

Д. Р. Земський<sup>1</sup>  
 Д. О. Босий<sup>1</sup>  
 Т. І. Друбєцька<sup>1</sup>  
 А. В. Антонов<sup>1</sup>

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

<sup>1</sup>Український державний університет науки і технологій, Дніпро

Обґрунтовано актуальність формування у здобувачів вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (ГЗ «Електрична інженерія») професійних знань і навичок шляхом вивчення сучасними засобами автоматизації систем електропостачання. В умовах впровадження концепцій цифрової підстанції, Smart Grid та використання інтелектуальних електронних пристроїв перед майбутніми фахівцями постають задачі програмування, налаштування, обслуговування цифрової енергетичної інфраструктури.

Увагу приділено застосуванню контролера Siemens LOGO! як доступного засобу для професійної підготовки. Його використання дозволяє опанувати базові принципи релейної логіки, роботи з таймерами, лічильниками, логічними елементами та графічними мовами програмування. Принцип розповсюдження програмного середовища LOGO! Soft Comfort дає змогу здобувачам працювати з контролером не лише в лабораторних умовах, а й самостійно — поза межами аудиторій навчального закладу.

Наведено приклад програмної реалізації алгоритму обмеження тривалості роботи електроспоживача з автоматичним щоденним скиданням лічильника. Зазначене рішення демонструє елементи побудови логіки керування: контроль часу, індикацію попередження, блокування повторного вмикання до оновлення параметрів. Це дозволяє не лише засвоїти технічні основи автоматизації, а й створити базу для подальшого вивчення складніших систем на базі програмованих логічних контролерів, зокрема інтеграцію з SCADA-системами, мережевими протоколами та хмарними платформами.

Практична цінність дослідження полягає в розробці й апробації прикладного рішення з використанням Siemens LOGO! у навчальних цілях. Запропонований приклад може бути інтегрований у лабораторні роботи, курсове або дипломне проектування, сприяючи формуванню навичок роботи з функціональними блоками, логічними умовами та побудові структурованих алгоритмів керування реальними енергетичними об'єктами.

**Ключові слова:** Siemens LOGO!, програмований логічний контролер, автоматизація, цифрова підстанція, Smart Grid.

### Вступ

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій цифровізація електроенергетики постає як важливий напрям модернізації галузі. Впровадження цифрових технологій зумовлене не лише потребою підвищити ефективність, а й вимогами до гнучкості, надійності та стійкості енергетичних систем [1]—[5].

Цифрова енергетика передбачає створення єдиного інформаційного середовища, в межах якого здійснюється обробка, передача та аналіз даних про стан об'єктів у реальному часі.

Цифрові підстанції відрізняються від аналогових не лише способом обміну сигналами, але й глибокою інтеграцією інтелектуальних пристроїв. У таких підстанціях застосовують цифрові трансформатори струму [6] і напруги, модулі SAMU (Stand-Alone Merging Units — пристрої, які перетворюють аналогові сигнали від традиційних вимірювальних трансформаторів струму та напруги у цифрові), а всі сигнали передаються в єдиному середовищі. Ключову роль у таких системах

відіграють інтелектуальні пристрої автоматики, зокрема контролери, термінали захисту та обладнання з функціями самодіагностики і дистанційного керування в реальному часі. Наприклад, трансформатор АBB [2] оснащено вбудованими сенсорами та модулем зв'язку з хмарною платформою, що забезпечує безперервний контроль технічного стану (температура обмоток, рівень вологи, вміст газів у маслі тощо), виявлення аномалій у роботі та прогнозування залишкового ресурсу.

Актуальність цифровізації також підтверджується потребою в реалізації концепції Smart Grid – «розумної мережі», яка поєднує інтелектуальне керування, автоматизацію, прогнозування навантажень, взаємодію зі споживачами через системи обліку та гнучке тарифування в реальному часі.

Отже, цифровізація виступає чинником формування сучасної електроенергетичної системи. Її впровадження вимагає відповідних знань та вмій від інженерів, зокрема майбутніх фахівців з електропостачання, які мають володіти навичками роботи з цифровими технологіями.

Усе вищезазначене зумовлює потребу у відповідній підготовці майбутніх фахівців з електропостачання, які повинні володіти практичними навичками застосування засобів автоматизації. Формування таких навичок доцільно починати з простих інтелектуальних пристроїв, що дозволяють зрозуміти базові принципи побудови систем керування. Типовими представниками простих інтелектуальних пристроїв є програмовані реле. Програмоване реле може слугувати зручним та фінансово доступним навчальним засобом для формування компетенцій з автоматизації, що дає змогу засвоїти базові принципи програмування та підготувати здобувачів освіти до роботи зі складнішими промисловими контролерами.

*Мета статті* — обґрунтування підходу до формування професійних компетенцій з автоматизації систем електропостачання на основі використання програмованих реле у процесі підготовки фахівців.

### **Аналіз публікацій**

Згідно зі стандартом вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» [7], підготовка фахівців повинна включати практичні навички з впровадження та експлуатації систем автоматизованого керування в електроенергетиці. Це чітко відображено в 14-й компетентності (К14), яка визначає необхідність умінь розв'язувати спеціалізовані прикладні задачі у сфері релейного захисту та автоматики, а також у 2-му програмному результаті навчання (ПР02), що передбачає знання теоретичних основ і володіння практичними методами роботи з пристроями автоматизації.

Відомі публікації щодо впровадження програмування логічних контролерів у навчальний процес здебільшого орієнтовані на студентів спеціальностей з автоматизації виробничих процесів. Водночас порушені в них питання є актуальними та корисними й для підготовки фахівців інших інженерних спеціальностей.

Наприклад, у статті [8] описано освітню модель викладання програмування ПЛК, яка поєднує розвиток технічних навичок (програмування контролерів) і soft skills (критичне мислення, командна робота, тайм-менеджмент тощо). Навчання базується на підході, коли студенти поступово розв'язують реальні завдання, складність яких зростає. Серед завдань курсу — управління освітленням, автоматизація промислового обладнання, дорожніх світлофорів. Автори показують, що така модель сприяє кращому засвоєнню знань, підвищує мотивацію та розвиває практичні навички.

Публікація [9] описує три факультативні міжфахові курси програмування логічних контролерів, розроблені для підготовки інженерів з різних спеціальностей. Курси охоплюють основи програмування з акцентом на лабораторні роботи з використанням реального обладнання. Викладання орієнтоване на застосування знань у реальних проєктах. Курси мають стабільну популярність серед студентів, і автор рекомендує впровадження таких курсів у навчальні програми університетів.

Автор у [10] пропонує методику викладання роботи з ПЛК на основі моделі ОВЕ (outcome-based education). На відміну від традиційної освіти, яка часто зосереджується на викладанні, ОВЕ спрямоване на результати навчання, тобто знання, навички, які студенти мають продемонструвати.

У проаналізованих публікаціях простежується низка недоліків, що знижують наукову обґрунтованість представлених результатів. Насамперед автори зважають переважно на суб'єктивні оцінки студентів, отримані шляхом опитувань, без надання об'єктивних кількісних даних, які могли б підтвердити ефективність застосованої методики. Також не подано статистичну перевірку отриманих результатів, не наведено контрольні групи, які б дозволили порівняти ефективність запропонованих рішень з традиційними методами викладання. Як наслідок, цей досвід демонструє окремі приклади практичного застосування без достовірного статистичного аналізу.

## Обґрунтування вибору програмованого реле для формування компетентностей з автоматизації

У підготовці фахівців з електроенергетики важливо враховувати специфіку систем електропостачання та забезпечувати міждисциплінарний зв'язок з профільними навчальними дисциплінами, які вивчають здобувачі. Це вимагає адаптації або підбору відповідного навчального матеріалу.

У сучасних умовах цифровізації електроенергетики фахівці мають володіти базовими знаннями про інтелектуальні електронні пристрої (IED — Intelligent Electronic Devices) та навичками інтеграції цих пристроїв у єдину інформаційно-керувальну інфраструктуру, знати основи цифрових комунікаційних протоколів (наприклад, IEC 61850), працювати з сучасним програмним забезпеченням для конфігурування, візуалізації та діагностики технологічних процесів. Освоєння цих інструментів вимагає від здобувача не тільки знань принципу їхньої дії, а й здатності проєктувати, програмувати, налагоджувати та обслуговувати автоматизовані системи, що забезпечують надійне, енергоефективне та безпечне електропостачання.

Базовим елементом сучасних систем автоматизації є спеціалізовані комп'ютери — програмовані логічні контролери (PLC) та термінали дистанційного керування (RTU). Попри те, що формально це різні пристрої, розвиток технологій призвів до поступового зближення їхніх функціональних можливостей. Типовим виробником систем автоматизації для промисловості і, зокрема, для електроенергетичного сектору є Siemens, оскільки компанія пропонує комплексні рішення, які охоплюють широкий спектр задач — від контролю і моніторингу електрообладнання до управління складними процесами в енергетичних мережах. До прикладу, серія SICAM A8000 — це набір пристроїв для автоматизації систем електропостачання (рис. 1). У комунікаційний вузол входить модуль RTU — центральний процесорний модуль, CP-8000 на рис. 1, який виконує функції збору, обробки та передачі даних, а також може реалізовувати логіку керування (PLC-функціонал); модулі введення/виведення (I/O Modules) — для підключення аналогових та дискретних сигналів, що вказують на стан вимикачів, наявність тривоги, значення струму навантаження і напруги у мережі; модуль сполучення CM-8811 (Coupling Module) призначений для розширення комунікаційного вузла через додавання модулів введення/виведення. SICAM A8000 дозволяє реалізувати широкий спектр задач в електропостачанні — від автоматизації підстанцій і секціонування мереж до інтеграції ВДЕ та реалізації резервування живлення.

Одним із показових варіантів застосування платформи SICAM A8000 є автоматизація трансформаторних підстанцій та розподільчих мереж, де необхідно забезпечити надійну телемеханіку, гнучке керування та підтримку різноманітного обладнання. SICAM A8000 збирає інформацію з польових модулів, локальних вимикачів, трансформаторів та вимірювальних пристроїв, агрегує ці дані та передає їх у диспетчерський центр через комунікаційні інтерфейси.

У розподільчих мережах SICAM A8000 виконує функції моніторингу стану комірок, вимірювання струмів і напруг, відображення даних на вбудованому дисплеї, а також реалізації логіки керування роз'єднувачами та регулювання напруги трансформатора. Система додатково забезпечує функцію індикатора короткого замикання, що дає змогу швидко обмежити зону пошкодження та скоротити час відновлення живлення.

Ще одним прикладом є підключення сонячних та вітрових електростанцій до мережі. SICAM A8000 виконує роль двостороннього інтерфейсу між інверторними контролерами та центром керування мережі: у напрямку диспетчерського пункту він передає інформацію про потужність, стан генерації, а у зворотному напрямку — реалізує команди диспетчера щодо обмеження потужності, плавного зниження генерації чи відключення станції.

Загалом зазначимо, що вивчення пристроїв автоматизації, має стати невіддільною частиною освітнього процесу підготовки фахівців з електропостачання. Проте набуття практичних навичок потребує використання відповідного обладнання, отримання якого у мовах обмеженого фінансування має певні труднощі. Постає питання щодо шляхів забезпечення належної матеріально-технічної

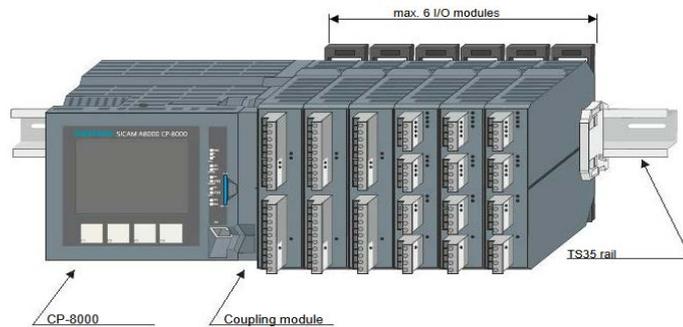


Рис. 1. Комунікаційний вузол з пристроїв SICAM A8000

бази навчання.

У цьому випадку доцільно використовувати програмовані реле, наприклад easyE4 (Eaton), LOGIC (ETI) або LOGO! (Siemens), які є доступнішими за вартістю порівняно з промисловими контролерами.

Програмовані реле широко використовуються для автоматизації побутових, комерційних та невеликих промислових об'єктів, забезпечуючи реалізацію типових задач керування освітленням, вентиляцією, опаленням, жалюзі та воротами, насосами й системами поливу, а також локальних систем доступу, сигналізації та моніторингу. Це функціонально гнучкі пристрої, що дозволяють реалізовувати різноманітні алгоритми автоматизації. Хоча програмовані реле поступаються промисловим контролерам за масштабністю, рівнем кіберзахисту, кількістю підтримуваних мов програмування, протоколами зв'язку та швидкодією, вони є оптимальним вибором для початкового рівня навчання. Їхнє застосування забезпечує формування базових компетентностей у проектуванні, програмуванні та технічному обслуговуванні автоматизованих систем керування.

Для подальших досліджень вибрано програмоване реле LOGO! (Siemens), що використовується у навчальному процесі кафедри інтелектуальних систем енергопостачання та слугує моделлю для апробації розробленої методики формування професійних компетентностей.

Середовище програмування LOGO!Soft Comfort має демонстраційну версію з відкритим доступом, яка дає змогу створювати програми та здійснювати імітацію роботи контролера, хоча й не підтримує підключення до реального пристрою. Така можливість забезпечує зручні умови для самостійної роботи студентів.

Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики LOGO! 230RCE показано на рис. 2 та у табл. 1. Детальна інформація щодо технічних параметрів різних версій LOGO! подана у [11].

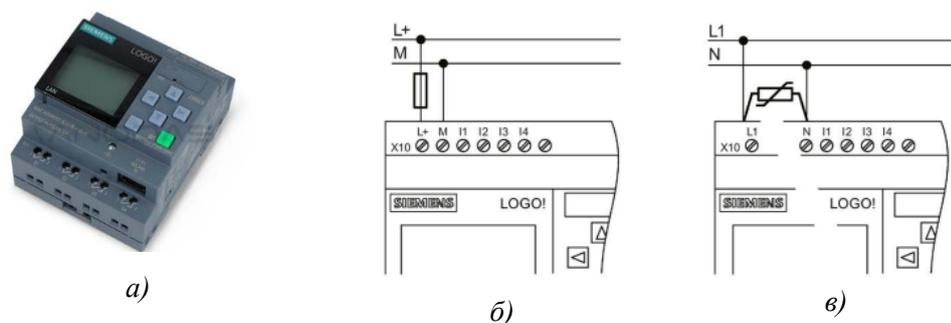


Рис. 2. Програмоване реле Siemens LOGO!: а — зовнішній вигляд реле 230RCE; б — підключення до джерела постійного струму; в — підключення до джерела змінного струму

Таблиця 1

Технічні характеристики Siemens LOGO! 230RCE

Параметр	Значення
Живлення	115–230 В AC/DC
Кількість входів (DI)	8 дискретних входів (аналогові входи не підтримуються)
Кількість виходів (DO)	4 релейних (10 А)
Пам'ять програми	до 400 функціональних блоків
Інтерфейси	Ethernet, вбудований вебсервер, підтримка Modbus TCP
Карта пам'яті	підтримка стандартної microSD для збереження даних і програм
Габарити (Ш×В×Г)	72×90×55 мм (4 модулі DIN-рейки)
Програмне забезпечення	LOGO! Soft Comfort

### Апробація методики формування професійних компетентностей із застосуванням програмованих реле

Для апробації підходу розроблено лабораторні завдання з використанням контролера LOGO!, які демонструють функціональні можливості програмованого реле, зокрема реалізацію затримки часу, тригерів, імпульсних лічильників, логічних операцій AND, OR, NOT на прикладі керування електродвигунами, освітленням, режимом роботи накопичувача електроенергії. Такі завдання дають змогу студентам на практиці опанувати як базові логічні функції, так і принципи побудови алгоритмів керування в реальних системах автоматизації.

Для прикладу опишемо типове завдання, яке можна запропонувати здобувачам освіти під час вивчення дисциплін з автоматизації, а також варіант його виконання, що демонструє очікуваний рівень засвоєння матеріалу. Завдання полягає у розробці програми для реле, яка забезпечує обмеження тривалості роботи споживача електроенергії від акумуляторної батареї з подальшим автоматичним вимкненням після перевищення заданого часу. Повторне увімкнення споживача дозволяється лише після щоденного скидання лічильників у заданий час. Умови роботи реле: споживач вмикається кнопкою; після вмикання він може працювати не більше ніж визначену кількість хвилин; після перевищення цього часу споживач автоматично вимикається і блокується; щодня у визначену годину лічильник часу скидається, що дозволяє повторне вмикання; за певний час до завершення дозволеного інтервалу роботи має активуватися попереджувальна індикація. Здобувачам надають схему підключення елементів стенда (рис. 3).

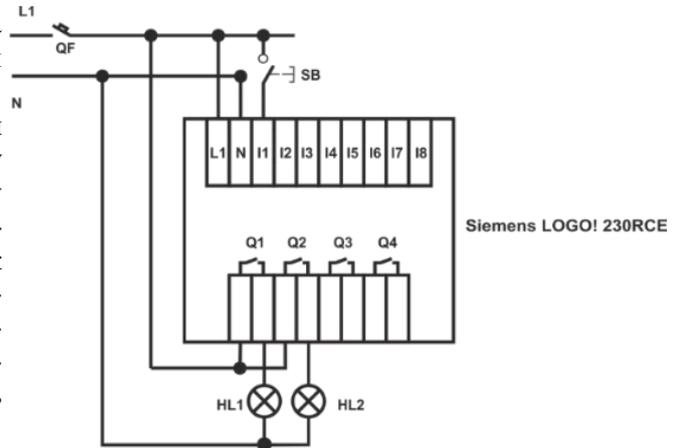


Рис. 3. Схема підключення елементів стенда

У результаті студенти мають зібрати схему, розробити програму, завантажити її у реле та протестувати його роботу. Звіт з виконання роботи має включати розроблену програму (для цього завдання рис. 4) та опис блоків у програмі та алгоритм її роботи.

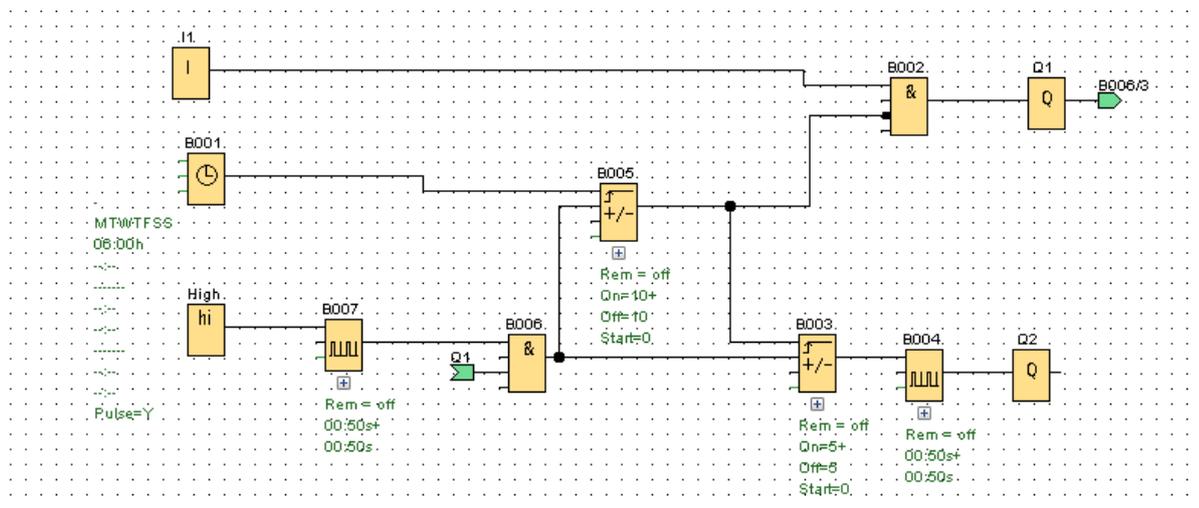


Рис. 4. Програма обмеження тривалості роботи споживача (знімок з екрана)

### Приклад виконаного завдання

У цій реалізації навантаження HL1 підключене до виходу Q1 та вмикається через кнопку, підключену до входу I1. Індикатор HL2, керований виходом Q2, сигналізує про наближення до граничного часу роботи. Логіка забезпечує автоматичне вимкнення навантаження після визначеного проміжку часу (10 секунд) та заборону повторного вмикання до моменту щоденного скидання лічильників.

Для реалізації цієї функції використовуються такі основні функціональні блоки:

B001 — семиденний таймер, який щодня о 6:00 ранку подає одиничний імпульс для скидання лічильників часу;

B002, B006 — логічні елементи «І» (AND), де B002 виконує логіку блокування повторного вмикання у разі досягнення ліміту часу, а B006 активує лічильники з подачею сигналу з Q1;

B003, B005 — лічильники імпульсів, які відлічують відповідно 5 та 10 імпульсів; перший — для активації сигналізації, другий — для вимкнення навантаження;

B004, B007 — генератори імпульсів з частотою 1 Гц (0,5 с імпульс + 0,5 с пауза), що формують сигнали для лічильників та індикатора;

High — блок постійного логічного сигналу, який підтримує активацію генераторів.

Алгоритм роботи програми полягає в такому. Після подачі команди з П1 і за відсутності блокування з боку В005, логічний елемент В002 дозволяє подачу сигналу на Q1, вмикаючи навантаження НЛ1. Водночас активується В006, який передає імпульси від генератора В007 на лічильники. Після 5 імпульсів (5 секунд) спрацьовує В003, активуючи В004, що починає керувати індикатором НЛ2. Після 10 імпульсів (10 секунд) спрацьовує В005, який блокує В002, у результаті чого Q1 вимикається. Наступного дня таймер В001 знову дозволяє роботу системи, подаючи імпульс для скидання лічильників.

Такий приклад демонструє правильне виконання завдання студентом, що свідчить про розуміння принципів побудови логічних схем керування, уміння реалізовувати часові обмеження, застосовувати лічильники, таймери та базові логічні операції, а також про сформовані компетентності у розробці програм для промислових контролерів.

Виконання завдання здійснюється у кілька послідовних етапів, спрямованих на формування у здобувачів практичних компетентностей з програмування та параметризації релейного обладнання:

- аналіз технічного завдання — передбачає детальне вивчення вимог до функціонування релейного пристрою, визначення вхідних та вихідних параметрів, умов спрацювання й логічних зв'язків між елементами системи;

- проектування алгоритму роботи — розробку структурованої логічної моделі функціонування реле із застосуванням методів алгоритмізації, побудова блок-схем та визначення послідовності операцій;

- реалізація алгоритму в програмному середовищі — створення програми у спеціалізованому середовищі для параметризації реле;

- тестування та налагодження — проведення емуляції роботи алгоритму, перевірка коректності логічних зв'язків, виявлення та усунення помилок у програмному коді або конфігурації;

- підключення реле та навантаження — практичну реалізацію схеми підключення, забезпечення відповідності електричних параметрів вимогам безпеки та стабільної роботи пристрою;

- параметризація та експериментальна перевірка — налаштування параметрів реле, проведення функціональних випробувань, зокрема перевірка можливостей комунікації з комп'ютерною мережею або безпосереднього підключення до комп'ютера, а також аналіз отриманих результатів для оцінки ефективності розробленого алгоритму.

Для підтвердження дієвості застосування програмованого реле проведено експериментальне педагогічне дослідження, яке включало такі заходи:

- формування контрольної та експериментальної груп студентів;

- проведення практичних занять з використанням програмованого реле у експериментальній групі та традиційних методів навчання у контрольній;

- аналіз рівня сформованості практичних навичок створення програм на спеціалізованих мовах програмування.

Для підтвердження дієвості використання програмованих реле під час навчання замість ПЛК утворено контрольну та експериментальну групи студентів одного рівня підготовки по 16 учасників у кожній. Лекційні заняття були однаковими для всіх груп. У контрольній групі навчання здійснювалось за робочою програмою використання програмованих реле — виконання завдань передбачало складання схем керування на основі електромеханічних реле (традиційна методика). Експериментальна група, натомість, виконувала аналогічні завдання з використанням програмованих реле.

Гіпотетично, використання програмованих реле у процесі навчання дисциплін з автоматизації сприятиме підвищенню рівня умінь здобувачів у розробці програм керування для промислових контролерів та формуванню практичних навичок налагодження обладнання. Після завершення циклу занять обидві групи виконали однакове підсумкове завдання, без використання програмного середовища чи реального обладнання — розробити схему обмеження тривалості роботи споживача від акумуляторної батареї на мові функціональних діаграм.

Критерії оцінювання підсумкового навчання:

- правильність побудови логічної структури;

- час виконання завдання.

Додатково виконано оцінювання часу адаптації здобувачів до програмного забезпечення іншого виробника (використали ETI LOGIC), на прикладі відтворення схеми керування двигуном.

Такий підхід дозволяє визначити, чи сприяє використання програмованих реле під час навчання глибшому розумінню принципів побудови систем керування у студентів, навіть за відсутності технічних засобів під час контрольного етапу та наскільки сформовані під час навчання навички мають

універсальний характер і чи здатні студенти ефективно переносити їх у нові технічні умови.

Порівняння часу адаптації, кількості допущених помилок і ступеня самостійності під час освоєння нового інтерфейсу дозволяє об'єктивно оцінити гнучкість сформованих компетентностей.

### Оцінка результатів експерименту

Отримані результати за трьома кількісними показниками подані у табл. 2. Далі результати потребують статистичної перевірки для підтвердження достовірності виявленої різниці між контрольними та експериментальними групами. Відповідно, нульова гіпотеза, яку перевіряють з використанням  $t$ -критерію Стьюдента, формулюється як припущення про відсутність статистично значущої різниці між середніми показниками результатів контрольної та експериментальної груп, тобто про їх однорідність.

Таблиця 2

Кількісні критерії оцінювання здобувачів

Група	Правильність побудови логічної структури		Час виконання завдання, хв		Час адаптації до іншого програмного забезпечення, хв	
	Експериментальна група	Контрольна група	Експериментальна група	Контрольна група	Експериментальна група	Контрольна група
Результат	80	50	36	64	10,0	13,0
	81	51	36	64	11,0	14,0
	81	54	41	55	12,0	13,0
	82	55	43	54	10,0	12,0
	83	55	43	59	12,0	14,0
	84	60	45	51	12,0	13,0
	84	61	45	57	10,0	12,0
	88	62	45	61	10,0	14,0
	90	63	45	52	10,0	12,0
	91	64	48	59	10,0	12,0
	93	67	48	63	11,0	12,0
	94	69	49	58	11,0	12,0
	97	72	49	50	11,0	12,0
	98	73	49	50	11,0	14,0
	99	82	49	58	11,0	14,0
100	90	50	55	10,0	13,0	
Середнє	89,1	64,3	45,1	56,9	10,8	12,9
Дисперсія	50,5	122,3	19,5	22,4	0,6	0,8
$t$ -емпіричне	7,6		7,3		7,2	
$t$ -критичне	2					

Статистика  $t$ -критерію Стьюдента має вигляд

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}, \quad (1)$$

де  $\bar{X}_1$ ,  $\bar{X}_2$ ,  $s_1^2$ ,  $s_2^2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  — середні, дисперсії, обсяги першої та другої вибірок відповідно.

Дисперсію вибірки та середнє визначають через такі вирази:

$$s_x^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}; \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (3)$$

де  $x_i$  — окремий елемент вибірки.

Результати розрахунків за (1)—(3) зведені у табл. 2.

Рівень значущості становить 0,05, критичне значення  $t$  статистики — 2. Оскільки емпіричні значення перевищують критичне, гіпотеза не приймається. Отже, різниця статистично значуща, тобто методика з використанням програмованих реле дала кращий результат.

### Висновок

Запропоновано методичний підхід до формування професійних компетентностей студентів у сфері автоматизації систем електропостачання, який передбачає використання програмованих реле LOGO! для розвитку практичних умінь з проектування та реалізації алгоритмів керування.

Обґрунтовано доцільність застосування програмованих реле у навчальному процесі як засобу безпечного, наочного та доступного моделювання систем керування, що дозволяє поєднувати теоретичне навчання з практичною підготовкою.

Визначено потенційну універсальність запропонованого підходу, оскільки навички роботи з програмованими реле можуть бути адаптовані до інших програмних середовищ та типів контролерів, що підвищує гнучкість і практичну цінність підготовки фахівців. До того ж, вільно доступне програмне забезпечення дозволяє здобувачам засвоювати навчальний матеріал у безпечних місцях.

Проведено статистичний аналіз результатів навчання, який на науковому рівні підтвердив ефективність запропонованих методики.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. В. Кириленко, С. П. Денисюк, і І. В. Блінов, «Цифрова трансформація енергетики: сучасні тенденції та завдання», *Праці ІЕД*, № 65, с. 5-14, 2023. <https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.005>.
- [2] Т. Друбєцька, Д. Земський, В. Шмельова, і В. Артемчук, «Розвиток технологій будівництва цифрових підстанцій», *Енергетика: Економіка, Технології, Екологія*, № 1, с. 106-113, 2024. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2024.297585>.
- [3] Y. Rudniew, and J. Romanchenko, “Comprehensive condition analysis and perspectives of energy development in Ukraine according to the smart grid concept,” *Power Engineering: Economics Technique Ecology*, no. 1, Mar. 2024, <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2024.297587>.
- [4] V. Galkovskaaya, and M. Volos, “Economic efficiency of the implementation of digital technologies in energy power,” *Sustainability*, vol. 14, no. 22, pp. 15382, Nov. 2022, <https://doi.org/10.3390/su142215382>.
- [5] D. Celik, M. E. Meral, and M. Waseem, “A new area towards to digitalization of energy systems: enables, challenges and solutions,” in *2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, pp. 1-6, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1109/ecai54874.2022.9847313>.
- [6] *Optical/Electronic GDGL Series Current Transformers* [Electronic resource]. Accessed: April 1, 2025.
- [7] Міністерство освіти і науки України, «Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти»: Наказ від 20.06.2019, № 867. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/osvita-2/vishcha-osvita-ta-osvita-doroslikh/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukraini/zatverdzeni-standarti-vishchoi-osviti>. Дата звернення: 01.05.2025.
- [8] I. Zamora-Hernandez, M. X. Rodriguez-Paz, and J. A. Gonzalez-Mendivil, “An educational model for teaching PLC programming incorporating soft skills,” in *Conference: ICETC 2023*, 2023, pp. 280-285. <https://doi.org/10.1145/3629296.3629342>.
- [9] K. Erickson, “Programmable Logic Controllers: What every Controls curriculum needs to cover,” in *2019 ASEE Annual Conference & Exposition*, Tampa, Florida, 2019. <https://doi.org/10.18260/1-2--33199>.
- [10] L. Wang, Y. Liu, Q. Wang, J. Wang, and Z. Yang, “PLC course teaching method based on OBE Teaching concept,” *Advances in Educational Technology and Psychology*, vol. 4, no. 1, pp. 101-109, Aug. 2020, <https://doi.org/10.23977/aetp.2020.41015>.
- [11] “LOGO!” SIOS. [Electronic resource]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741041/logo!?dti=0&lc=en-UA>. Accessed: 1.04.2025.

Рекомендована кафедрою системного аналізу та інформаційних технологій ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 16.06.2025

**Земський Денис Романович** — д-р філософії, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: skyi@ust.edu.ua ;

**Босий Дмитро Олексійович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: d.o.bosyi@ust.edu.ua ;

**Друбєцька Тетяна Ігорівна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: t.i.drubetska@ust.edu.ua ;

**Антонов Андрій Владиславович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: a.v.antonov@ust.edu.ua

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

**D. R. Zemskyi<sup>1</sup>**  
**D. O. Bosyi<sup>1</sup>**  
**T. I. Drubetska<sup>1</sup>**  
**A. V. Antonov<sup>1</sup>**

## **Application of Programmable Logic Controllers for Power Supply Specialists Training**

<sup>1</sup>Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro

*The publication substantiates the relevance of developing professional knowledge and skills among higher education students majoring in specialty 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", acquainting them with modern automation tools used in power supply systems. In the context of the implementation of digital substation concepts, Smart Grid technologies, and intelligent electronic devices (IEDs), future specialists are expected to be capable of programming, configuring, and maintaining digital power infrastructure.*

*Particular attention is paid to the use of the Siemens LOGO! controller as an accessible tool for introductory professional training. Its application provides an effective means of mastering the basic principles of relay logic, the operation of timers, counters, logic gates, and the use of graphical programming languages such as FBD (Function Block Diagram) and LAD (Ladder Diagram). The availability of the LOGO! Soft Comfort programming environment enables students to work with the controller not only in laboratory settings but also independently beyond the classroom.*

*The paper presents an example of software implementation for the algorithm that limits the operating time of electrical load, with automatic daily counter reset. This solution illustrates key elements of control logic design: time monitoring, warning indication, and blocking of repeated activation until parameters are reset. It not only helps students grasp the technical foundations of automation but also provides a basis for further study of more advanced systems based on programmable logic controllers (PLCs), including integration with SCADA systems, network protocols, and cloud platforms.*

*The practical value of the study lies in the development and testing of the applied solution using Siemens LOGO! for educational purposes. The proposed example can be integrated into laboratory assignments, course projects, or thesis work, contributing to the development of skills in I/O configuration, controller programming, function block design, logical condition handling, and the construction of structured control algorithms for real-world power engineering applications.*

**Keywords:** Siemens LOGO!, programmable logic controller, automation, digital substation, Smart Grid.

**Zemskyi Denys R.** — PhD, Associate Professor of the Chair of Intelligent Energy Supply Systems, e-mail: d.r.zemskyi@ust.edu.ua ;

**Bosiy Dmytro O.** — Dr Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Intelligent Energy Supply Systems, e-mail: d.o.bosyi@ust.edu.ua ;

**Drubetska Tetiana I.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Intelligent Energy Supply Systems, e-mail: t.i.drubetska@ust.edu.ua ;

**Antonov Andrii V.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Intelligent Energy Supply Systems, e-mail: a.v.antonov@ust.edu.ua