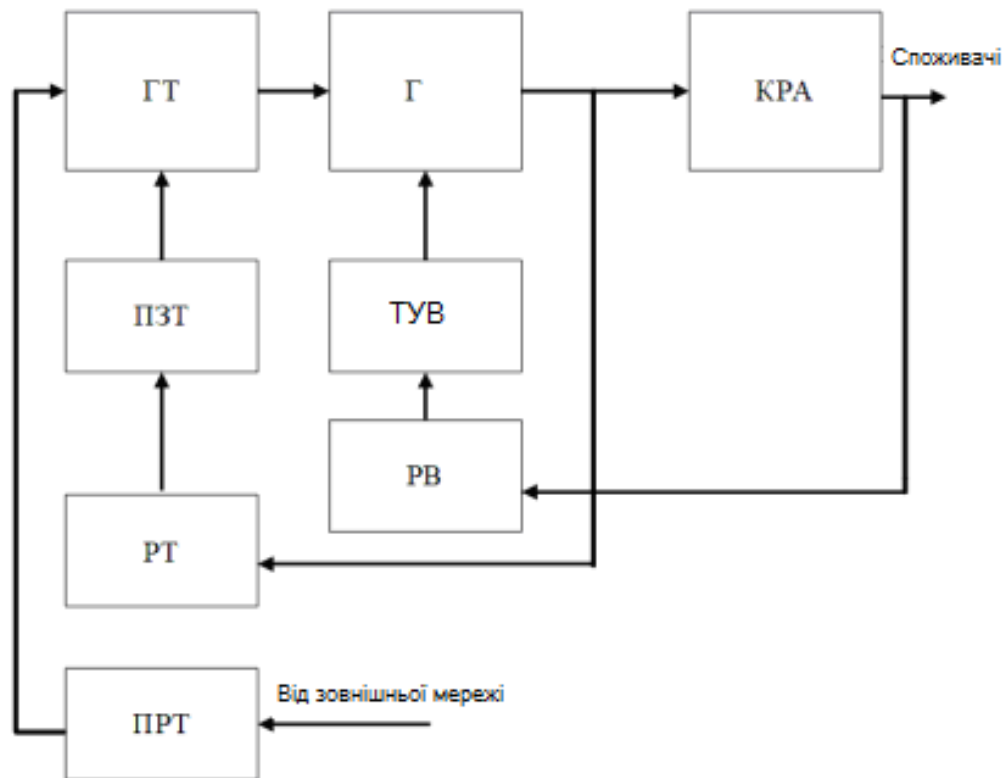


Рисунок 1.2 – Традиційна структурна схема МГЕС

Мікро-ГЕС містить відомі складові елементи:

- гідротурбіну (ГТ);
- генератор (Г);
- комутаційно-захисна та розподільна апаратура (КРА);
- тиристорний пристрій збудження (ТУЗ);
- привід затвора турбіни (ПЗТ);
- привід розгінний турбіни (ПРТ);
- регулятор турбіни (РТ);
- регулятор збудження (РЗ);

Не зупиняючись на розгляді важливих схем і конструкцій ГТ, відзначимо, що, як правило, вони містять пристрій регулювання швидкості обертання при зміні тиску рідини. Це може бути пристрій регулювання перекриття трубопроводу, або пристрій для регулювання кута повороту лопаток турбіни [68-76]. У тому й іншому випадку це досить складні

пристрої, що входять до системи автоматизованого управління (САУ), що вимагають спостереження та обслуговування.

Як генератори в таких ГЕС найчастіше використовується синхронна машина з електромагнітним збудженням [68-76]. Для такого генератора потрібно додаткове джерело постійного струму для збудження і струм збудження надходить через контактні кільця. Наявність контактних кілець знижує надійність генератора та потребує періодичного обслуговування.

Генератор може містити свій збуджуючий пристрій. Тоді машина буде безконтактною, але це вже не машина, а агрегат із двох машин, що також ускладнює конструкцію та обслуговування генератора.

Система управління повинна містити джерело електроживлення для власних потреб та електронні органи для регулювання частоти та амплітуди вихідної напруги ГЕС.

Короткий аналіз функціональної схеми МГЕС показує, що вона є досить складним технічним об'єктом, що потребує періодичного обслуговування та постійного спостереження. Незважаючи на велику кількість обслуговуючого персоналу на МГЕС, їх надійність і термін служби виявляються невеликими. Наприклад, із 22 електростанцій, пущених в експлуатацію за 2001...2010 роки, багато які вийшли з ладу.

Тому є необхідність в перегляді структури та елементного складу МГЕС, в тому числі і систем автоматизованого або управління ними, від яких в значній мірі залежить надійність їх роботи та попередження аварійних ситуацій.

З аналізу статистики несправностей та причини виходу з ладу існуючих МГЕС можна зробити висновок, що основними причинами виходу з ладу малих електростанцій є відмова системи збудження генератора і регуляторів турбін. Іншими словами, відмовляють ті елементи, які забезпечують якість електроенергії: стабільність амплітуди вихідної напруги (система збудження генератора); стабільність частоти вихідної напруги (регулятор швидкості

обертання турбіни).

Звідси виникає проблема вдосконалення елементного складу МГЕС та забезпечення надійного контролю за обладнанням з метою підвищення їхньої працездатності та скорочення експлуатаційних витрат. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є розробка повністю автоматичної міні-ГЕС, що не обслуговується.

Ідею використання міні ГЕС є доцільним розвивати і з точки зору об'єднання їх у каскади, що дає свої переваги.

Щодо порівняння їх з великих ГЕС, плюси каскаду дуже очевидні, оскільки переважно малі ГЕС будуються без розрахунку використання гребель. Основним плюсом для малих ГЕС є збільшення електроенергії, що виробляється з ділянки річки.

Інші перевагами каскадів міні та мікро ГЕС полягають в наступному:

- загальна площа затоплених територій послідовних гребель є суттєво меншою, ніж одна велика гребля;
- побудова греблі великої ГЕС потребує значних витрат матеріалів та є набагато складнішою в технологічному плані внаслідок того, що вона повинна витримувати тиск величезної маси води,;
- каскад покращує можливості зміни потужностей ГЕС, наприклад, у разі паводків.

Наведемо приблизний список споживачів:

- Сільське селище з населенням 200 чол – 100кВт
- Хлібозавод продуктивністю 25 тис.т. випічки на рік – 250кВт
- Лісопильний завод продуктивністю 100 тис. лісу на рік – 500кВт

Як вже зазначалося, малі ГЕС здатні виробляти до 5 МВт, а мікро ще менше, але встановити малі ГЕС в Україні можливо не скрізь і не завжди, тому орієнтуватимемося на мікро-ГЕС. Однієї мікро-ГЕС потужністю 100кВт цілком може вистачити для селища на 200 чоловік, але якщо поставити не одну ГЕС, а кілька, то ми зможемо обслуговувати селище з великою

кількістю людей. Враховуючи конструкцію мікро-ГЕС їх можна ставити на невеликій відстані одна від одної на відміну від більших ГЕС та гідроелектростанцій з використанням гребель. У результаті каскад з мікро-ГЕС дозволяє вирішувати завдання з постачання енергії, як невеликим селищам, так і окремих енергозатратним підприємствам. При цьому всі гідроелектростанції знаходяться недалеко одна від одної, що полегшує їх обслуговування та об'єднання в єдину систему.

1.3. Принцип побудови необслуговуваної ГЕС

Принцип побудови ГЕС, що не обслуговується, полягає у відмові від традиційних методів регулювання амплітуди напруги за рахунок зміни струму збудження, регулювання швидкості обертання турбіни і застосування баластного навантаження [68-76]. Натомість пропонується забезпечити стабілізацію амплітуди та частоти вихідної напруги ГЕС за допомогою електронного перетворювача напруги, а збудження генератора здійснювати від постійних магнітів. Реалізації мікро-ГЕС (МГЕС) у такому вигляді сприяє, по-перше, значний розвиток електронної елементної бази в частині суттєвого підвищення потужності, що передається, зменшення втрат перетворення, маси та габаритів апаратури, по-друге, поява нових магнітних матеріалів з високою питомою енергією.

Крім того, розширення використання електронної апаратури дозволить зробити ГЕС дійсно автономним об'єктом, що не обслуговується. Для цього до її складу необхідно ввести пристрої, що реалізують функції діагностики стану вузлів та агрегатів ГЕС та функції зв'язку з центральним диспетчерським пунктом системи електропостачання республіки. З урахуванням викладеного, функціональна схема сучасної МГЕС як автономного електротехнічного комплексу може бути представлена у вигляді наступної функціональної схеми (рисунок 1.3).

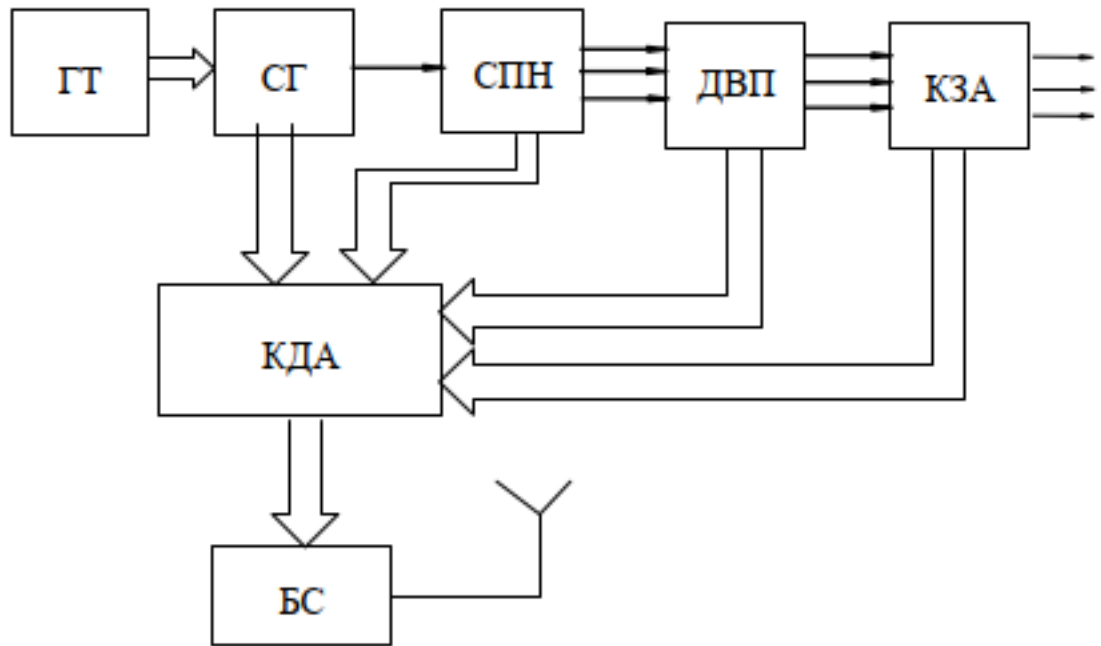


Рисунок – 1.3. Функциональна схема автономної автоматизованої МГЕС

Комплекс містить такі елементи:

Гідротурбіна (ГТ), в якості якої пропонується використовувати серійний відцентровий насос.

Синхронний трифазний генератор (СГ), який пропонується використовувати вентильну синхронну трифазну машину зі збудженням від постійних магнітів.

Силовий перетворювач напруги (СПН), що включає три елементи-перетворювач змінного струму в постійний, перетворювач постійного струму в змінний заданої амплітуди, частоти і пристрій симетрування вихідної трифазної напруги.

Блок датчиків вихідних параметрів (ДВП) ГЕС, який видає інформацію про поточні значення частоти, струму, напруги, потужності та виробленої енергії.

Блок комутаційно-захисної апаратури (КЗА), який включає стандартні для будь-якої електростанції комутаційно-захисні пристрої.

Блок контрольно-діагностичної апаратури (КДА), призначений для реалізації функцій діагностики стану елементів комплексу та оцінки його поточної та подальшої працездатності.

Блок зв'язку (БЗ), призначений для зв'язку та передачі даних про вихідні параметри та стан окремих елементів на центральний диспетчерський пункт.

Кожен із елементів функціональної схеми вимагає додаткового науково-технічного опрацювання, тому розглянемо їх докладніше.

Використання відцентрового насоса як гідротурбіна відоме [74]. Однак залишаються недостатньо з'ясованими питання зміни швидкості обертання насоса в режимі турбіни за одночасної зміни напору і моменту на валу, пов'язаного зі зміною споживання електроенергії [75]. Отже, для обґрунтованого вибору типу та потужності насоса, а також оцінки можливого діапазону зміни його швидкості обертання в процесі експлуатації, буде потрібно детальніше дослідження гідродинамічних процесів його роботи в режимі турбіни.

Генератор на основі синхронної машини із збудженням від постійних магнітів (СМПМ) є добре технологічно відпрацьованою та вивченою машиною. Істотним недоліком СМПМ при використанні його як генератор автономної енергетичної установки є можливість виникнення аварійних ситуацій у разі виткового замикання в обмотці. Справді, якщо СМПМ продовжуватиме обертатися за наявності такого замикання, в ороткозамкнутому контурі протікатимуть великі струми, внаслідок яких обмотка нагріється до неприпустимих температур та можливе виникнення пожежі.

Отже, виникає завдання або виключення таких замикань, або їх швидкого виявлення і зупинки генератора.

У СПН перетворювач змінного струму постійний може бути виконаний по одному з двох варіантів. Або це стандартний двонапівперіодний, або

синусний випрямляч [47]. Недоліком першої схеми є вплив випрямляча на синхронний генератор рахунок несинусоїдності споживаного струму, що погіршує його енергетичні показники. Синусоїдальний випрямляч дозволяє забезпечити синусоїдальність фазних струмів, але схема його суттєво складніша і вартість вища. Тому буде потрібна додаткова оцінка ефективності та меж застосування того й іншого випрямлячів.

На перший погляд не викликає питань перетворювач постійної напруги у змінну трифазну, оскільки схеми таких пристроїв добре відпрацьовані та серійно випускаються. Однак у цьому випадку перетворювач працює на несиметричне навантаження, і питання симетрування напруг вимагають особливої уваги, оскільки несиметрія може бути суттєвою. Наприклад, одна фаза може мати нульове навантаження, а дві інші навантажені до номінальних струмів або навпаки, дві фази навантажені, а одна без навантаження. Запитання симетрування навантаження на виході перетворювачів хоч і розглянуті в даний час [68], проте технічні рішення досить складні і вимагають удосконалення.

Блок датчиків вихідних координат енергетичної установки та блок комутаційно-захисної апаратури можуть бути виконані на основі стандартних елементів. У першому випадку це стандартні датчики частоти і діючого значення напруги, а також датчики струму і потужності, що виробляється. У другому випадку це стандартна комутаційно-захисна апаратура. Додатковою вимогою до них є виведення інформації про вимірювані координати та стан комутаційно захисних елементів у цифровій та імпульсній формі, для подальшого аналізу у пристрої діагностики та передачі по вибраних каналах зв'язку.

Блок діагностики є в даному випадку найважливішим, алгоритмічно складним елементом, оскільки повинен в режимі онлайн на апаратурі, що діє, оцінювати її працездатність і виявляти не тільки виниклі несправності, але і прогнозувати можливість їх виникнення. При цьому на нього надходить

інформація з різних датчиків. Наприклад, це датчики вібрацій корпусів турбіни та генератора. За інформацією цих датчиків можна судити про стан опор цих пристроїв. Датчик витрати рідини, що надходить у турбіну, інформація з якого використовується при визначенні відповідності її потужності розрахунковим значенням. Датчик температури обмотки генератора та силових ключів перетворювача напруги, інформація з яких дозволяє судити про справність генератора та перетворювача. Датчики, що фіксують виникнення несиметрії та спотворення картини магнітного поля, що дозволяють екстрено фіксувати виткове замикання. Датчики визначення опору ізоляції обмотки. Інформація з перелічених датчиків, а також інформація про значення вихідних координат енергоустановки спільно з інформацією, яка отримується від математичної моделі процесів перетворення енергії, закладеної в блок діагностики, використовується для оцінки її працездатності та виявлення несправностей.

Для зв'язку з центральним диспетчерським пунктом можна використовувати інтернет, радіоканал, супутниковий зв'язок тощо.

Проведений аналіз показує, що для малої та середньої гідроенергетики рентабельними та економічно прийнятними можуть бути лише необслуговувані повністю автоматизовані МГЕС. Вони вимагатимуть значних початкових капітальних витрат, але в процесі надійної та безвідмовної експлуатації ці витрати повинні окупитися і після цього приносити чистий прибуток, пов'язаний із генерацією електроенергії.

Розробка такої комплексної автоматизованої міні-ГЕС є складним науково-технічним завданням, яке має вирішуватися поетапно.

Основною властивістю повністю автоматизованих систем, що не обслуговуються, є їх висока надійність і безаварійна робота. Найбільш типовим видом аварійних ситуацій для енергосистем є короткі замикання, що виникають через встановлення неякісного обладнання, неправильної експлуатації, що відхиляється від нормативних режимів, несвоєчасного

проведення регламентних та ремонтних робіт, зовнішніх впливів довкілля. За даними статистики за період з 2009 р. по 2020 р. на підставі актів дефектації з урахуванням інформації про проведені поточні та капітальні ремонти, випробування та планове обслуговування джерел живлення наводиться наступний перелік відмов [65]:

- Заводські дефекти 35%;
- Низька організація експлуатації 20.5%;
- неякісний ремонт чи монтаж 18%;
- грозові перенапруги та удари блискавки 5.5%;
- старіння ізоляції 10%;
- Інші дефекти 11%.

Основними відмовами є обрив та короткі замикання. Якщо обриви призводить до зупинки електроживлення та досить швидко ліквідується, то короткі замикання можуть спричинити пожежну ситуацію та повний вихід обладнання з ладу.

ГОСТ 26522 (Міждержавний стандарт. Короткі замикання в електроустановках. Терміни та визначення) регламентує 23 види коротких замикань у системі електричних мереж. В основному вони пов'язані з неправильною експлуатацією та людським фактором. Аварійна статистика з електричних систем з усіх практично можливих коротких замикань показує 4 основні види позаштатних ситуацій :

- 1) трифазне коротке замикання – 5%;
- 2) двофазне коротке замикання – 10%;
- 3) однофазне коротке замикання – 65%;
- 4) двофазне коротке замикання землі – 20%.

Слід розуміти, що частку власне генераторів припадає лише частина статистики наведених відмов, але ці відмови є найбільш небезпечними, складно ліквіднуються і можуть призвести до тяжких наслідків.

Не дивлячись на те, що на міні-ГЕС лежить набагато менша відповідальність, вимоги до надійності їм залишаються досить високими.

Навести офіційну статистику причин відмов генераторів досить складно, оскільки ці електричні машини мають різний діапазон потужностей, різне призначення, різні умови експлуатації.

Більшість енергокомпаній відносяться до приватного сектору та вважають цю інформацію конфіденційною. Проте дані вважатимуться середньостатистичними і цілком достовірними [65] такі причини відмов джерел живлення:

- міжфазні замикання 5.3%;
- виткові замикання 44%;
- ушкодження комутаційної апаратури 13.8%;
- пошкодження струмопідведення 20.4%;
- обрив обмотки 4.6%;
- інші види 11.9%.

Як видно зі статистики, короткі виткові замикання і міжфазні замикання становлять близько половини всіх відмов. При цьому виткові замикання є найбільш небезпечними. Їх досить складно виявити на початковій стадії, особливо при працюючому генераторі, з них починається локальне руйнування ізоляції, яке може призвести до замикання фази на корпус та міжфазових коротких замикань.

Основу сучасної міні-ГЕС становить безконтактний вентильний генератор з збудженням від постійних магнітів. Статистика показує, що правильно вибрані підшипники працюють досить надійно протягом усього періоду експлуатації. Слабкою ланкою в системі з погляду надійності та безаварійної роботи є якірна обмотка. З цієї причини діагностика та аналіз коротких замикань повинні скласти основу електротехнічного комплексу, що розробляється, зі створення сучасної автоматизованої, необслуговуваної мікро ГЕС.

1.4 Основні завдання автоматизації мікро-ГЕС

У зв'язку з тим, що експлуатаційні витрати малої ГЕС істотно впливають на її ефективність, а зарплата персоналу досягає 50% усіх експлуатаційних витрат, то основою формування принципів управління таких ГЕС має бути скорочення експлуатаційних витрат.

Основні принципи управління та автоматизації малих ГЕС такі: відсутність на ГЕС чергового персоналу; періодичні огляди проводяться 1 раз на місяць, а поточні ремонти споруд та обладнання – виїзними бригадами енергосистеми або кількох малих ГЕС; повна автоматизація роботи з обладнання як в умовах роботи в енергосистемі та на ізольоване навантаження.

Виходячи з цих двох основних принципів управління, можна сформулювати та відповідні вимоги до обладнання малих ГЕС: обладнання має бути простим в управлінні та обслуговуванні; допоміжне обладнання, необхідне для роботи гідроагрегату та його безпеки, повинне працювати тільки автоматично і число його має бути мінімальним; ремонт обладнання повинен зводитися до заміни стандартних вузлів, що зношуються запасними, виготовлення будь-яких запасних частин на ГЕС не передбачається; замість дорогого резервування основних елементів та частин допоміжного обладнання та складних захистів слід застосовувати аварійну зупинку гідроагрегату з видачею сигналу на центральний пост управління; регулятори гідротурбін повинні виконувати всі функції автоматичного керування гідроагрегатом, включаючи все допоміжне обладнання; для охорони ГЕС мають бути передбачені спеціальні автоматичні охоронні пристрої.

З врахуванням цих вимог можна скласти необхідний набір органів управління та автоматизації для мікро-ГЕС:

1. Регулятор турбіни з функціями регулятора частоти обертання під час роботи на ізольоване навантаження та функціями регулятора з водотоку під час роботи в енергосистемі.

2. Маслонапірна установка як акумулятор енергії для автоматичного запуску ГЕС за відсутності напруги на шинах.

3. Електронна панель управління з можливістю виконання усіх функцій: регулювання частоти, режиму подачі потоку води, розподілу навантаження між генеруючими гідроагрегатами, виконання послідовності операцій при пуску-зупинці агрегату, а також управління допоміжним обладнанням.

4. Пристрій аварійного відключення та зупинки гідроагрегату при його несправності (аварійний золотник за наявності маслонапірної установки або вантажний привід направляючого апарату за її відсутності).

5. Охоронні та протипожежні автоматичні пристрої, що включають попереджувальну сигналізацію або засоби водяного пожежогасіння.

Виконання зазначених органів управління може бути звичайним з використанням окремих шаф керування з традиційними релейними та контактними елементами або сучасним з використанням комп'ютерів із зовнішніми виконавчими пристроями на безконтактних елементах.

У зв'язку з розвитком електроніки використання комп'ютерів набуває великого поширення для управління сучасними малими та мікро-ГЕС. Це значно скорочує габарити системи управління та дозволяє не "скупитися" на створення додаткових завдань з оптимізації управління малими та мікро-ГЕС. Є приклади встановлення комп'ютерів одночасно на каскад малих та мікро-ГЕС, і є приклади встановлення індивідуальних комп'ютерів на кожній ГЕС.

2. АРХІТЕКТУРА, ФУНКЦІЇ ТА АПАРАТНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ МІКРО-ГЕС

2.1 Особливості малих ГЕС як об'єктів управління

Мала гідроенергетика порівняно з іншими галузями відновлюваної енергетики характеризується певними наступними особливостями, зокрема, технічного, економічного, екологічного та соціального характеру кожна з яких має свій вплив на інвестиційну привабливість проектів з впровадження малих ГЕС:

1. Жорстка прив'язаність малих ГЕС до водних об'єктів. Гідроелектростанцію можна спорудити лише безпосередньо на руслі річки (руслова ГЕС) або недалеко від нього (у випадку деривації). Сонячні та вітряні електростанції не є настільки прив'язаними до якогось конкретних об'єктів.

2. Кожна річка України має водоохоронну зону, на території якої відповідний закон забороняє будь-яку господарську діяльність. Звідси випливає, що спорудження малих ГЕС в Україні – поза законом.

3. Річки – улюблене місце відпочинку громадян. Відтак прилеглі до них території дуже часто є рекреаційними зонами, які також захищені відповідним законом від здійснення там будь-якої господарської діяльності.

4. Дуже часто річки протікають територіями національних природних парків, де законодавство також не дозволяє займатися гідроенергетикою.

5. Зазвичай поблизу річок знаходяться населені пункти. З економічних міркувань спорудження малої ГЕС часто потребує підняття рівня води на певній ділянці річки на один, два або навіть більше метрів. Це може спричинювати підвищення рівня ґрунтових водних горизонтів і, внаслідок цього, призводити до повного чи часткового затоплення підвальних приміщень в прилеглих приватних домогосподарствах, громадських

спорудах або будівлях іншого призначення. Це вимагає переселення людей чи надання їм відповідних компенсацій, що може суттєво підвищити капітальні витрати на проект.

6. У верхньому б'єфі малої ГЕС з економічних міркувань підтримують якомога вищий рівень води. Якщо до цього б'єфу прилягає забудована і заселена місцевість, підвищуються ризики її затоплення під час весняних водопіль і літніх паводків з причини зменшення тієї частини площі поперечного перерізу русла річки, що не заповнена водою. Аналогічно зростають ризики затоплення територій іншого господарського призначення – присадибних ділянок, сільгоспугідь, пасовищ, сіножатей та ін.

7. Можливі екологічні загрози. В гірській місцевості під час спорудження малих ГЕС дуже часто з економічних міркувань застосовують трубну деривацію. Це загрожує частковим або повним спустошенням великої ділянки (до декількох кілометрів) основного русла річки, і, відповідно, важкими екологічними і соціальними наслідками: зникненням звичної для тієї чи іншої місцевості річкової флори і фауни, зменшенням туристичної привабливості місцевості, зникненням звичних місць водопою та купання свійських тварин і птиці тощо.

8. Яскраво виражена індивідуальність проектів. Не існує поняття «типовий проект малої ГЕС». Проекти малих ГЕС – незалежно від дати їх розроблення – суттєво відрізняються один від одного. Вони характеризуються яскраво вираженими індивідуальними особливостями. На проекти у сфері малої гідроенергетики впливають геологія, гідрологія й геодезія місцевості, величина напору води на гідроспорудах ГЕС, наявність та особливості розташування населених пунктів, сільгоспугідь та багато інших чинників. З іншого боку, проекти у сфері сонячної і вітряної енергетики є дуже подібними між собою. Їх відмінність викликана в основному лише впровадженням нових технологій, якщо такі появляються на ринку.

9. Історичні корені. Використання енергії води для вироблення електрики та виконання роботи (переважно у технологічних процесах перероблення зерна) має в Україні давні історичні традиції. Було б дуже нерозумно цього не враховувати. Цілком логічно, що малу ГЕС доцільно споруджувати або відновлювати, насамперед, там, де вже колись діяла така ГЕС або водяний млин. З одного боку, це спрощує завдання пошуку місця спорудження гідроелектростанції. З іншої сторони, вимагає здійснення історичних пошуків і формування на їхній основі детальної карти потенційних місць, де можуть розташовуватися майбутні діючі малі ГЕС.

10. Величина потужності. На сьогоднішній день в Україні ще можна знайти місця, де без особливо великих витрат можна спорудити малі ГЕС одиничною потужністю до 1000 кВт. Станом на 2013 рік економічно вигідно споруджувати низьконапірні ГЕС одиничною потужністю не нижче 60 кВт. Переважно зводять ГЕС у діапазоні потужностей від 60 до 200 кВт, рідше – від 60 до 500 кВт. З фінансових міркувань хотілося б вище 500 кВт, але майданчики під настільки потужні ГЕС знайти на сьогоднішній день досить важко. Реально існує велика кількість місць для розташування мікро-ГЕС потужністю до 60 кВт. Якщо встановлена потужність низьконапірної мікро-ГЕС знаходиться в діапазоні від 10 до 60 кВт і термін її окупності перевищує шести років, то братися за неї на даному етапі економічно недоцільно. Причини цього наступні: а) відносно низький щорічний дохід від продажу виробленої електроенергії; б) відносно високі капіталовкладення; в) відносно високі експлуатаційні витрати; г) наявність ще досить великої кількості майданчиків під спорудження рентабельніших мікро-ГЕС більшої потужності (понад 60 кВт). З часом, як свідчать тенденції розвитку малої гідроенергетики в Україні, у випадку відповідної зміни економічних реалій значення мінімальної економічно доцільної потужності малих ГЕС знизиться. Для порівняння відзначимо, що на сьогоднішній день в Україні споруджують промислові ВЕС (вітряні електричні станції) на базі

вітроустановок одиничної потужності 2000 кВт і вище, а також промислові фотовольтажні СЕС (сонячні електричні станції), потужність яких переважно знаходиться в межах від кількох тисяч до майже сотні тисяч кіловат.

11. Коефіцієнт використання встановленої потужності K_p малих ГЕС значно перевищує аналогічний показник ВЕС і СЕС. Для правильно спроектованої малої ГЕС, яка працює паралельно з Об'єднаною енергетичною системою України і в режимі водотоку, він становить не менше 50–60 %. На сьогодні K_p діючих малих ГЕС України дорівнює приблизно 30 %. Це пояснюється тим, що вони були спроектовані переважно в середині ХХ століття і працювали в автономному режимі за нерівномірним графіком навантаження. Зазначений режим вимагав акумулювання води у верхньому б'єфі під час провалів у навантаженні (наприклад, у нічні години доби, коли електроенергія практично не вироблялася з причини малого попиту на неї) і роботи ГЕС на максимальну потужність в години пікового навантаження. В результаті цього коефіцієнт використання встановленої потужності ГЕС був невисокий, але це виправдовувалося тодішніми умовами експлуатації малих гідроелектростанцій – автономним режимом роботи на змінне навантаження з періодичним акумулюванням води у верхньому водосховищі (за наявності такого), якщо надходження води у це водосховище перевищувало поточну витрату води турбіною (турбінами), величина якої (витрати) зу мовлена існуючим у той чи інший момент часу електричним навантаженням ГЕС.

12. Коефіцієнт завантаження за часом K_t малих ГЕС значно перевищує аналогічний показник ВЕС і СЕС. Мала ГЕС, яка оснащена щонайменше двома гідроагрегатами, може виробляти електроенергію практично без перерв (8760 годин на рік), тобто для неї $K_t=100$ %. Це пов'язано з тим, що більшість річок в Україні не пересихають у посушливі періоди року, хоча й мають місце значні сезонні коливання витрати води у них. ВЕС простоює, якщо вітер відсутній або його швидкість є нижчою від деякого мінімального

значення (наприклад, 3 м/с), а СЕС не може генерувати електроенергію в темний період доби (уночі). Якщо мала ГЕС оснащена лише одним гідроагрегатом, який зазвичай потребує періодичного ремонту та обслуговування, то її $K_t=90-100$ %. За умови наявності підключеного електричного навантаження присутність двох або більше гідроагрегатів на малій ГЕС гарантує безперервність її роботи: якщо, наприклад, один з гідроагрегатів зупинено на ремонт, інший (-і) – працює (-ють).

13. Питомі капіталовкладення. Питомі капіталовкладення в малу гідравлічну енергетику переважно нижчі, ніж в сонячну та вітряну.

14. Період окупності капіталовкладень. Період окупності капіталовкладень в малу гідроенергетику на сьогодні здебільшого нижчий у порівнянні з аналогічним показником для інших відомих галузей відновлюваної енергетики.

Таким чином, інтерес до розвитку зазначеної галузі залишається досить високим.

До складу всіх гідроенергетичних об'єктів входять турбіни, які перетворюють кінетичну (потенційну) енергію потоку води в механічну енергію обертання ротору турбіни. За принципом дії гідротурбіни розділяються на два основних типи: активні і реактивні, причому кожен тип має турбіни різної конструкції. Застосування різних турбін обумовлено напором води та витратою. Активні (вільноструменеві) турбіни використовують переважно кінетичну енергію струменя води, яка вільно витікає з сопла. Реактивні (напірноструменеві) використовують в основному потенційну частину енергії потоку. Кожен тип гідротурбін відповідає певному діапазону напору і витрати води і має свою область ефективного застосування. За конструкцією розрізняють турбіни ковшового (Пельтон), радіально-осьового (Френсіс), поворотно-лопатевого (Каплан), похило-струменевого (Тюрго) типів, а також пропелерні (Томсон) та дворазові (Банки).

Турбіни застосовують залежно від напору води, що використовується малою ГЕС. Так, турбіни ковшового і радіально-осьового типу розроблені і застосовуються для високонапірних ГЕС. Турбіни з поворотно-лопатевими і радіально-осьовими пристроями, застосовують на середньонапірних ГЕС. На низьконапірних станціях малої потужності встановлюють турбіни поворотно-лопатєвого типу. Основні типи турбін для МГЕС, а також їх застосування наведено в таблиці 2.1. При виборі типу гідротурбін керуються діаграмою, наведеною на рисунку 2.2.

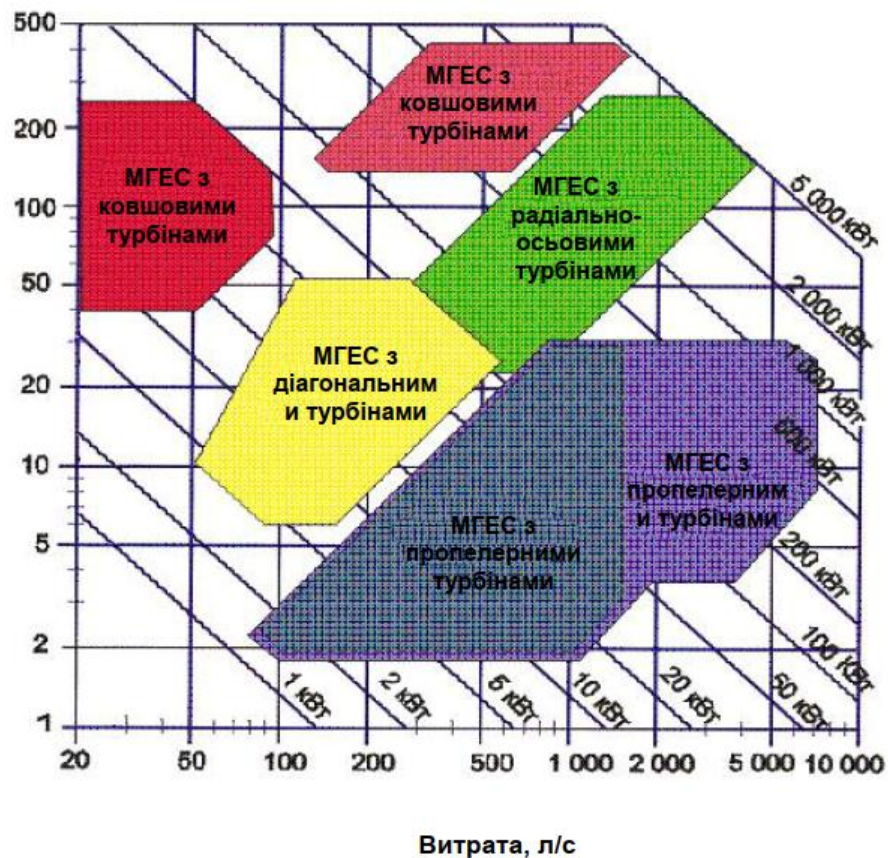

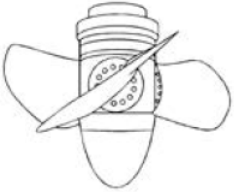

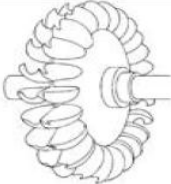




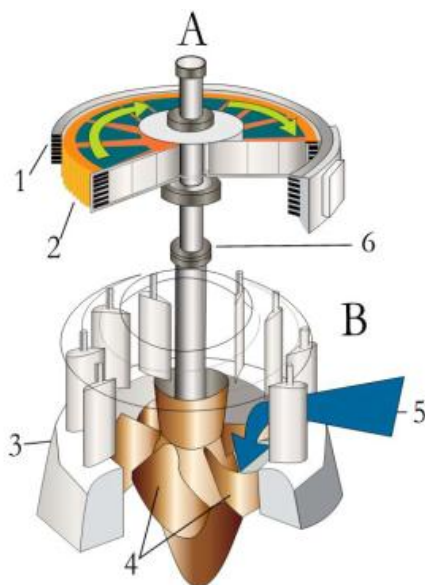
Рисунок 2.1 – Діаграма вибору типу гідротурбін для МГЕС

Електрогенератор з'єднаний з турбіною, яка приводить його в дію. Турбіна повертає вал зі встановленим на ньому рядом магнітів повз мідні пластини і генератор. Електроенергія виробляється при обертанні ротору в стаціонарній обмотці.

Таблиця 2.1 – Основні типи турбін для малих ГЕС

№ п/п	Тип гідротурбіни	Зовнішній вигляд	Основні показники	Характеристика
1	Томсон (пропелерна)		Напір: 6 ... 150 м Вихідна потужність: 15 кВт ... 4 МВт Виконання турбіни горизонтальне	Турбіна має найвищу швидкохідність серед всіх типів турбін. Це дозволяє при малих швидкостях потоку отримувати більш високу швидкість обертання. Високі обороти турбіни в свою чергу дозволяють застосовувати більш швидкохідні, а значить, більш легкі і дешеві електрогенератори або зменшувати витрати на передавальні пристрої (редуктори або ремінні системи передач). Турбіни застосовують при найнижчих напорах, коли швидкості потоку невеликі.
2	Капкан (поворотно-лопатевий)		Напір: 7 ... 40 м Вихідна потужність: 600 кВт ... 2 МВт Виконання турбіни вертикальне	Лопаті в турбіні можуть виготовлятися, як фіксованими, так і поворотними. У першому випадку лопаті нерухомо закріплені під обраним кутом, відповідним робочим тискам і оптимальним навантаженням генератора. Поворотні лопаті виправдано застосовувати у великих турбінах при значних коливаннях напору і роботі генератора в умовах зі змінним навантаженням. За допомогою поворотних лопатей можна підтримувати незмінну частоту обертання робочого колеса і частоту вироблення напруги в генераторах.
3	Френсіс (радіально-осьова)		Напір: 30 ... 200 м Вихідна потужність: 250 кВт ... 2.5 МВт Виготовляються в вертикальному і горизонтальному виконаннях	Вода на робоче колесо радіально-осьової турбіни надходить із зовнішнього боку колеса і рухається по радіусу до центру турбіни. Пройшовши між лопатями складної просторової зігнутої форми, вода віддає енергію ротору, примушуючи його обертатися.
4	Пельтон (ковшова)		Напір: 40 ... 700 м Вихідна потужність: 30 кВт ... 4 МВт Виготовляються в вертикальному і горизонтальному виконаннях	Цей тип турбін застосовують при великих напорах. Напірний трубопровід заходить до будівлі гідроелектростанції і закінчується соплом, що направляють струмінь на робоче колесо турбіни. Струмień води, що вилітає з сопла, прокочується по увігнутій поверхні ковша і змінює напрямок свого руху на протилежне.
5	Тюрго (похило-струменева)		Напір: 35 ... 130 м Вихідна потужність: 30 кВт ... 2 МВт Виготовляються в вертикальному і горизонтальному виконаннях	Це активна турбіна, відома як турбіна Банкі-Мічелла (Banki-Michell), застосовується в більш широкому діапазоні напорів, ніж у турбін Каплана, Френсіса і Пельтона. Вода в турбіну підводиться до робочого колеса голчастим соплом. Робоче колесо має велике число лопатей, що змінюють напрямок руху струменів, що на них натікають, і викидаються з сопла під кутом до осі обертання колеса.
6	Банкі (дворазова)		Напір: 6 ... 15 м Вихідна потужність: 1 кВт ... 15 кВт Виконання турбіни горизонтальне	Активна турбіна поперечно-струменевої течії. Особливість: подвійне перетворення енергії, яке відбувається під час «попадання» води на лопаті на вході і виході з полого ротора. Використання двох робочих фаз не забезпечує ніякої переваги за винятком того, що це дуже ефективний і простий спосіб відведення води з ротора.

Гідроенергетичні генератори (так само, як і інші види генераторів) підбираються відповідно до розміру і потужності турбін, які приводять їх в дію (рисунок 2.2).



А Електрогенератор. В Гідротурбіна

1 – Статор, 2 – ротор, 3 – направляючий апарат, 4 – лопаті турбіни, 5 – потікводи, 6 – ротор турбогенератора

Рисунок 2.2 – Гідротурбогенератор

МГЕС є об'єктами, які характеризуються своїми особливостями в експлуатації і управлінні, що висуває ряд вимог до систем автоматизованого управління ними. Ці особливості полягають в наступних чинниках:

- мала потужність такої МГЕС дозволяє в добовому вимірі отримати незначні прибутки від невеликого об'єму згенерованої електроенергії, що обумовлює особливо мінімізувати видатки при її побудові та експлуатації в тому числі враховуючи систему автоматизованого управління;

- складність адміністрації, обслуговування та керування МГЕС, з огляду на те, що в одному регіоні можуть бути декілька МГЕС підпорядкованих різним суб'єктам енергоринку, або навпаки, одному суб'єкту підпорядковуються МГЕС в різних віддалених один від одного регіонах країни, що в обох випадках потребує чіткої організації комунікаційних каналів, ліній зв'язку та централізованої диспетчеризації;

– жорсткі вимоги енергоринку та законодавчої бази щодо автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), які вимагають оперативної комунікації між виробниками, операторами (посередниками) та кінцевими споживачами, що обумовлює створення та покращення засобів комунікаційно-інформаційного забезпечення, між всіма учасниками енергоринку;

– недостатня розвинутість законодавчої бази в країні для чіткого забезпечення норм та вирішення спірних питань побудови та експлуатації таких МГЕС, в тому числі і з дозвільною документацією та природоохоронними нормами. [3]

Якщо абстрагуватися від соціально-правових питань не пов'язаних з технічними, то САУ МГЕС повинні вирішувати ряд проблем, описаних вище, основними з яких є

забезпечити мінімальні експлуатаційні витрати та витрати на саму САУ, що може досягатися роботою повністю автоматичному режимі або керуватися віддалено;

– розроблення єдиної інтегрованої системи управління багатьма об'єктами МГЕС та адміністрування ними;

– забезпечення безвідмовної роботи обладнання та запобіганню аварійним ситуаціям.

2.2 Розроблення структурних схем САУ каскаду малих ГЕС

Для виконання зазначених раніше завдань автоматизації необхідною умовою є забезпечення можливості централізованого управління об'єктом у режимі реальному часі. САУ каскадом МГЕС із заданим переліком функцій пропонується побудувати у вигляді структури представлено на рисунку 2.3 як централізована система оперативного управління з децентралізацією

деяких функцій локального управління за рахунок адаптивних систем автоматичного управління (САУ).

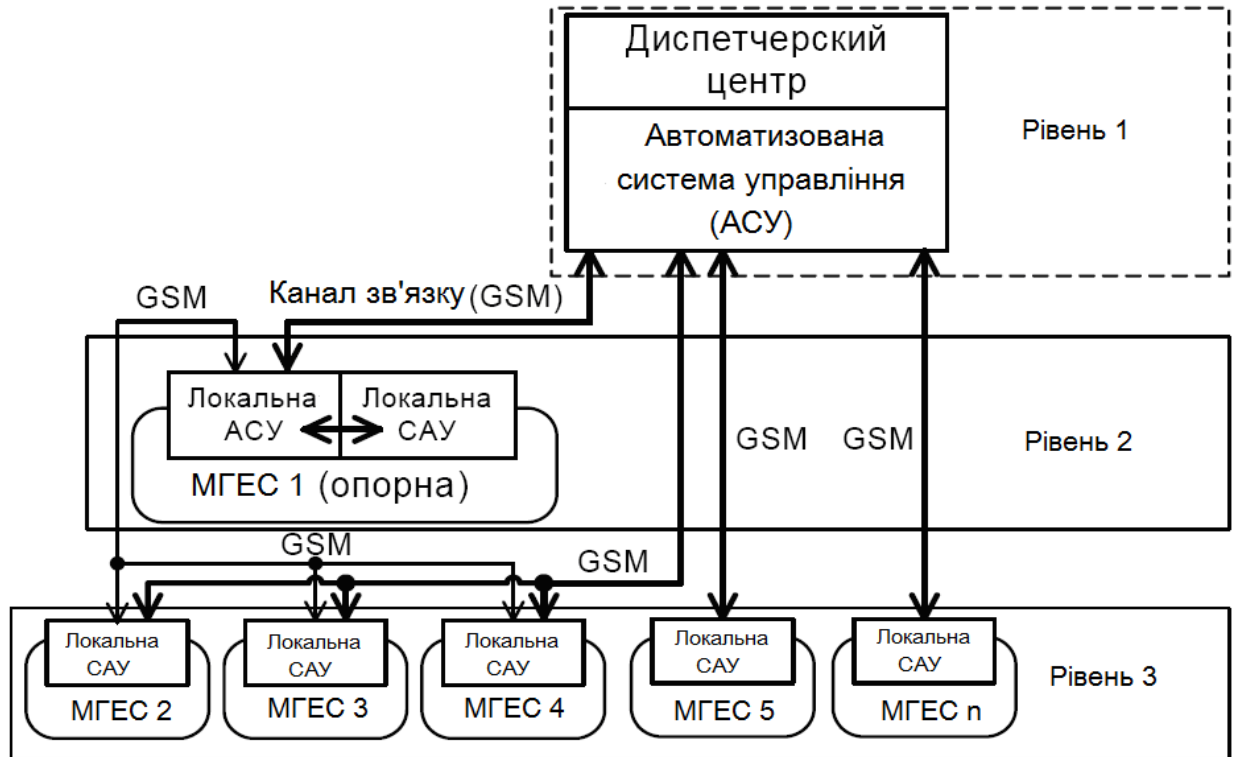


Рисунок 2.3 – Загальна структурна схема САУ каскаду МГЕС

Запропонована структура САУ каскадом МГЕС дозволить вирішити задачі максимально автоматизованого вироблення електроенергії, автономність роботи МГЕС при нормальному режимі роботи, дистанційного управління МГЕС при потребі, зменшення затрат на обслуговуючий персонал, консолідації інформації для звітності.

Для забезпечення реєстрації та передачі даних півгодинних графіків відпуску електроенергії, формування документів та звітної документації згідно з чинними нормативними актами необхідно більш детально продумати та розробити архітектуру та функції першого рівня САУ поданої на рисунку 2.3.

Для реалізації вказаних функцій запропоновано архітектуру першого рівня САУ МГЕС представлену на рисунку 2.4.

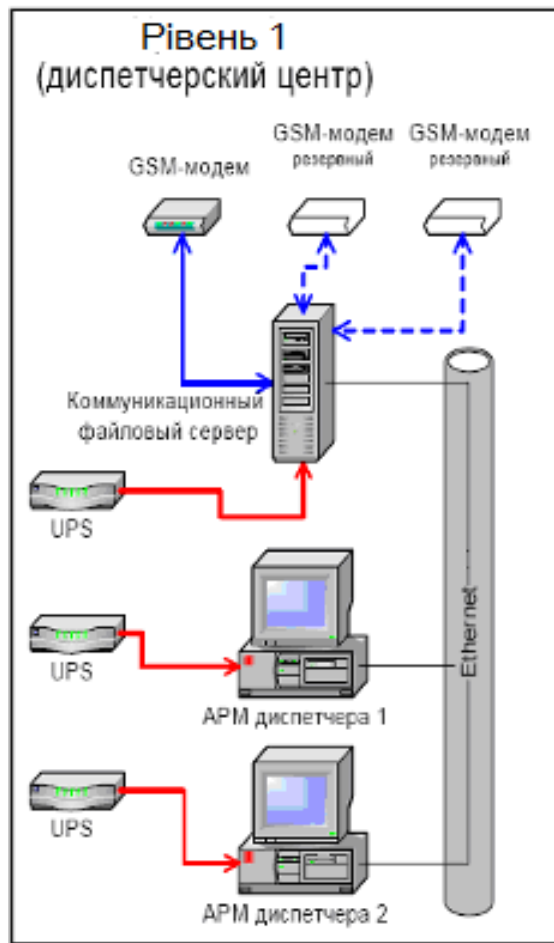


Рисунок 2.4 – Структурна схема апаратної реалізації САУ каскадом МГЕС першого рівня

На цьому ж першому рівні САУ здійснюється тестування обладнання, інтелектуальних лічильників електроенергії, тестування каналів зв'язку та загальний контроль за роботою системи в цілому за макропоказниками.

На другому рівні управління (див. рисунок 2.3) забезпечується автоматизація генерації електроенергії, автономність роботи кожної МГЕС при нормальному режимі, контроль роботи апаратури та обладнання в автоматичному режимі, включення механізмів захисту та дистанційного управління при непередбачуваних чи аварійних ситуаціях. Структура другого рівня САУ МГЕС (САУ Опорної МГЕС) представлено на рисунку 2.5.

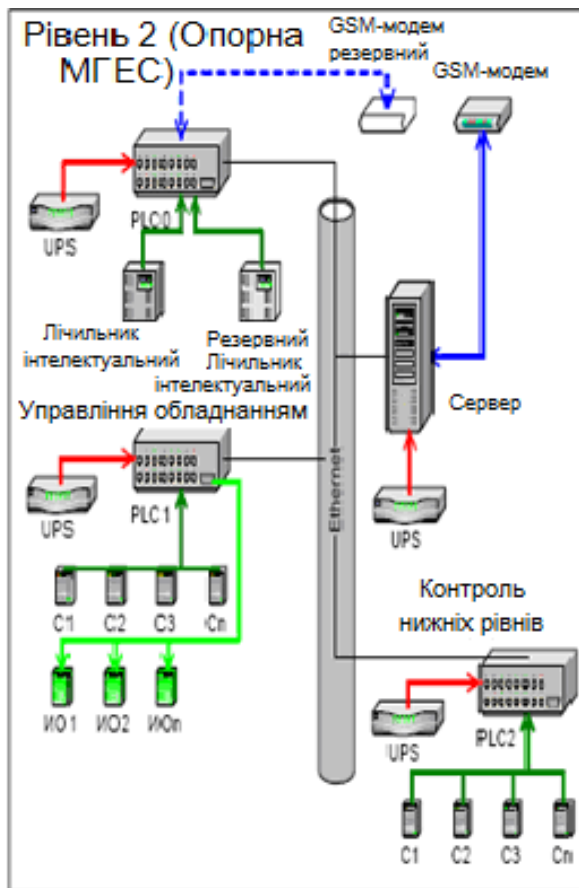


Рисунок 2.5 – Структурна схема апаратної реалізації другого рівня САУ каскадом МГЕС (опорної МГЕС) .

Для другого рівні автоматизованого управління МГЕС передбачено виконання наступних функцій:

- контроль потужності та подачі водного потоку за рахунок визначення рівня води у верхньому басейні та відключення обладнання в разі критичного рівня;
- регулювання режиму роботи генераторів електроенергії шляхом корекції потужності турбін на основі показів вимірювальних приладів;
- контроль параметрів механічного обладнання МГЕС та запобігати аварійним ситуаціям при досягненні критичних показників вібрації, температури та інших;
- реєстрація параметрів роботи агрегатів при відмовах, передаварійних чи аварійних ситуаціях;

- забезпечення захисту персоналу і обладнання шляхом його відключення при непередбачуваних ситуаціях,
- здійснення адміністративних та охоронних функцій шляхом реєстрації персоналу і сторонніх осіб на об'єкті та відповідним інформуванням диспетчерського центру і відповідних посадових осіб.

Пропонується також розширення програмно-апаратного забезпечення нижнього (третього рівня) управління – локальної САУ кожної МГЕС . Структурна схема апаратної реалізації САУ ГЕС показана на рисунку 2.6.

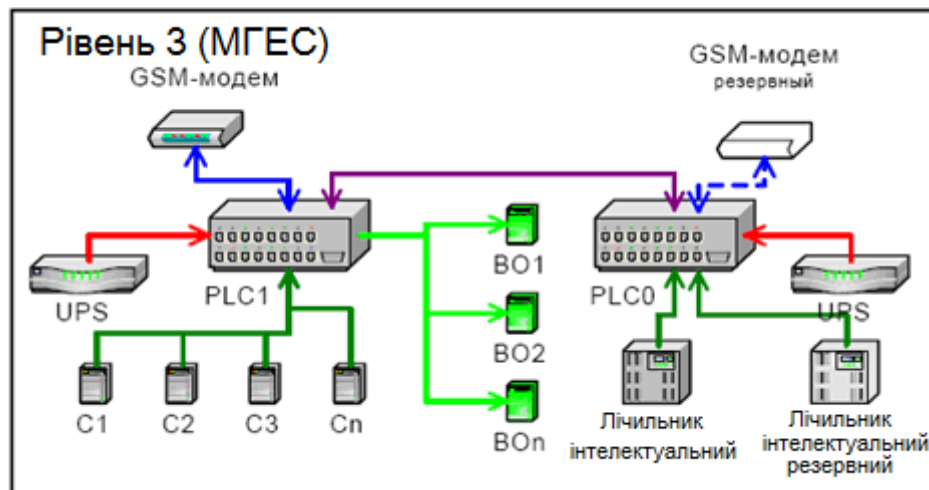


Рисунок 2.6 – Структурна схема апаратної реалізації третього рівня САУ МГЕС .

Трирівнева ієрархія САУ ГЕС забезпечує високу надійність та ефективність системи та, водночас, дозволяє суттєво скоротити капітальні витрати на розробку та впровадження САУ.

2.3 Обґрунтування та вибір апаратури основних компонентів для САУ МГЕС

Розглянемо ГЕС, яка має дві турбіни, за допомогою клинопасової передачі, крутний момент передається на вал генератора (асинхронний

двигун 20кВт). Обидві турбіни з'єднані з шківом валу генератора. Об'єктом управління є напрямна пластина, з допомогою якої можна регулювати величину потоку. Після аналізу системи управління швидкістю потоку, запропоновано альтернативну систему управління за допомогою перетворювача частоти FR-A741, який буде керувати шлюзовими заслінками для регулювання потужності потоку води.

Обрання перетворювача обумовлено тим, що його використання на сьогодні є одним з наефективніших способів керування силовими установками. В даному випадку перетворювача частоти FR-A741 використовується для управління моторами, які відкривають чи закривають заслінки для регулювання потужності водяного напору.

Новий перетворювач частоти FR-A741 допомагає скоротити капітальні витрати та надає можливість у довгостроковій перспективі мінімізувати експлуатаційні витрати.

У порівнянні з традиційними системами електроприводу, FR-A741 з інтегрованою функцією рекуперації енергії має високий потенціал енергозбереження.

Оскільки перетворювач частоти та рекуператор змонтовані одному корпусі, пристрій займає менше місця, що дозволяє суттєво економити простір у шафі керування.

Завдяки вбудованим мережевим дроселям та відмові від зовнішнього модуля гальмування немає потреби у додаткових електромонтажних роботах, зменшується кількість монтажних проводів на 40%, а загальний простір, що збільшується на 60%. Це дозволяє суттєво зменшити довжину монтажних кабелів та заощадити місце у шафі управління.

Основним інтелектуальним блоком управління на нижньому рівні є програмований логічний контроллер (ПЛК або PLC – Programmable Logic Controller). На сьогоднішній день існує цілий ряд компаній, які випускають ПЛК різних моделей та з різними характеристиками і ціною. Як завжди,

стоїть задача обрати оптимальний ПЛК відносно ціни та якості, який задовольнить необхідні потреби та буде мати деякий запас для можливостей розширення його функцій.

Порівнявши характеристики багатьох контролерів обрано контролер Siemens, а саме на S7-300 через комбіновану мову програмування та відносно невисоку ціну. Проте навіть одного контролера Siemens S7-300 є декілька модифікацій представлених у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Основні технічні дані центральних процесорів S7-300

CPU	312C	313C-2 PtP	313C-2 DP	313C	314C-2 PtP	314C-2 DP
Рабочая память	64 КБ	128 КБ	128 КБ	128 КБ	192 КБ	192 КБ
Загружаемая память (MMC)	64КБ – 4 МБ	64КБ – 8 МБ	64КБ – 8 МБ	64КБ – 8 МБ	64КБ – 8 МБ	64КБ – 8 МБ
Время выполнения операций, мкс:						
• логических	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
• с фиксированной точкой	5.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
• с плавающей точкой	6.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Кол-во флагов/таймеров/счетчиков	1024/128/ 128	2048/256/ 256	2048/256/ 256	2048/256/ 256	2048/256/ 256	2048/256/ 256
Кол-во каналов ввода-вывода, - дискретных/ аналоговых, не более	256/64	1008/248	8192/512	1016/253	1016/253	8192/512
Встроенные интерфейсы	MPi	MPi + PtP	MPi + DP	MPi	MPi + PtP	MPi + DP
Кол-во активных коммуникационных соединений, не более	6	8	8	8	12	12
Кол-во встроенных						
• дискретных входов/ выходов:	10/6	16/16	16/16	24/16	24/16	24/16
• аналоговых входов/ выходов:	-/-	-/-	-/-	4 AI (I/U) +1 AI (Pt100)/2 AO		
Встроенные функции:						
• скоростные счетчики, кГц	2x10	3x30	3x30	3x30	4x60	4x60
• импульсные выходы, кГц	2x2.5	3x2.5	3x2.5	3x2.5	4x2.5	4x2.5
• ПИД-регулирование	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
• позиционирование	Нет	Нет	Нет	Нет	По 1 оси	По 1 оси
Габариты, мм	80x125x 130	120x125x 130	120x125x 130	120x125x 130	120x125x 130	120x125x 130

Для виконання всіх передбачених функцій та за необхідною кількістю входів-виходів достатньо найпростішої і відповідно найдешевшої моделі S7-300 CPU 312C. Інші параметри S7-300 CPU 312C також цілком задовольняють завдання керуванням МГЕС. [7]

Для контролю рівня води у верхній водоймі необхідно використати датчик рівня рідини. На ринку представлено велику кількість датчиків рівня різного принципу дії, точності та з різними іншими характеристиками. Поплавкові датчики рівня рідини різних конструкцій показано рисунку 2.7.

За принципом дії вирішено обирати серед датчиків рівня поплавкового типу, широкий асортимент яких представлено на рисунку 2.7. Як видно з рисунку 2.7 навіть серед поплавкових датчиків є з різним принципом дії, виглядом та габаритами.



Рисунок 2.7. Види поплавкових датчиків

Вибір датчику рівня поплавкового типу пояснюється надійністю їх роботи, невисокою вартістю, високою точністю, стійкістю до агресивних середовищ, не чутливість до піни. [15]

Серед поплавкових датчиків рівня є магнітострикційні. Принцип їх дії заснований на вимірі поширення ультразвукового імпульсу всередині металевого стрижня, з поплавком і вбудованим магнітом. Це один з найточніший типів датчика рівня. Типова точність магнітострикційних датчиків становить 10 мкм., і більше.

Технічними перевагами таких датчиків є:

- Передача сигналів на великі відстані
- Простий монтаж та випробування. Одноразове калібрування.
- Безперервний вимір висоти рівня не залежить від фізичних та хімічних властивостей середовища таких як, утворення піни та бульбашок, струмопровідності, тиску та температури у зазначених межах.

- Легка переустановка діапазону вимірювання по всій довжині труби ковзання

- Висока точність, вище 1 мм
- Висока повторюваність сигналів
- Вибухозахисні виконання
- Температура середовища від - 200 ° C до + 250 ° C
- Температура навколишнього середовища від – 70°C до +85°C
- Робочий тиск від 0 до 10 МПа
- Щільність ≥ 400 кг/м³
- Спільний вимір загального рівня та рівня розділу фаз, при цьому щільність двох рідин повинна відрізнятися не менше ніж 50 кг/м³
- Придатність до суворих умов
- Численні корозійностійкі матеріали дають замовникам можливість застосовувати прилади у всіх галузях промисловості.

Магнітострикційні датчики рівня мають два типи корпусу: з нержавіючої сталі FFG та з алюмінію KMS. Приєднання до процесу може бути абсолютно будь-яким: різьблення, фланець, молочне різьблення, рухоме різьбове з'єднання. Налаштування будь-якого діапазону вимірювань в межах довжини датчика проводиться дуже легко та швидко за допомогою трьох кнопок під кришкою корпусу протягом п'яти хвилин.

Обрано датчик «Navitrack MLS-01 Ex» показаний на рисунку 2.8.



Рисунок 2.9 – Рівномір магнітострикційний «Navitrack MLS-01 Ex.

Рівномір призначений для безперервного вимірювання параметрів рідких середовищ та рідин, у тому числі вибухонебезпечних, при обліково-розрахункових та технологічних операціях. Рівномір забезпечує: вимірювання рівня рідини, вимірювання температури, опціональний вимірювання щільності рідини. Максимальна похибка вимірювання рівня рідини становить ± 1 мм.

Рівномір можна використовувати в резервуарах із зберіганням таких продуктів: бензин; різні нафтопродукти; дизельне паливо; промислова рідина; біодизельне паливо; харчові рідини (вода, спирт, виноматеріали тощо); гас; інші рідини.

Рівномір відповідає Технічному регламенту обладнання та захисних систем, призначених для використання у потенційно «вибухонебезпечних середовищах» затвердженого постановою КМУ від 28.12.2016 № 1055 та Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затвердженого постановою КМУ від 13.01.2016 № 94, має необхідні дозвільні документи для застосування на території України та внесено до державного реєстру України. Рівномір може встановлюватися на об'єктах у зонах класу 0, класу 1 та класу 2 ДСТУ EN 60079-10-1: 2018 та приміщеннях та зовнішніх установок згідно з ДСТУ ІЕС 60079-14-2013.

Рівномір відноситься до обладнання класу М1 за зовнішніми механічними умовами та до класу Е1 за зовнішніми електромагнітними умовами згідно з ДСТУ OIML D 11:2018 (OIML D 11:2013, IDT).

Рівномір, за потреби, має можливість підключення до модуля «Облік акцизного податку з доступом до API» програми M.E.Doc — бренду Національної продуктової ІТ компанії Linkos Group, який дозволяє в автоматичному режимі отримувати інформацію із системи моніторингу рівнемірів та формувати на основі цих даних Довідку про зведених за добу даних у модулі Реєстр акцизних документів (пальне) та згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 22 листопада 2017 р. N 891 «Про затвердження Порядку ведення Єдиного державного реєстру витратомірів-лічильників та рівнемірів-лічильників рівня палива в резервуарі них електронними засобами зв'язку», Постановою Кабінету Міністрів України від 12 серпня 2020 р. N 715 «Про затвердження Порядку здійснення Державною податковою службою автоматичного зіставлення показників обсягів обігу та залишків палива, показників об'ємів обігу спирту етилового» щоденно в автоматичному режимі за електронними засобами у ДФС України ці дані.

Датчики температури та термоелементи розроблені спеціально для застосування у найважчих умовах. Стандартна комплектація включає з'єднання, що користуються найбільшим попитом, і довжини занурення.

Перелік продуктів включає резистивні датчики для температур до 400 °С і термопари для температур до 800 °С. Обидва типи поставляються з фіксованими замінними вкладишами. Датчики температури Данфосс сертифіковані визнаними атестуючими організаціями, зокрема основними компаніями класифікації морських суден.

1. Повна лінія резистивних датчиків та термопар
2. Багаторічний досвід виробництва апаратури для вимірювання температур
3. Легка адаптація до особливих вимог замовника











4. Високий рівень безпеки

5. Датчики відповідають Директиві EU-EMC 89/336/ЕЕС

З нижче викладеної таблиці 2.3 підходить датчик LM335A оскільки має діапазон робочих вимірювальних температур від -40 до +100, аналоговий вихід, що необхідно для зв'язку з контроллером.

Безконтактні оптичні датчики оборотів або тахометричні перетворювачі забезпечують формування імпульсів, частота повторення яких пропорційна частоті проходження тахометрической мітки, встановленої на елементі (валу) об'єкта, що обертається, через область чутливості датчика.

Таблиця 2.3 – Датчики температури та їх основні характеристики.

 LM235A	Прецизионный темп. датчик	-40 до +125	10 mV/°K	шунт	1	±1	Аналоговый выход	TO-46
 LM26	SOT-23, ±3°C разброс, промышленный термостат	-55 до +110	-11.7 mV/°C	2.7-5.5	0.04	±3	Выход компаратора	SOT-23
 LM26LV	промышленный термостат	-50 до +150		1.6-5.5	0.08	±2.3	Push-pull and open-drain temperature switch outputs	LLP6
 LM27	SOT-23, ±3°C разброс, промышленный термостат	120°C-150°C	-10.82 mV/°C	2.7-5.5	0.04	±3	Выход компаратора	SOT-23
 LM32	двойной цифровой термодатчик с SensorPath™ Bus	-1°C до +125°C		3.0-3.6	0.50	±3	Выход компаратора	TSSOP-14
 LM334	3-выводной регулируемый источник тока	до +70	Ток пропорц. °K	1-40	-	±6	Аналоговый выход	SOIC NARROW, TO 92, TO-46
 LM335	Прецизионный темп. датчик	-40 до +100	10 mV/°K	шунт	1	±1 ±2	Аналоговый выход	SOIC NARROW, TO 92, TO-46
 LM335A	Прецизионный темп. датчик	-40 до +100	10 mV/°K	шунт	1	±1	Аналоговый выход	TO-46
 LM34	Прецизионный темп. датчик Фаренгейта	-32 до +212 °F -40 до +230°F -50 до +300 °F	10 mV/°F	5-30	0.1590, 0.1420	±4 ±3	Аналоговый выход	SOIC NARROW, TO 92
 LM35	Прецизионный темп. датчик	0 до +100 -40 до +110 -55 до +150	10 mV/°C	4-30	0.1410, 0.1160, 0.1330	±2 ±1.5 ±1	Аналоговый выход	SOIC NARROW, TO 220, TO 92, TO-46

BC 401 – безконтактний оптичний датчик обертів, який володіє наступними характеристиками

- Чутливість при $\lambda=940$ нм, $E=1$ мВт/К•мІ: 750 мВ
- Діапазон вимірювання швидкості: 0...20000 об/хв
- Кут огляду: $\pm 20^\circ$
- Відстань до об'єкта, що обертається, від 2 до 15 мм
- Вихідний опір: <500 Ом
- Температурний діапазон: $-20 \dots +70$ °С
- Живлення стандарту ICP
- Напруга живлення: 30 В
- Струм живлення: 3 - 4 мА
- Рівень постійної напруги на виході: 20 В
- Маса (без кабелю): 30 г

3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУ ЗА ДОПОМОГОЮ SCADA SYSTEM

3.1 Створення проекту SCADA для системи автоматизованого управління МГЕС у середовищі Citect

Спочатку необхідно створити всі необхідні умови для роботи програми з контроллером. Щоб програма розуміла дії контролера та могла їх відобразити у своєму середовищі, необхідно встановити зв'язок між ПЛК та Citect.

Спочатку потрібно створити проект, запускаємо провідник Citect SCADA та створюємо проект під назвою «kascad» (рисунок 3.1).

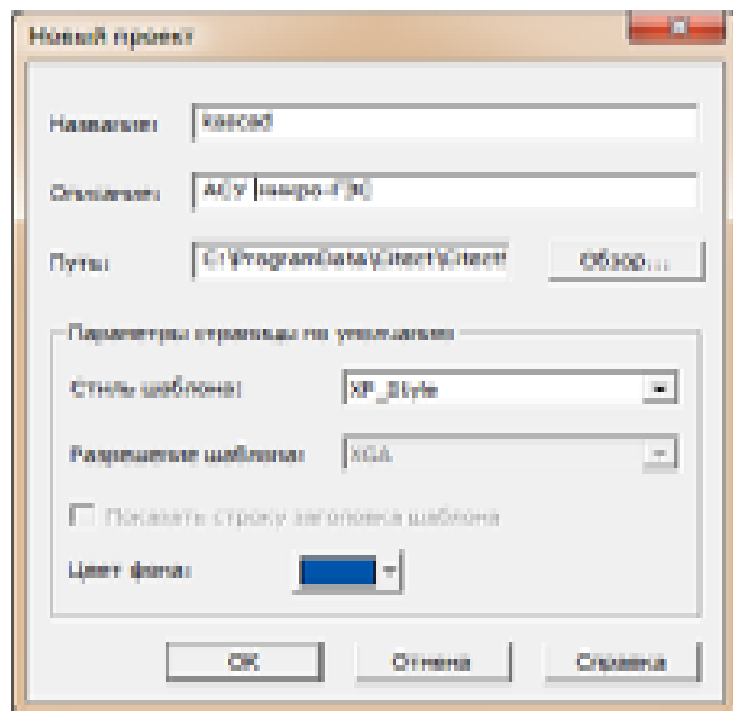


Рисунок 3.1 – Створення проекту

Далі створюємо кластери, сервер вводу/виводу, сервер трендів та алармів (попереджувальних повідомлень) та сервер звітів.

Кластер визначає як і де будуть працювати різні сервери системи (введення-виведення, алармів, трендів) і як вони взаємодіятимуть один з одним. У кожній системі Citect має бути хоч один кластер, і сервер введення-виводу повинен бути з ним пов'язаний (Рисунок 3.2).

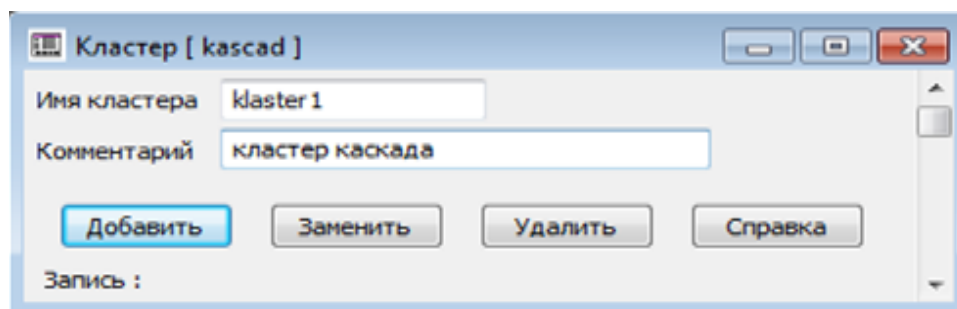


Рисунок 3.2 – Створення кластера

Прописуємо мережеву адресу системи, у нашому випадку комп'ютер працює не в мережі. Тому прописуємо IP-адресу 127.0.0.1. Таким чином, Citect буде звертатися до комп'ютера для отримання даних про проект, це потрібно для подальшого моніторингу системи (рисунок 3.3).

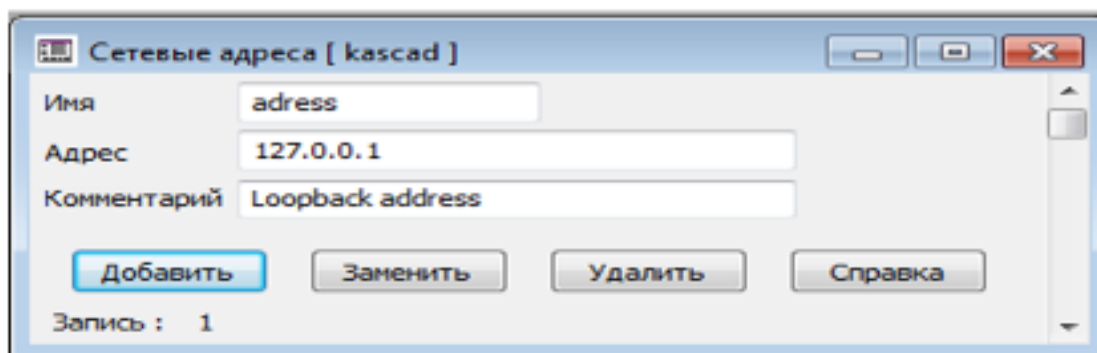


Рисунок 3.3 – Створення мережевої адреси

Після того, як був створений кластер і мережна адреса, можна приступати до створення серверів. Аналогічно створюємо сервери алармів, трендів і звітів. Для всіх їх необхідно вибрати властивість «Primary». Заповнені форми представлені на рисунках 3.4-3.7.

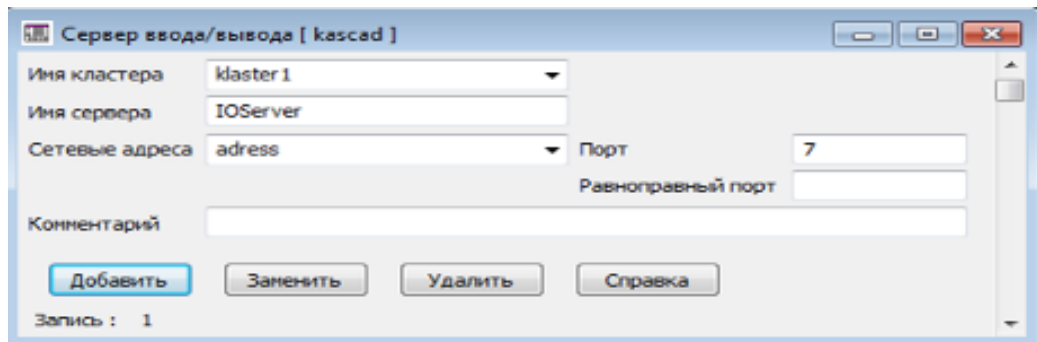


Рисунок 3.4 – Створення сервера ввода-вывода

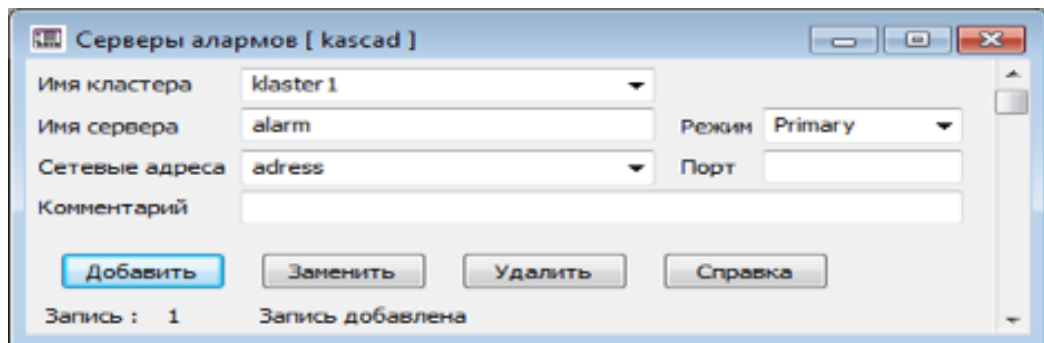


Рисунок 3.5 – Створення сервера алармів

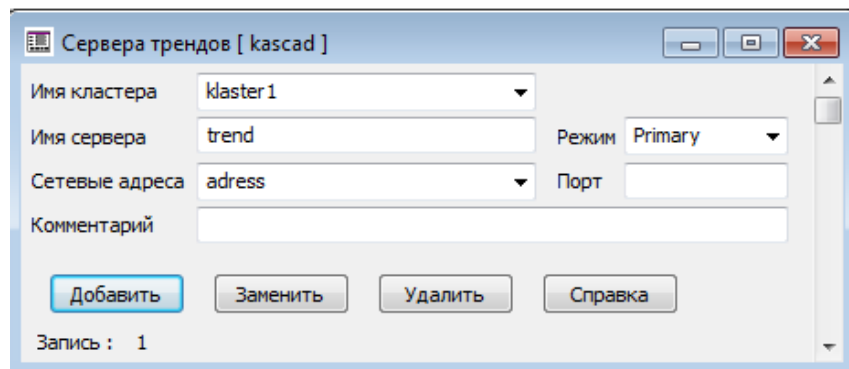


Рисунок 3.6 – Створення сервера трендів

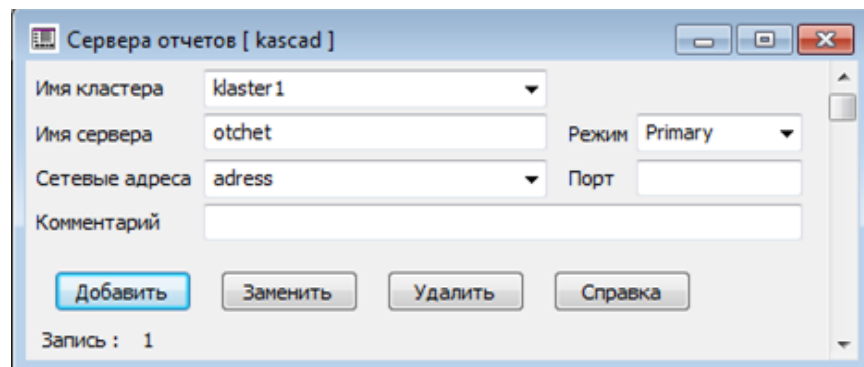


Рисунок 3.7 – Створення сервера звітів.

Тепер створюємо зв'язки із контролером. Для цього запускаємо «Майстер налаштування параметрів зв'язку», який допоможе налаштувати систему (рисунок 3.8).

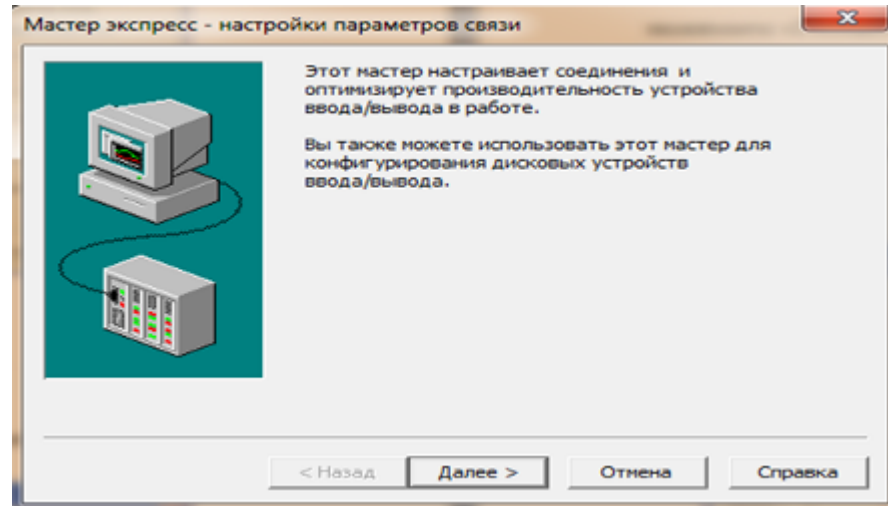


Рисунок 3.8 – Запуск Майстра налаштування параметрів зв'язку

У наступному вікні можна вибрати або створити новий сервер вводу-виводу. Вибираємо використовувати існуючий сервер вводу-виводу. І натискаємо «Далі» (рисунок 3.9).

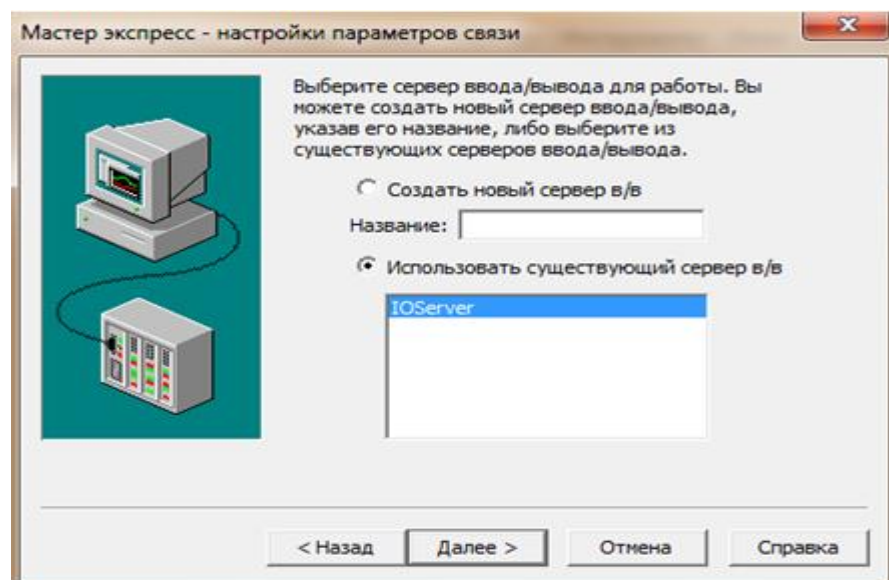


Рисунок 3.9 – Вибір сервера вводу-виводу

На наступному екрані можна вибрати або створити новий пристрій вводу-виводу. Створюємо пристрій IODev і натискаємо «Далі» (рисунок 3.10).

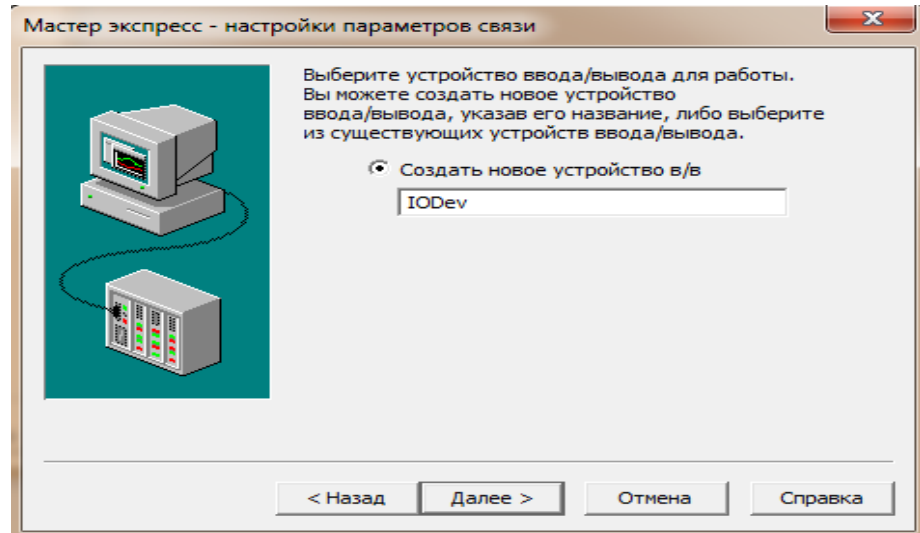


Рисунок 3.10 – Створення нового пристрою вводу-виводу

Далі вибираємо тип пристрою введення-виводу. Це може бути або "Зовнішній пристрій введення-виводу" (ПЛК, ПЧ, витратомір тощо), або віртуальний пристрій у пам'яті комп'ютера, який використовується для імітації реальних пристроїв (рисунок 3.11).

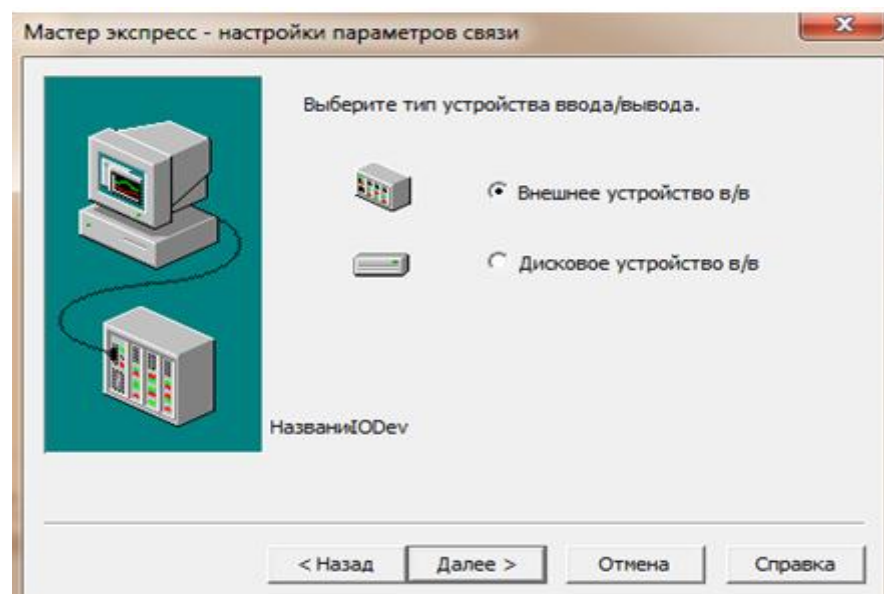


Рисунок 3.11 – Тип пристрою вводу-виводу

Потім вибираємо виробника пристрою модель та спосіб підключення. Виробник – Mitsubishi, модель – Melsec-FX3U, тип підключення – Serial (Point to Point) (COM порт) (рисунок 3.12).

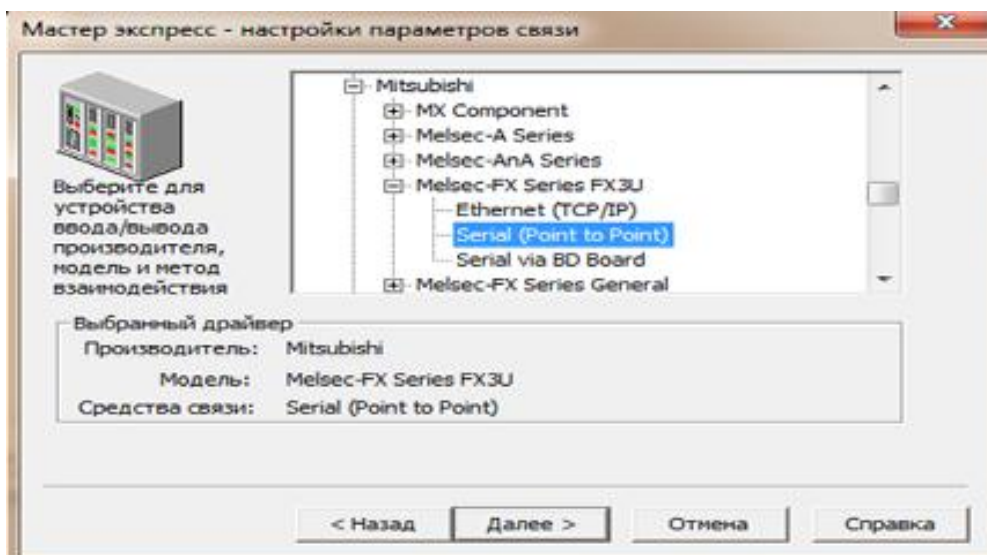


Рисунок 3.12 – Вибір драйвера для підключення до ПЛК.

Далі система попросить вказати адресу пристрою, в даному випадку нічого не змінюємо, натискаємо «Далі» (рисунок 3.13).

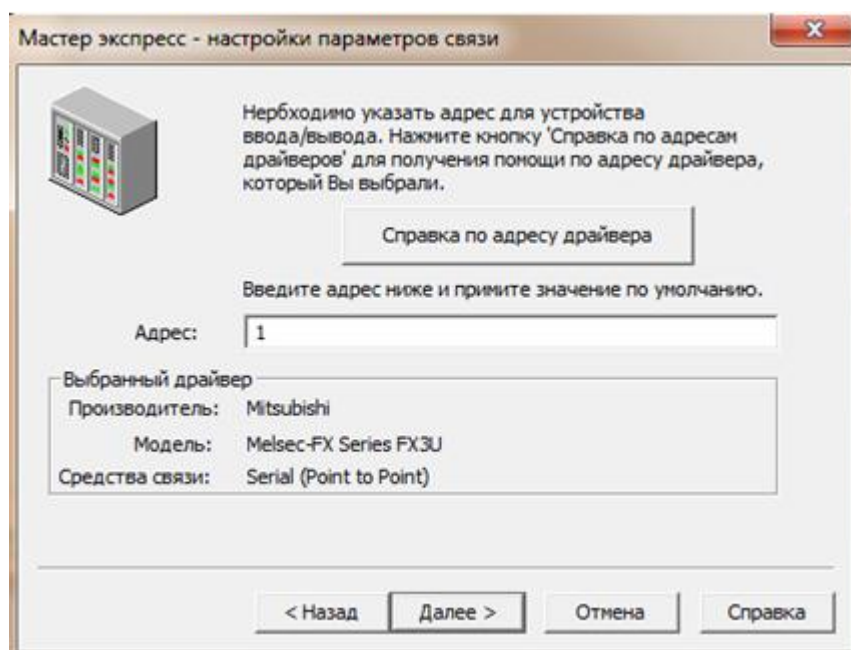


Рисунок 3.13 – Адреса пристрою

Далі слідує налаштування підключення пристрою через модем. В даному випадку не використовується, натискаємо «Далі» (рисунок 3.14).

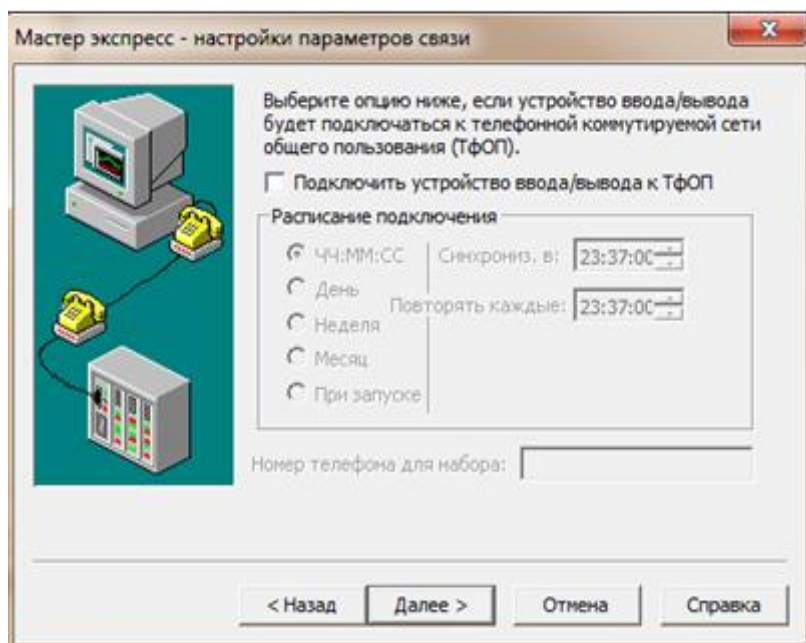


Рисунок 3.14 – Налаштування підключення модему

Далі система запропонує вибрати СОМ порт, до якого підключається ПЛК. В даному випадку це СОМ 3. Насправді номер СОМ порту може бути іншим (рисунок 3.15).

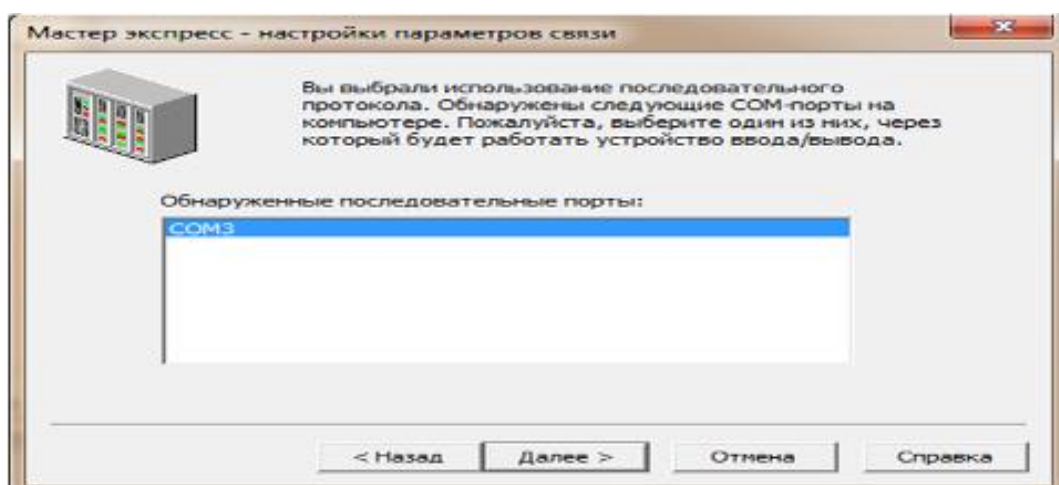


Рисунок 3.15 – Вибір СОМ порту для підключення ПЛК

Контролер може підключатися за допомогою кабелю програмування SC-09 (з перетворювачем RS232-RS422) через порт програмування до COM порту комп'ютера. Або за допомогою простого COM кабелю через модуль розширення RS232 BD до COM порту комп'ютера.

Далі вибираємо спосіб підключення до зовнішньої бази даних тегів. Просто натискаємо "Далі" (рисунки 3.16 – 3.17)

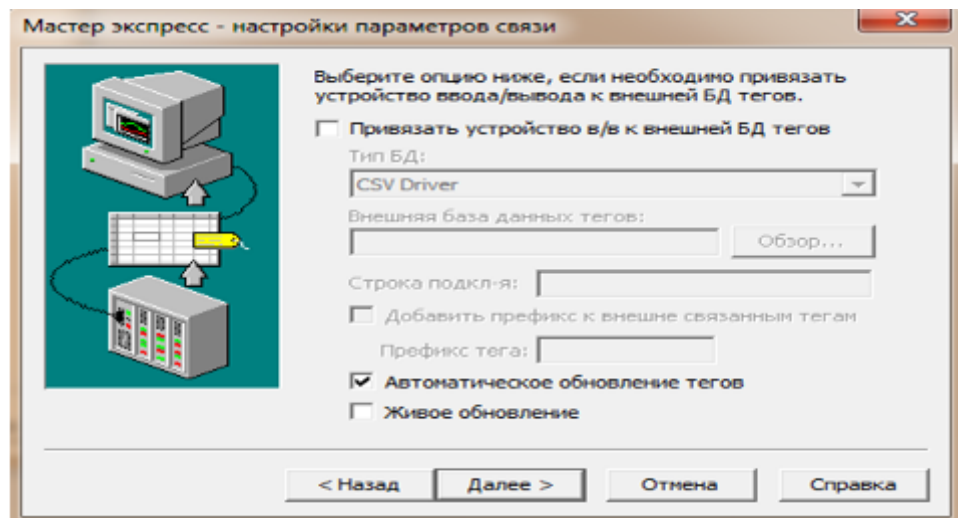


Рисунок 3.16 – Зв'язок тегів із зовнішньою базою даних

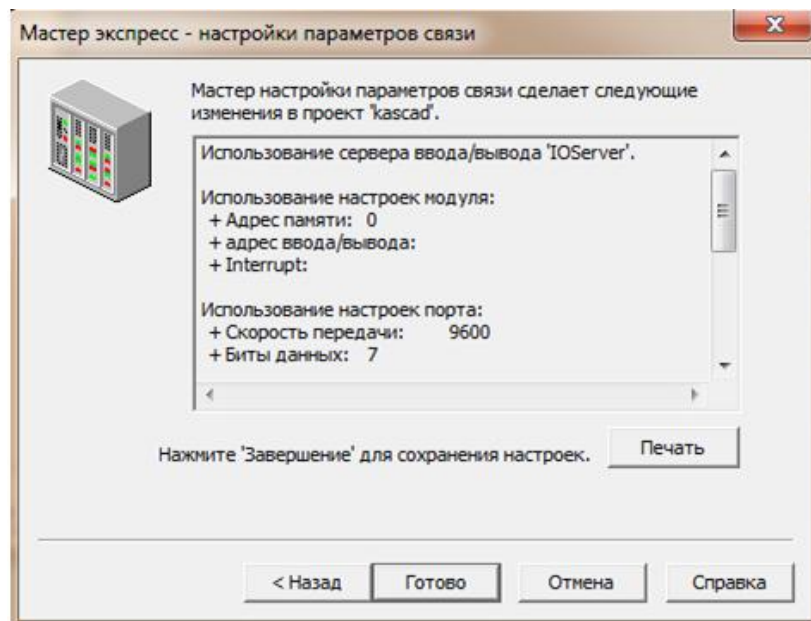


Рисунок 3.17 – Підтвердження виконання налаштування пристрою зв'язку

На завершальному етапі перевіряємо виконані налаштування та натискаємо «Готово».

Після того, як було створено зв'язок програми з обладнанням, приступаємо до написання тегів. Теги допомагають Citect розпізнавати дії контролера й надалі на цих тегах будуватиметься візуалізація проекту (Рисунок 3.18). Для коректної роботи візуалізації вказуються всі необхідні дані. Дуже важливо вказувати типи даних для змінних тегів такі самі, що й у контролера, інакше програма працюватиме не коректно. Усі теги та їх типи даних будуть вказані та описані у наступному розділі.

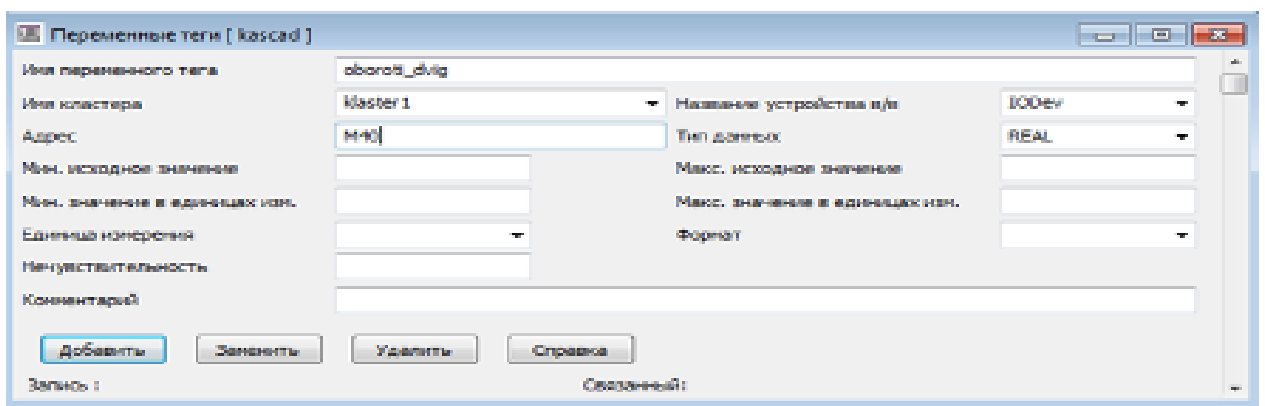


Рисунок 3.18 – Позначення тегів

Після того, як всі необхідні теги були записані, можна розпочати створення графічного образу проекту. Це дуже важлива частина проекту, оскільки від ступеня інформативності головного робочого вікна залежить, наскільки швидко і зрозуміло, засвоюватиметься інформація оператором.

Citect має велику бібліотеку образів, які можна використовувати у проекті. Якщо ж необхідних образів немає, програма дозволяє створювати їх самому за допомогою вбудованого редактора. Кожен образ має безліч властивостей, які у процесі створення проекту можна змінювати під необхідне завдання, роблячи ці образи унікальними (рисунок 3.19).

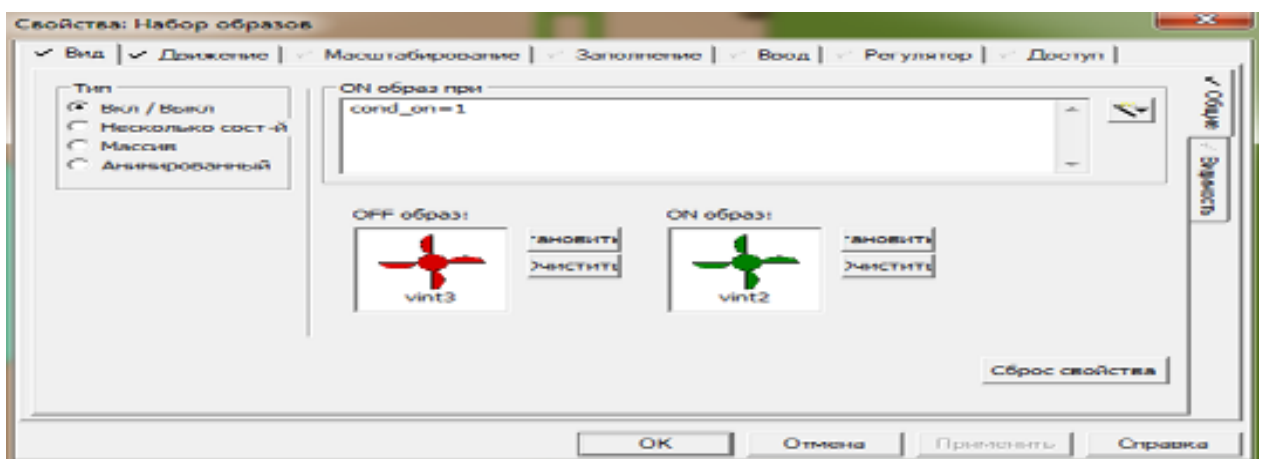
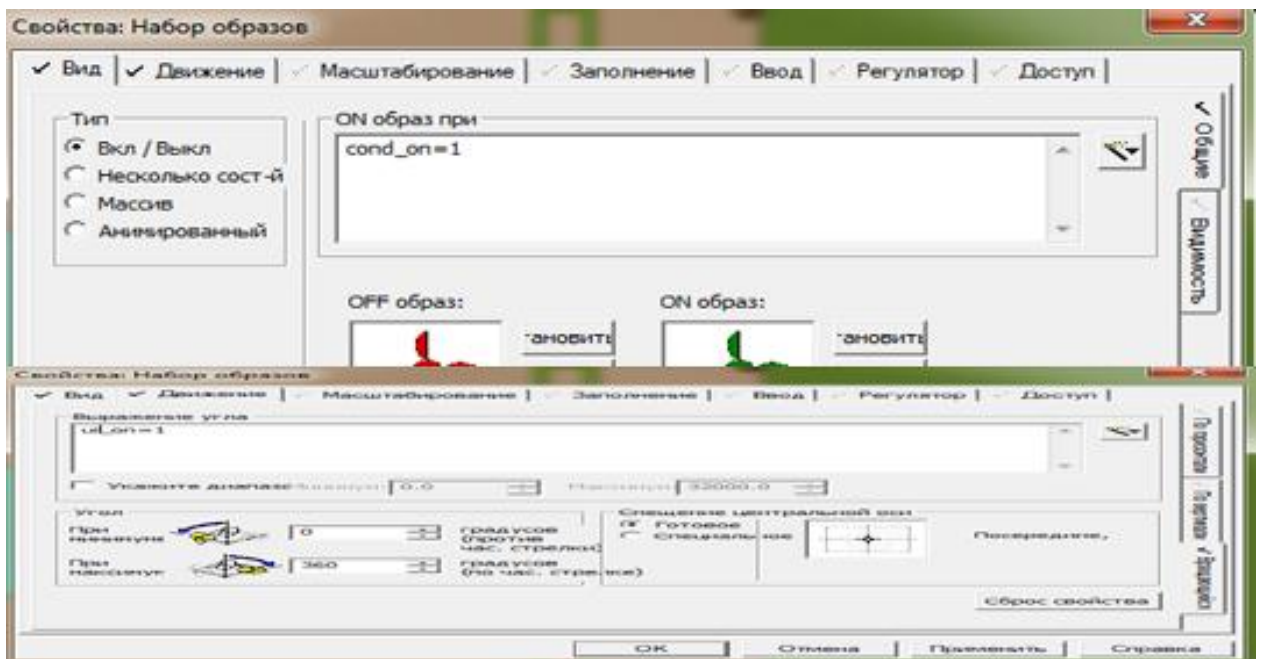


Рисунок 3.19 – Вікна властивостей образів

Щоб образ реагував на зміни в контролері, необхідно прописати у властивостях образу тег або умову тегів, при якому образ буде змінюватися. Образи можуть зникати, пересуватися, заповнюватися, обертатися тощо, залежно від завдання.

Тепер створюємо та прописуємо аларми – тривожні повідомлення. Аларми необхідні для оповіщення оператора про збої в системі. Якщо

контрольований параметр виходить з робочого діапазону, система видає тривожне повідомлення (рисунок 3.20).

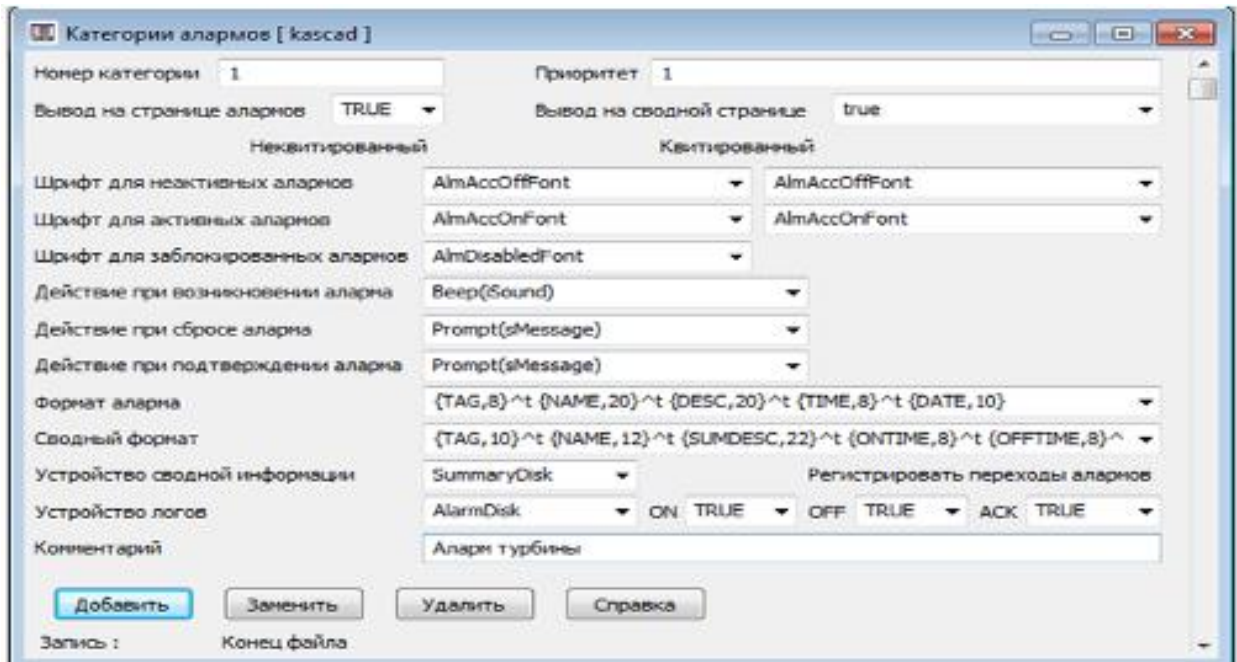


Рисунок 3.20 – Створення алярмів (аварійних ситуацій)

Після опису всіх аварійних ситуацій потрібно додати до проекту теги тренду, які відобразатимуть контрольовані параметри у вигляді графіків. Це дуже зручно для складання звітів про вироблену мікро-ГЕС електроенергію.

Для того щоб викликати форму параметрів тегів тренду, потрібно в редакторі проектів Citect вибрати команду Тегі-Тегі тренду. Після появи форми натисніть клавішу F2, щоб відкрити розширені налаштування (Рисунок 3.21).

Після опису всіх алармів потрібно додати до проекту теги тренду, які відобразатимуть контрольовані параметри у вигляді графіків. Це дуже зручно для складання звітів про вироблену мікро-ГЕС електроенергію.

Для того щоб викликати форму параметрів тегів тренду, потрібно в редакторі проектів Citect вибрати команду Тегі-Тегі тренду. Після появи форми натисніть клавішу F2, щоб відкрити розширені налаштування (рисунок 3.21).

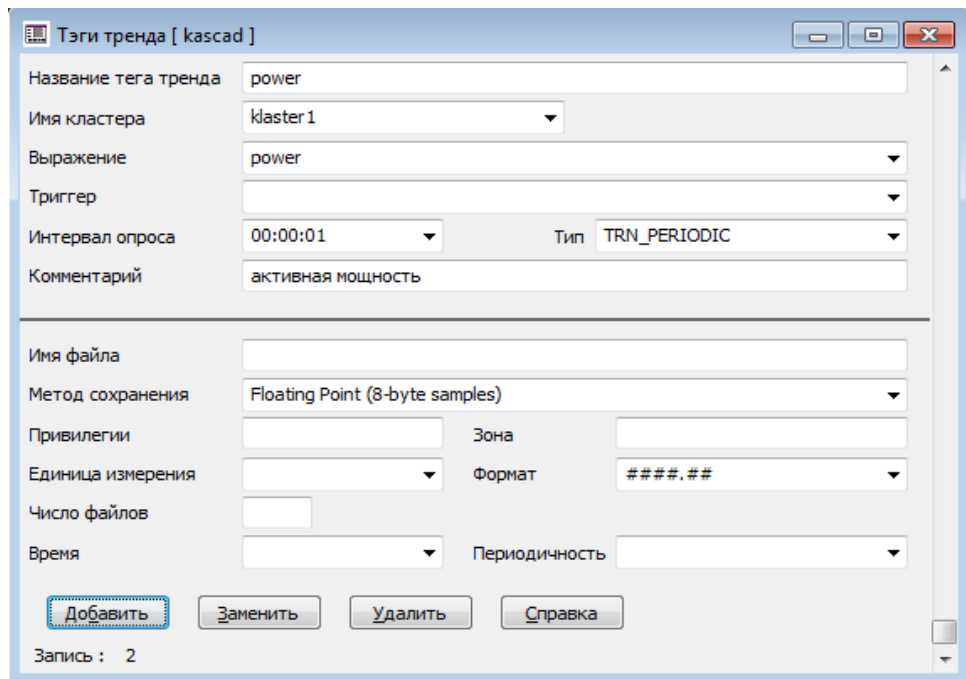


Рисунок 3.21 параметры тега тренду

Після всіх виконаних дій ми отримуємо зображення всіх необхідних процесів для оператора (рисунок 3.22).

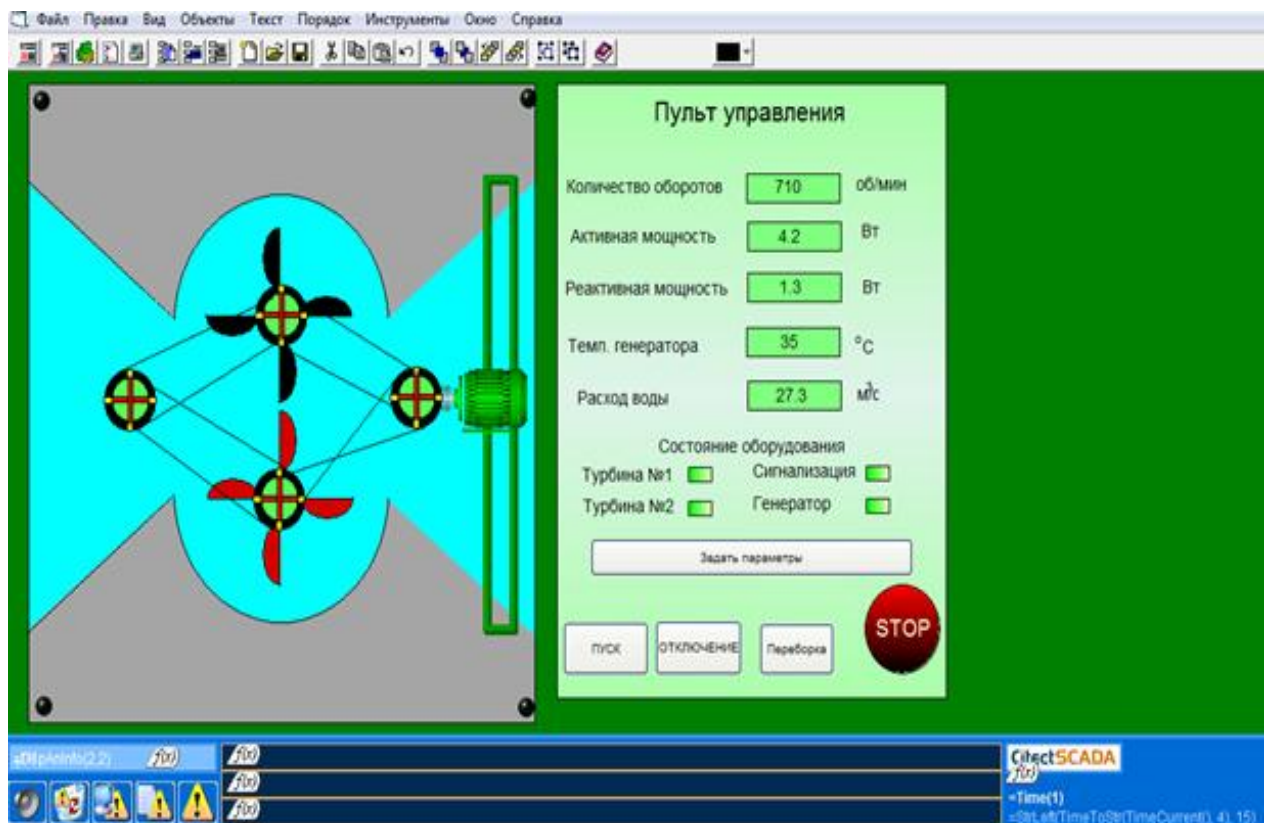


Рисунок 3.22 – Вікно оператора

Після запуску програми у оператора з'являється вікно із вкладками кожної з мікро-ГЕС з інформацією та даними про них, які він контролює. Оператор може контролювати параметри як однієї ГЕС так і цілого каскаду. Оператор зможе здійснювати контроль всього встановленого обладнання кожної мікро-ГЕС. У цьому вікні відображається стан обладнання, задані параметри та контрольовані параметри. Оператор може задавати параметри роботи станції вручну, якщо оператор не змінює параметри, то станція працюватиме за записаною в ПЛК програмі, де вже враховуватимуться всі необхідні параметри для коректної роботи станції.

Розроблена автоматична система управління виконує такі завдання:

- зчитує та задає кількість оборотів турбіни;
- відображає активну та реактивну потужність;
- відображає витрату води;
- відображає рівень води;
- сигналізує про появу сторонніх людей на об'єкті;
- у випадки аварії закриває перебирання тощо.

Вся необхідна інформація зберігається в окремий документ і додатково відображається у вікні тренда у вигляді графіків (рисунок 3.23).

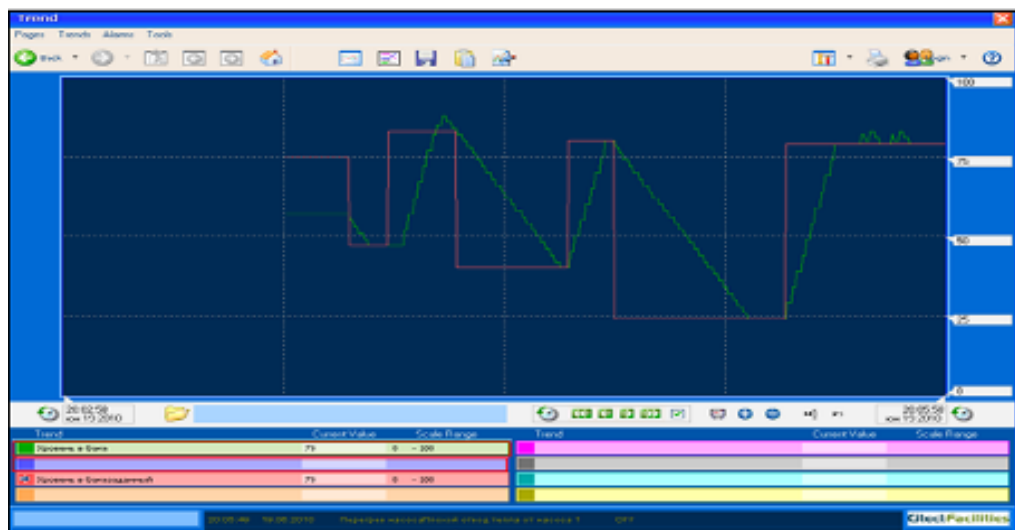


Рисунок 3.23 Екран тренду

3.2. Програмування ПЛК Siemens SIMATIC S7-300 за допомогою програми STEP 7

STEP 7 V5.6 – це базовий пакет програм, що включає свій склад весь спектр інструментальних засобів, необхідних для конфігурування апаратури та промислових мереж, налаштування параметрів, програмування, діагностики та обслуговування систем управління, побудованих на основі програмованих контролерів SIMATIC S7-300/S7-400/ WinAC. Відмінною особливістю пакету STEP 7 є можливість розробки комплексних проектів автоматизації, що базуються на використанні багатьох програмованих контролерів, промислових комп'ютерів, пристроїв та систем людино-машинного інтерфейсу, пристроїв розподіленого введення-виведення, мережових структур промислового зв'язку. Обмеження на розробку таких проектів накладаються лише функціональними можливостями програматорів чи комп'ютерів. При необхідності STEP 7 може доповнюватися інструментальними засобами проектування, які інтегруються в середу SIMATIC Manager і значно спрощують розробку складних проектів.

STEP 7 поставлятиметься у вигляді самостійного пакету програм і може встановлюватися на комп'ютери/програматори, що працюють під керуванням 64-розрядних операційних систем:

- Windows 7 SP1 Ultimate/Professional/Enterprise;
- Windows 10 Pro/Enterprise;
- Windows Server 2008 R2 SP1/2012 R2/2016.

Для підключення програмованих контролерів комп'ютер повинен бути оснащений MPI/PROFIBUS картою CP 5612, CP 5622, CP 5711 або PC адаптером USB A2 та з'єднувальним кабелем MPI або PROFIBUS або стандартний інтерфейс Ethernet RJ45.

STEP 7 містить повний спектр інструментальних засобів, необхідних для виконання всіх етапів розробки проекту, а також наступної експлуатації

системи управління:

- SIMATIC Manager – ядро пакету STEP 7, що дозволяє виконувати управління всіма складовими частинами проекту, здійснювати швидкий пошук необхідних компонентів, здійснювати запуск необхідних інструментальних засобів.

Symbol Editor – редактор символічних імен, типів даних, введення коментарів і т. д. Символьні імена доступні в всіх додатках.

Hardware Configuration - для програмного конфігурування апаратури системи автоматизації та налаштування параметрів всіх модулів. Виконує автоматичну перевірку коректності всіх даних, що вводяться.

Communication – для конфігурування систем промислового зв'язку на основі мереж MPI, IO-Link, AS-Interface, PROFIBUS, PROFINET чи Industrial Ethernet.

System diagnosis - набір інструментальних засобів для діагностики та швидкого пошуку несправностей у компонентах систем автоматизації та промислового зв'язку.

Information functions - для швидкого огляду даних центрального процесора, відстеження ходу виконання програми, а також аналізу причин виникнення помилок.

Редактори мов програмування STL, LAD та FBD.

Інструментальні засоби документування проектів.

Для розробки програм STEP7 дозволяє використовувати мови програмування STL (Statement List – список інструкцій); LAD (Ladder Diagram – релейно-контактний план) та FBD (Function Block Diagram – функціональний план), що відповідають вимогам міжнародного стандарту ІЕС 61131-3. Більш того, для спеціальних завдань можуть використовуватись додаткові мови програмування високого рівня або технологічно орієнтовані мови.

Програми STEP 7 мають розгалужену структуру, що базується на використанні програмних блоків та даних.

У загальному випадку програма STEP 7 може містити організаційні (OB), функціональні (FB) та системні функціональні (SFB) блоки, функції (FC) та системні функції (SFC), блоки даних (DB) та системні блоки даних (SDB).

SFB, SFC і SDB підтримуються операційною системою центрального процесора і не вимагають для свого розміщення певного обсягу в завантажуваній пам'яті контролера. В межах одного програмного блоку можуть бути використані інші блоки. Це дозволяє покращувати структуру програм, підвищувати їхню наочність і читаність, забезпечувати зручність їх модифікації, виконувати перенесення готових блоків з однієї програми до іншої (рисунок 3.24).

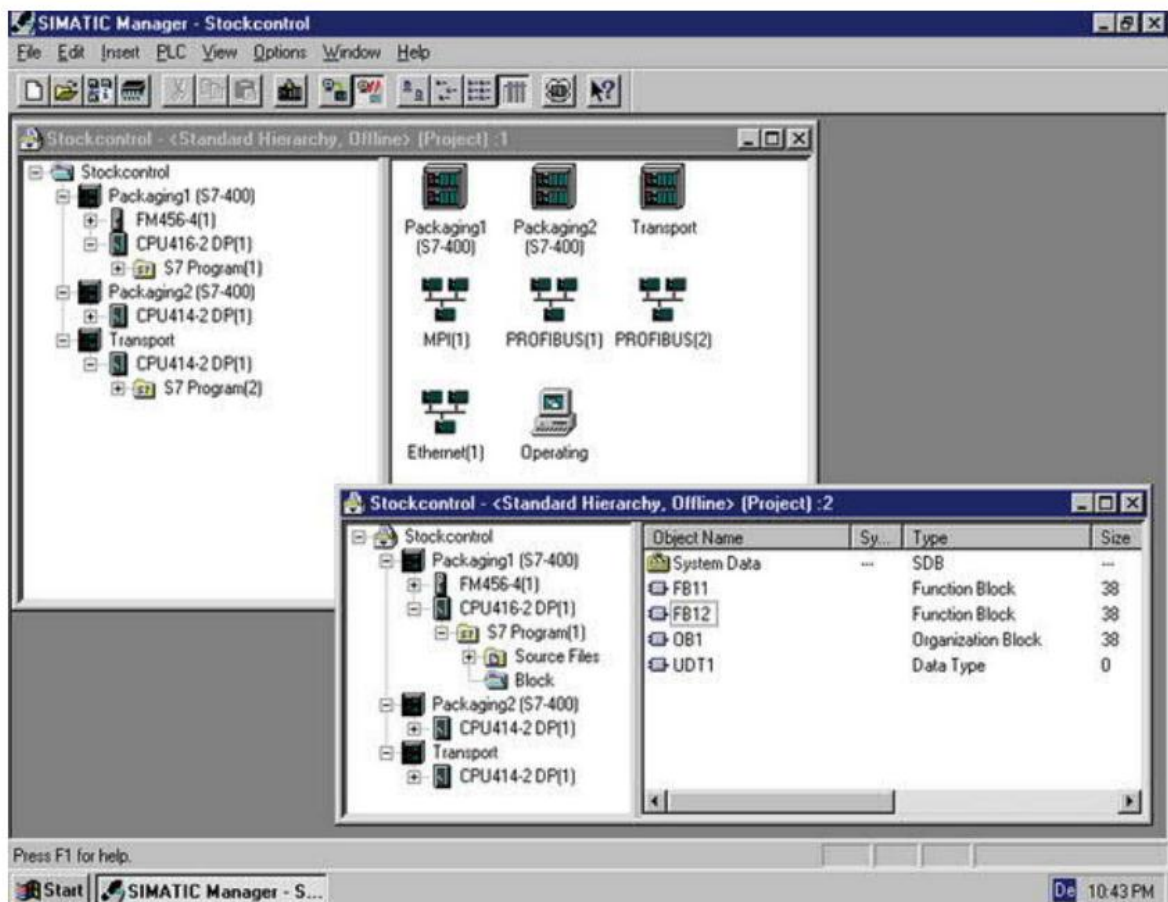


Рисунок 3.24– Програмний продукт STEP 7

STEP 7 забезпечує підтримку потужної системи команд, що дозволяє виконувати логічну та арифметичну обробку інформації, керувати ходом виконання програми та пересиланням даних, роботою таймерів та лічильників, здійснювати перетворення форматів даних, виконувати безліч інших операцій.

Пакет S7-SCL V5.6 (Structured Control Language – структурована мова управління) – це паскалеподібна мова програмування систем автоматизації SIMATIC S7-300 (з CPU 314 або вище) / S7-400 / WinAC. Він має сертифікат PLC Open Base Level та відповідає вимогам міжнародного стандарту EN 61131-3. Пакет входить до складу програмного забезпечення STEP 7 Professional та може замовлятися як самостійний програмний продукт. Для його використання необхідна наявність програмного забезпечення STEP 7 від V5.3 та вище Застосування S7-SCL дозволяє:

- здійснювати просту та швидко розробку програм для рішення комплексних систем автоматичного керування.

- отримувати якісні виконувані програми для систем автоматизації SIMATIC.

- проводити швидке тестування та налагодження програм, що розробляються.

Підтримувані функції:

- вбудований інтерфейс для роботи з редактором, компілятором та відладчиком.

- символний відладчик зв'язків.

- елементи мови високого рівня: команди організації циклів, умовних переходів, розподілу тощо.

- мовні розширення, типові програмування систем автоматизації. Наприклад, адресація входів та виходів, запуск та опитування таймерів та лічильників тощо.

- елементарні та визначені користувачем типи даних, символні імена

та коментарі.

- генерування коду програми, що виконується.

- відображення перехресних посилань та тестування програми мовою високого рівня.

- зв'язок із системою підготовки технічної документації DOCPRO.

Пакет S7-GRAPH V5.6 відповідає вимогам міжнародного стандарту IEC 61131-2 та має сертифікат PLC Open Base Level містить набір інструментальних засобів графічного програмування систем автоматизації SIMATIC S7-300/S7-400/WinAC.

Програми S7-GRAPH відрізняються високим рівнем наочності та дозволяють виконувати швидкий пошук помилок, за рахунок чого суттєво знижуються часи простою виробництва.

Програма розробляється у вигляді кроків та переходів між ними. За допомогою переходів різні кроки програми можуть збиратися у послідовні чи паралельні ланцюги.

Кожен крок програми S7-GRAPH є прямокутником, кожен перехід лінією. Крок програми визначає необхідний порядок взаємодії устаткування виконання цієї технологічної операції. Переходи містять умови, і під час яких можливий перехід від одного кроку до іншого.

Для кожного переходу можуть бути визначені умови включення блокувань та стеження. Увімкнення блокування призводить до заборони виконання тих чи інших дій. Умови стеження дозволяють виявляти помилки під час виконання програми.

Програмування умов виконується мовами LAD або FBD.

Підтримувані функції:

- перегляд діаграм усієї керуючої структури, з відображенням або без відображення найменувань кроків у детальному чи повному вигляді.

- гнучка система визначення послідовності виконання кроків з використанням умовних та безумовних переходів, розгалуженнями,

активацією та деактивацією кроків тощо.

- інтерактивний режим: відображення активних кроків, умов блокування та стеження, а також виконаних дій.

- управління ходом виконання програми: вибіркоче виконання окремого кроку чи зазначеної послідовності кроків.

- оптимізація обсягів необхідної пам'яті: експорт програми S7-GRAPH до програмних блоків STEP 7 для скорочення обсягів необхідної пам'яті, що завантажується.

- виконання керуючих послідовностей може бути синхронізовано із станами об'єкта управління.

- зв'язок із системою підготовки технічної документації DOCPRO.

Пакет S7-PLCSIM V5.4 імітує роботу програмованих контролерів SIMATIC S7-300/S7-400/ WinAC на програматорі/комп'ютері та призначений для налагодження програм користувача без наявності реальної апаратури керування. Це дозволяє виявляти програмні помилки на ранніх стадіях реалізації проекту, підвищувати якість програм, прискорювати та здешевити виконання пуско-налагоджувальних робіт. S7-PLCSIM 96 Інформація про продукти 2020 © ТОВ Сіменс 2020 може бути використаний для налагодження програм, написаних у STEP 7 (STL, LAD, FBD), S7-GRAPH, S7-HiGraph, S7-SCL.

S7-PLCSIM імітує взаємодію центрального процесора SIMATIC S7/ WinAC з областю відображенням процесу.

Для виконання налагодження програма, що тестується, завантажується в емульований контролер. Основна частина підпрограми опитування однієї з ГЕС наведена у Додатку А.

При опитуванні блоку KUS відбувається збір даних з усіх датчиків, виходячи із показань, програма формує значення необхідні для стабільної роботи ГЕС. Усі значення передаються через окремі блоки SCADA, де вони вже виводяться у зрозумілій та зручній формі для оператора.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розроблено базовий проект системи автоматизованого управління мікро-ГЕС, який можна використати та адаптувати для реально діючих МГЕС. Основна ідея проекту полягає в створенні єдиної САУ, яка дозволяє консолідувати інформацію та керувати територіально розподіленими МГЕС з одного диспетчерського пункту і надавати можливість працювати кожній МГЕС в автономному режимі. В роботі вирішені всі поставлені задачі.

1. Проаналізовано перспективність побудови та експлуатації каскадів МГЕС з точок зору розвитку електроенергетики країни та наявності відповідних ресурсів, в результаті чого обґрунтовано доцільності у розвитку проектів малої гідроенергетики.

2. На основі проведеного аналізу визначено основні труднощі у створенні ефективних систем управління каскадом МГЕС та запропоновано шляхи їх подолання.

3. Під час досліджень МГЕС визначено основні завдання та функції САУ каскадів МГЕС.

4. Розроблено загальну трьохрівневу архітектуру САУ каскадом МГЕС та алгоритм її роботи. Розроблено структурні схеми САУ кожного рівня, описано їх функції та задачі.

5. Проаналізовано та обґрунтувати вибір технічного обладнання для реалізації САУ каскадом МГЕС.

6. Розроблено програмне забезпечення на основі SCADA-систем в середовищі Citect.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Celso Penche. Layman's Handbook On How To Develop A Small Hydro Site (Second Edition). – DG XVII European Commision 200 rue de la Loi B-1049 Bruselas Belgica. – 1998. – 266 p.
2. Smail Khennas, Andrew Barnett. Best Practices For Sustainable Development Of Micro Hydro Power In Developing Countries (Final synthesis report). – The Department for International Development, UK, The World Bank. – 2000. – 119 p.
3. Анализ состояния и перспективы развития малой гидроэнергетики в Украине / Ю. Вихарев, А. Карамушка, А. Никиторович, В. Рябошапка // Энергетическая политика Украины. – 2005. – № 6. – С. 90 – 96.
4. Осадчук В. А. Современные проблемы гидроэнергетики // Энергетика и электрификация. – 2007. – № 1. – С. 13 – 16.
5. Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Никиторович О. В. Повышение эффективности эксплуатации малых ГЭС средствами автоматического управления // Гидроэнергетика Украины. – 2007. – № 3. – С. 38 – 41.
6. Компенсація реактивної потужності асинхронних генераторів на малих гідроелектростанціях [Електроннийресурс] / Лежнюк П. Д., Нікіторович О. В., Жан-П'єр Нгома // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – №2. – Режим доступу до журналу http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/2008-2.files/uk/08lpdhps_uk.pdf
7. В. Вовчак, О. Тесленко, О. Самченко. Мала гідроенергетика України під ред. С. Єрмілова. Інститут проблем екології та енергозбереження. у 2 томах, – К., 2018. — Т. I. Аналітичний огляд., — 181 с.
8. В. Вовчак, О. Тесленко, О. Самченко. Мала гідроенергетика України під ред. С. Єрмілова. Інститут проблем екології та енергозбереження. у 2 томах, – К., 2018. — Т. II Технологічні особливості малих ГЕС, — 145 с.

9. Регулирование речного стока: учебное пособие/О.Г. Савичев, С.Ю. Краснощёков, Н.Г. Наливайко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 114 с.
10. The British Hydropower Association. A GUIDE TO UK MINI-HYDRO DEVELOPMENTS.
11. Станкевич-Волосянчук О. І., Лукша О. В. СТОП масовому будівництву міні ГЕС у верхів'ї річок Карпат (хроніки та аналіз адвокаційної кампанії у Закарпатті) – Ужгород: Поліграфцентр «Ліра», 2013. – 84 с.
12. Технічний звіт з оцінки потенціалу відновлюваної енергетики в Україні: Малі ГЕС. ПРОГРАМА ФІНАНСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ (ПРОГРАМА USELF).
13. Гидроэлектростанции малой мощности. Учебное пособие/ Под ред. В.В. Елистратова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 432 с.
14. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 344 с.
15. Поплавкові датчики рівня
16. Корчемний М.О., Клендій П.Б., Потапенко М.В. Теоретичні основи автоматики: Навч. Посібн., – Тернопіль: навчальна книга – Богдан, 2011. – 304с.
17. M. Marwala, J. Kolodziej. Computational Intelligence for Optimization of Power Systems. – 2019 DOI: [10.1109/ISGT-Asia.2019.8881774](https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2019.8881774)
18. J. M. Mendel, R. Isermann. "The Past, Present, and Future of Control in Engineering Practice" 2018.
https://www.academia.edu/69204068/Enhancing_Undergraduate_Education_in_Control_Engineering
19. Emil Kraft, Marianna Russo, Dogan Keles, Stochastic optimization of trading strategies in sequential electricity markets / European Journal of Operational Research Volume 308, Issue 1, 1 July 2023, Pages 400-421

20. Автоматизація виробничих процесів. Технічні засоби автоматизації. Навчально-методичний посібник до практичних робіт для здобувачів освітнього ступенів «бакалавр» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» та 18 «Виробництво та технології» усіх форм навчання [Електронний ресурс] / [Упоряд. В.В. Тичков, В.Я. Гальченко, Р.В. Трембовецька, К.В. Базіло]; Мво освіти и науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. - Черкаси: ЧДТУ, 2020. - 321 с.

21. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Перетворювачі та пристрої виміральної техніки» для студентів всіх форм навчання спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» відділу Інфокомунікацій та інженерії. / Уклад.: О.Д. Архелюк – Чернівці.: ЧНУ імені Юрія Федьковича 2021. – 51 с.

22. Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів: навч. посіб. / Ю.І. Пиндус, Р.Р. Заверуха. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – 209 с.

23. Кангин, В. В. Разработка SCADA-систем : учебное пособие / В. В. Кангин, М. В. Кангин, Д. Н. Ямолдинов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 564 с.

24. Пупена О.М., П88 Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.

25. ЛР2 Vijeo Citect:Знайомство з середовищем розробки SCADA Vijeo Citect. Створення змінних реального часу для проекту. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://edu.asu.in.ua/mod/book/view.php?id=76&chapterid=92>

26. Технології інтеграції SCADA/HMI з іншими системами: [Електр. ресурс] Режим доступу <http://edu.asu.in.ua/mod/book/view.php?id=108>

27. КСК. Автоматизація: Програмне забезпечення Citect Scada [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kck.ua/dir/asutp/scada.html>

ДОДАТОК А

Програми «Опитування обладнання та задання параметрів роботи»

SIMATIC Gres\SIMATIC 05/28/2012 09:48:10 AM
 300 Station\CPU313 C-2 DP(1)\...\DB3 - <offline>

DB3 - <offline> - Declaration view
 "Programm_DB3"
 Global data block DB 3
Name: **Family:**
Author: **Version:** 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 05/25/2012 09:45:31 AM
Interface: 05/25/2012 09:45:31 AM
Lengths (block/logic/data): 00340 00172 00000

Block: DB3

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	x1	ARRAY[1..5]		
*4.0		REAL		
+20.0	y1	ARRAY[1..5]		
*4.0		REAL		
+40.0	Xin	REAL	0.000000e+000	
+44.0	X_param	REAL	0.000000e+000	
+48.0	kus	REAL	0.000000e+000	
+52.0	Ti	TIME	T#0MS	
+56.0	del_n	REAL	0.000000e+000	
+60.0	del_F_water	REAL	0.000000e+000	
+64.0	n_raschet	REAL	0.000000e+000	
+68.0	Rasch_set_n	REAL	0.000000e+000	
+72.0	x2	ARRAY[1..5]		
*4.0		REAL		
+92.0	y2	ARRAY[1..5]		
*4.0		REAL		
+112.0	Xin2	REAL	0.000000e+000	
+116.0	x3	ARRAY[1..5]		
*4.0		REAL		
+136.0	y3	ARRAY[1..5]		
*4.0		REAL		
+156.0	Xin3	REAL	0.000000e+000	
+160.0	L_max	DINT	L#0	
+164.0	random	DINT	L#0	
+168.0	random_F	REAL	0.000000e+000	
=172.0		END_STRUCT		

SIMATIC Gres\SIMATIC 05/28/2012 09:48:13 AM
 300 Station\CPU313 C-2 DP(1)\...\SFC64 - <offline>

SFC64 - <offline>
 "TIME_TCK" Read the System Time
Name: TIME_TCK **Family:** CLK_FUNC
Author: SIMATIC **Version:** 1.0
Block version: 2
Time stamp Code: 11/02/1994 11:21:12 AM
Interface: 11/02/1994 11:21:12 AM
Lengths (block/logic/data): 00094 00002 00000

Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
OUT		0.0	
IN_OUT		0.0	

Block: SFC64

DB2 - <offline> - Declaration view

"Input_param"
Global data block DB 2
Name: Family:
Author: Version: 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 05/24/2012 10:58:48 PM
Interface: 05/24/2012 10:58:48 PM
Lengths (block/logic/data): 00118 00020 00000

Block: DB2

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	F_Water	REAL	0.000000e+000	
+4.0	n_oborot	REAL	0.000000e+000	
+8.0	N_akt	REAL	0.000000e+000	
+12.0	Q_reakt	REAL	0.000000e+000	
+16.0	Set_n	REAL	0.000000e+000	
-20.0		END_STRUCT		

DB1 - <offline> - Declaration view

"Kus_db"
Global data block DB 1
Name: Family:
Author: Version: 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 05/24/2012 10:08:18 PM
Interface: 05/24/2012 10:08:18 PM
Lengths (block/logic/data): 00170 00056 00000

Block: DB1

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	Nul	REAL	0.000000e+000	
+4.0	Xin	REAL	0.000000e+000	
+8.0	x	ARRAY[1..5]		
*4.0		REAL		
+28.0	y	ARRAY[1..5]		
*4.0		REAL		
+48.0	KUS	REAL	0.000000e+000	
+52.0	x_par	REAL	0.000000e+000	
-56.0		END_STRUCT		

FC3 - <offline>

"Random"

Name:
Author:
Time stamp Code:
Interface:
Lengths (block/logic/data):

Family:
Version: 0.1
Block version: 2

05/25/2012 09:34:22 AM
 05/25/2012 09:18:59 AM

Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
OUT		0.0	
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
tick	Time	0.0	
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

Block: FC3

Network: 1

```

CALL "TIME_TCK"          SFC64          -- Read the System Time
RET_VAL:=#tick          .#tick
L   #tick                #tick
L   "Programm_DB".L_max  DB3.DBD160
MOD
T   "Programm_DB".random DB3.DBD164
  
```

FC2 - <offline>

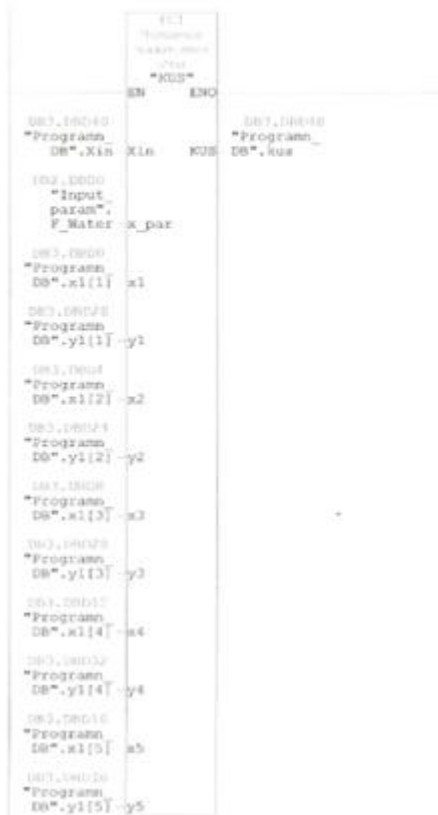
"Prog:"

Name: **Family:**
Author: **Version:** 0.1
Block version: 2
Time stamp Code: 05/25/2012 09:52:52 AM
Interface: 05/24/2012 10:08:41 PM
Lengths (block/logic/data): 01002 00892 00054

Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
OUT		0.0	
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

Block: FC2 *Основная графика*

Network: 1 1

**DB3 - <offline> - Declaration view**

*Program DB"
Global data block DB 3
Name: DB3 Family:
Author: Version: 0.1
Time stamp Code: Block version: 2
Interface: 03/25/2012 09:45:31 AM
03/25/2012 09:45:31 AM
Lengths (block/logic/data): 00340 00172 00000

Block: DB3

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	x1	ARRAY[1..5]		
+4.0		REAL		
+20.0	y1	ARRAY[1..5]		
+4.0		REAL		
+40.0	X1n	REAL	0.000000e+000	
+44.0	X_param	REAL	0.000000e+000	
+48.0	kus	REAL	0.000000e+000	
+52.0	T1	TIME	T#0MS	
+56.0	del_n	REAL	0.000000e+000	
+60.0	del_f water	REAL	0.000000e+000	
+64.0	n_raschet	REAL	0.000000e+000	
+68.0	Rasch_set_n	REAL	0.000000e+000	
+72.0		ARRAY[1..5]		
+4.0		REAL		
+92.0	y2	ARRAY[1..5]		
+4.0		REAL		
+112.0	X1n2	REAL	0.000000e+000	
+116.0	x3	ARRAY[1..5]		
+4.0		REAL		
+136.0	y3	ARRAY[1..5]		
+4.0		REAL		
+156.0	X1n3	REAL	0.000000e+000	
+160.0	L_max	DINT	L#0	
+164.0	random	DINT	L#0	
+168.0	random_f	REAL	0.000000e+000	
+172.0		END_STRUCT		

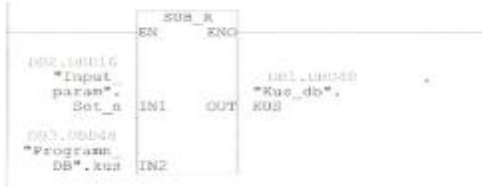
Network: 2



Network: 3



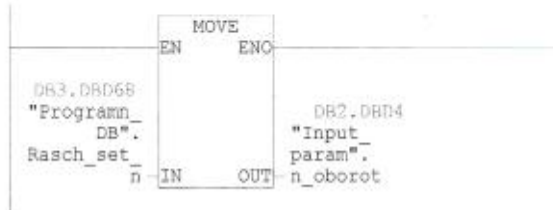
Network: 4



Network: 5



Network: 6



Network: 7
 АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

	FC1 ZUSAMMEN FASSUNG CPU "KUS"	EN	ENO
DB3.DB0112 "Programm DB".Xin2	Xin	KUS	DB2.DB06 "Input_ param". N_akt
DB3.DB069 "Programm_ DB". Rasch_set_ n	-x_par		
DB3.DB072 "Programm_ DB".x2[1]	x1		
DB3.DB092 "Programm_ DB".y2[1]	y1		
DB3.DB074 "Programm_ DB".x2[2]	-x2		
DB3.DB096 "Programm_ DB".y2[2]	y2		
DB3.DB080 "Programm_ DB".x2[3]	-x3		
DB3.DB100 "Programm_ DB".y2[3]	y3		
DB3.DB084 "Programm_ DB".x2[4]	x4		
DB3.DB104 "Programm_ DB".y2[4]	-y4		
DB3.DB088 "Programm_ DB".x2[5]	x5		
DB3.DB108 "Programm_ DB".y2[5]	y5		

Network: 8

РАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

	PCI		
	Элементу зависимо от	ЭНО	
DB3.DB0156 "Programm DB".Xin3	Xin	ЭНО	DB2.DB012 "Input- param". Q_reakt
DB3.DB069 "Programm_ DB". Kasch_set	Xin	KUB	
DB3.DB0116 "Programm DB".x3[1]	x3[1]		
DB3.DB0136 "Programm DB".y3[1]	y3[1]		
DB3.DB0120 "Programm DB".x3[2]	x3[2]		
DB3.DB0140 "Programm DB".y3[2]	y3[2]		
DB3.DB0124 "Programm DB".x3[3]	x3[3]		
DB3.DB0144 "Programm DB".y3[3]	y3[3]		
DB3.DB0128 "Programm DB".x3[4]	x3[4]		
DB3.DB0148 "Programm DB".y3[4]	y3[4]		
DB3.DB0132 "Programm DB".x3[5]	x3[5]		
DB3.DB0152 "Programm DB".y3[5]	y3[5]		

FC1 - <offline>

KUS Элемент безопасности
Name: Family:
Author: Version: 0.1
 Block version: 2
Time stamp Code: 05/24/2012 10:44:40 PM
Interface: 05/24/2012 10:44:40 PM
Lengths (block/logic/data): 01062 00906 00080

Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
Xin	Real	0.0	
x_par	Real	4.0	
x1	Real	8.0	
y1	Real	12.0	
x2	Real	16.0	
y2	Real	20.0	
x3	Real	24.0	
y3	Real	28.0	
x4	Real	32.0	
y4	Real	36.0	
x5	Real	40.0	
y5	Real	44.0	
OUT		0.0	
KUS	Real	48.0	
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
q1	Array [1..5] Of Real	0.0	
q2	Array [1..5] Of Real	20.0	
q3	Array [1..5] Of Real	40.0	
q4	Array [1..5] Of Real	60.0	
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

Network: 1



Network: 2



Network: 3



Network: 4



Network: 5



Network: 6



Network: 7



Network: 8



Network: 9



Network: 7



Network: 8



Network: 9



Network: 10



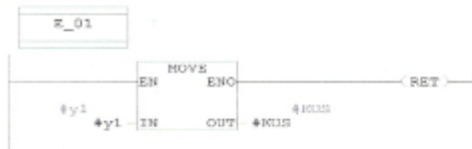
Network: 11



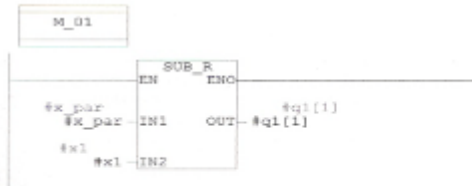
Network: 12



Network: 13



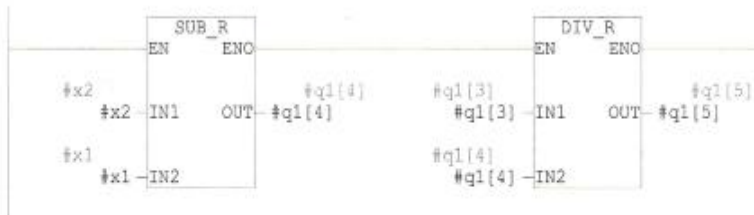
Network: 14



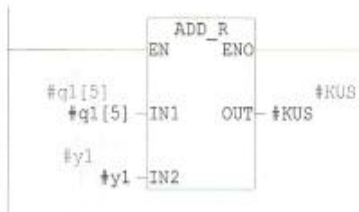
Network: 15



Network: 16

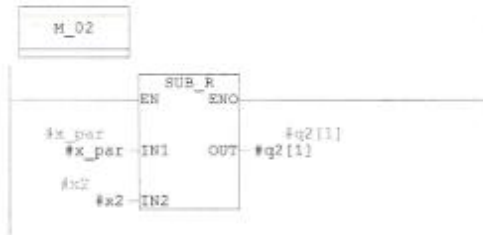


Network: 17



Network: 18

Network: 19



Network: 20



Network: 21



Network: 22



Network: 23



Network: 24



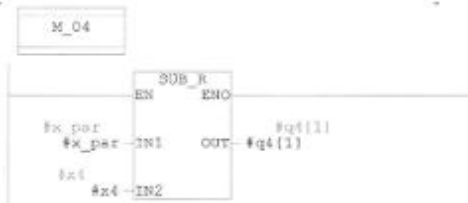
Network: 25



Network: 26



Network: 27



Network: 28



Network: 29



Network: 30



Network: 31