

ДОДАТОК А

Публікація за тематикою роботи

ISSN (Print): 2304-5809
ISSN (Online): 2313-2167

Науковий журнал
«Молодий вчений»

№ 8 (120) серпень 2023 р.

Редакційна колегія журналу

Сільськогосподарські науки

Вазалій В.В. – д-р с.-г. наук
 Валашкова Г.С. – д-р с.-г. наук
 Вондар О.В. – канд. с.-г. наук
 Клименко М.О. – д-р с.-г. наук
 Кокосікін С.В. – д-р с.-г. наук
 Адериченко Ю.О. – д-р с.-г. наук
 Писаренко П.В. – д-р с.-г. наук

Історичні науки

Змералій В.В. – д-р іст. наук

Юридичні науки

Вернадська Н.І. – д-р. юрид. наук
 Стратонов В.М. – д-р юрид. наук

Політичні науки

Наушкіна С.М. – д-р політ. наук
 Яковлев Д.В. – д-р політ. наук

Педагогічні науки

Козар М.М. – д-р пед. наук
 Рибей Н.М. – д-р пед. наук
 Федосєєв В.А. – д-р пед. наук
 Шермак М.І. – д-р пед. наук
 Шпилота Г.Є. – канд. пед. наук

Психологічні науки

Шваєков С.В. – канд. псих. наук

Філологічні науки

Шепель Ю.О. – д-р філол. наук

Філософські науки

Лебедєєв Н.А. – д-р філос.
 в галузі культурології

Технічні науки

Гриценко Д.С. – канд. техн. наук
 Горобей М.С. – канд. техн. наук
 Дібур В.А. – д-р техн. наук
 Покужєєвський О.Д. – канд. техн. наук
 Шайко-Шайкоєвський О.Г. – д-р техн. наук

Економічні науки

Ірмищєєв І.О. – д-р екон. наук
 Козловський С.В. – д-р екон. наук
 Шалощикова К.С. – д-р екон. наук

Медичні науки

Нетохайло А.Г. – д-р мед. наук
 Пекліна Г.П. – д-р мед. наук

Ветеринарні науки

Морозенко Д.В. – д-р вет. наук

Мистецтвознавство

Романчикова Ю.В. – д-р мистецт.

Соціологічні науки

Шалощикова І.В. – д-р соц. наук

Хімічні науки

Козьма А.А. – канд. хім. наук

Військові науки

Можарєєвський В.М. – д-р військ. наук

Міжнародна наукова рада

Adam Wrobel – Doktor, Associate Professor (Poland)
 Arkadiusz Adamczyk – Professor, Dr hab. in Humanities (Poland)
 Giorgi Kvinikadze – PhD in Geography, Associate Professor (Georgia)
 Messa Sytnik – Professor, dr hab. in Economics (Poland)
 Janusz Wielki – Professor, dr hab. in Economics, Engineer (Poland)
 Javad Khamisabadi – Professor, PhD in Industrial management (Iran)
 Michał Sojka – Doctor in Engineer (Poland)
 Stanisław Kunikowski – Associate Professor, Dr hab. (Poland)
 Wioletta Wojciechowska – Doctor of Medical Sciences (Poland)

Журнал включено до міжнародних каталогів наукових видань і наукометричних баз:
 HNY im. В.І. Вернадського, Google Scholar, CrossRef, Index Copernicus.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 18987-7777Р,
 видано Державною реєстраційною службою України 05.06.2012 року.

Обкладинка серпневого випуску журналу присвячена одному з найдавніших навчальних закладів Запорізької області – Бердянському державному педагогічному університету. Відлік історії університету розпочинається із серпня 1872 року, коли було отримано дозвіл на будівництво в Бердянську чоловічої класичної гімназії. Старовинна будівля гімназії, а нині Бердянський державний педагогічний університет – одна з архітектурних пам'яток і візитна картка міста. За середньовічний стиль споруди університет називають «червоным домом» та порівнюють із казковим палацом. Нині Бердянський державний педагогічний університет є провідним педагогічним навчальним закладом країни, місця якого – впровадження новітніх моделей безперервного професійного та особистісного розвитку.

© Науковий журнал «Молодий вчений», 2023
 © Видавництво «Молодий вчений», 2023

Науковий журнал
«МОЛОДИЙ ВЧЕНИЙ»
№ 8 (120) серпень 2023 р.

Щомісячне видання

Коректор: В. Бабич
Дизайн: В. Савельєва
Комп'ютерна верстка: В. Удовиченко

Контактна інформація редакції
журналу «Молодий вчений»:
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, буд. 6/1
Телефони: +38 (095) 778 74 79, +38 (067) 695 64 10
E-mail: info@molodyivchenyi.ua
Сайт: www.molodyivchenyi.ua

Підписано до друку 31.08.2023 р.
Формат 60x84/8.
Папір офсетний. Цифровий друк.
Ум.-друк. арк. 8,37. Тираж 100 прим.
Зам. 0523-126.

Видавництво «Молодий вчений»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, буд. 6/1
Телефони: +38 (095) 778 74 79, +38 (067) 695 64 10
E-mail: info@molodyivchenyi.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7641 від 29.07.2022 р.

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-8-120-1>
УДК 621.31

Божинський С.В., Синявський О.Ю.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

ПІДСТАНЦІ МАЙБУТЬОГО: ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Анотація. Стаття розглядає актуальну проблему сталості та стійкості енергетичних підстанцій у зв'язку зі зростанням впровадження інноваційних технологій та збільшенням підключених до мережі пристроїв. Зокрема, обговорюється зростаючий ризик кібератак та порушення безпеки систем. Розглядаються теоретичні та практичні аспекти застосування сучасних технологій у проєктуванні та експлуатації підстанцій. Підкреслено, що забезпечення кібербезпеки стає основоположним аспектом для забезпечення стійкості енергетичних підстанцій. Проаналізовано вплив інтеграції різних джерел енергії на сталість та стійкість підстанцій, зокрема гібридних систем; вказано на необхідність розробки нових технологій управління для підтримки балансу в мережі; розглянуто важливі аспекти розподільності та розгалуженості сучасних енергетичних систем, а також можливості використання інноваційних технологій, таких як смарт-технології, аналітика даних та штучний інтелект, для досягнення ефективного та гнучкого управління. Наголошено на соціальних та економічних аспектах впровадження інновацій у сфері енергетики, з току чимлі на важливості доступності та прийнятності вартості електроенергії для населення та підприємств. Детально розглядається вплив смарт-технологій, штучного інтелекту, машинного навчання, аналітики даних та автоматизованих датчиків на забезпечення ефективності та сталості підстанцій, також досліджується вплив відновлюваних джерел енергії та інноваційних технологій на стійкість підстанцій у надзвичайних ситуаціях. Проводиться аналіз останніх досліджень та публікацій, що присвячені покращенню ефективності та надійності підстанцій. Метою статті є визначення напрямків розвитку підстанцій майбутнього з використанням інноваційних технологій. Висновки з даного дослідження надають рекомендації щодо вдосконалення підстанцій та перспектив подальшого розвитку у цій галузі.

Ключові слова: електроенергетика, підстанції майбутнього, інноваційні технології, ефективність, надійність.

Bozhynskiy Serhii, Syniavskiy Oleksandr
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

SUBSTATIONS OF THE FUTURE: INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Summary. The article examines the pressing issue of stability and resilience of energy substations in light of the increasing implementation of innovative technologies and the growing number of devices connected to the grid. Specifically, the discussion revolves around the escalating risk of cyberattacks and security breaches within systems. Both theoretical and practical aspects of utilizing contemporary technologies in the design and operation of substations are scrutinized. Emphasis is placed on the fundamental significance of ensuring cybersecurity as a cornerstone for ensuring the stability of energy substations. The impact of integrating diverse energy sources on the stability and resilience of substations, including hybrid systems, is analyzed. The necessity for developing novel management technologies to maintain network balance is underscored. Furthermore, significant aspects of distribution and diversification in modern energy systems are examined, alongside the potential of leveraging innovative technologies such as smart technologies, data analytics, and artificial intelligence for achieving efficient and adaptable management. The article highlights the social and economic dimensions of integrating innovations within the energy sector, including the importance of accessibility and affordability of electricity for both the public and enterprises. It meticulously delves into the influence of smart technologies, artificial intelligence, machine learning, data analytics, and automated sensors on ensuring efficiency and stability of substations. Moreover, it investigates the impact of renewable energy sources and innovative technologies on the resilience of substations in emergency situations. Through an analysis of recent research and publications focused on enhancing the efficiency and reliability of substations, the article seeks to determine directions for the future development of substations through the application of innovative technologies. The conclusions drawn from this study offer recommendations for refining substations and outline prospects for further advancements in this field.

Keywords: electric power engineering, substations of the future, innovative technologies, efficiency, reliability.

Постановка проблеми. У зв'язку зі стрімким розвитком технологій та зростаючими енергетичними потребами, сучасні енергетичні системи стикаються з новими викликами щодо стійкості, надійності та ефективності. Впровадження інноваційних технологій у енергетичні підстанції,

включаючи смарт-технології, штучний інтелект, машинне навчання та інші передові рішення, відкриває безмежні можливості для покращення їхньої функціональності та адаптації до зростаючих потреб споживачів. Підстанції є ключовими елементами електроенергетичних мереж

і грають критичну роль у перетворенні, передачі та розподілі електроенергії. Однак, зростаючі вимоги до стабільності, ефективності та сталості електричних систем потребують нових інноваційних підходів до проектування та експлуатації підстанцій.

Отже, проблема полягає у тому, як забезпечити стійкість, ефективність та надійність майбутніх енергетичних підстанцій в умовах впровадження інноваційних технологій та зростання енергетичних потреб. Наукові дослідження у цій галузі мають на меті виявити оптимальні шляхи впровадження технологічних рішень, що дозволять забезпечити гармонійний розвиток енергетичних систем, забезпечивши при цьому їхню стійкість та надійність.

Актуальність теми забезпечення ефективності та сталості енергетичних підстанцій стає все більш важливою у зв'язку зі зростаючим попитом на електроенергію, змінами в структурі виробництва електроенергії та впровадженням відновлюваних джерел енергії. Проблеми енергетичної безпеки, недостатня сталість підстанцій у надзвичайних ситуаціях та потреба в ефективному управлінні та контролі навантаження вимагають пошуку інноваційних рішень та застосування сучасних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що сфера енергетики прогресує і розвивається швидкими темпами. Дослідники активно займаються розробкою смарт-технологій для підстанцій, впровадженням штучного інтелекту для прогнозування навантаження та аналізу даних, а також дослідженням використання відновлюваних джерел енергії та інших інноваційних рішень. Слід зокремити роботи таких науковців як: Дж. Сміт, Дж. та Л. Джонсон, К. Еддерсон, В. Гейца, А. Даниленко, Е. Лібанова, А. Гринченко, О. Макарова, М. Кизима, І. Сторож, І. Одошок та та ін.

Д. Олійник зазначає, що сучасні інноваційні технології, як-от: хмарні технології, модерні способи збирання та аналізу великих масивів даних (Big Data), краудсорсинг, криптовалюта й технології Blockchain, безпілотні автомобілі та ін., радикально змінюють цілі галузі економіки [7, с. 4].

На думку В. Гейца, на основі цих технологій цифрова революція переходить у Четверту промислову революцію (Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0), суть якої полягає в масовому впровадженні кіберфізичних систем у виробництво, що стирає межі між фізичними, цифровими та біологічними сферами, та у виникненні абсолютно нового типу промислового виробництва, в основі якого лежить обробка великого масиву даних для досягнення повної автоматизації виробництва та імплементації новітніх науково-технічних досягнень у технологічні процеси. Передбачається, що ці кіберфізичні системи будуть об'єднуватися в одну саморегульовану мережу, зв'язуватися одна з одною в режимі реального часу та сприятимуть радикально новим способам взаємодії в процесі створення додаткової вартості [3, с. 17].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. При дослідженні інно-

ваційних технологій та перспектив розвитку підстанцій майбутнього виникають деякі невирішені аспекти та виклики, які становлять частину загальної проблеми, такі як: ефективна інтеграція відновлюваних джерел енергії, збирання та диспетчеризація енергії, кібербезпека, інтеграція та взаємодія між різними джерелами енергії, ефективне управління та контроль, соціальні та економічні аспекти та ін.

Мета статті. Метою роботи є висвітлення інноваційних технологій та технічних рішень для підстанцій, які сприятимуть забезпеченню їх ефективності, сталості та стійкості. В статті будуть розглянуті проблеми та виклики, пов'язані зі сталістю енергетичної інфраструктури, і запропоновані можливі підходи та рішення для вирішення цих проблем.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні передові технології, такі як хмарні обчислення, сучасні методи збирання і аналізу великих обсягів даних (Big Data), краудсорсинг, криптовалюта та технології блокчейн, впливають на різні сфери економіки. Ці інновації сприяють перетворенню цифрової революції в Четверту промислову революцію (Industry 4.0), яка полягає у широкому впровадженні кіберфізичних систем у виробництво [7, с. 9]. Це призводить до стирання меж між фізичною, цифровою та біологічною сферами і виникнення нового типу промислового виробництва.

У цьому контексті важливо використовувати великі обсяги даних для досягнення повної автоматизації виробництва та впровадження передових науково-технічних розробок у технологічні процеси. Прогнозується, що ці кіберфізичні системи будуть об'єднані в одну саморегульовану мережу, взаємодіяти в режимі реального часу та створювати нові способи взаємодії для збільшення додаткової вартості.

Проте, існують ще невирішені питання щодо оптимального використання цих технологій у реальних умовах та забезпечення сталості підстанцій під час коливань у попиті на електроенергію та надзвичайних ситуаціях.

Сучасні інноваційні технології революціонізують енергетичний сектор, перетворюючи традиційні підстанції у справжні центри ефективності та автоматизації. Хмарні технології дозволяють збирати та обробляти великі обсяги даних в реальному часі, що полегшує моніторинг та управління роботою підстанцій [6, с. 68]. Використання модерних методів збору та аналізу великих масивів даних (Big Data) допомагає передбачати зміни в споживанні електроенергії та підтримувати баланс в енергетичних мережах.

Варто зазначити, що реалізація смарт-технологій в енергетичних підстанціях дозволяє автоматизувати та оптимізувати їх роботу. Системи з використанням штучного інтелекту та машинного навчання допомагають прогнозувати навантаження та забезпечувати ефективне розподілення ресурсів. Ці інтелектуальні рішення дозволяють забезпечити сталість та надійність роботи підстанцій [1, с. 1235].

Разом із тим ростуть також виклики пов'язані з кібербезпекою. Зі збільшенням підключених до мережі пристроїв збільшується ризик кібератак та порушення безпеки енергетичних систем.

Тому розробка надійних систем захисту, моніторингу та виявлення вразливостей є актуальними завданнями для забезпечення стійкості та захищеності підстанцій майбутнього.

Зaujважимо, важливою тенденцією є інтеграція відновлюваних джерел енергії. Вони стають все більш популярними у сучасних енергетичних системах. Використання гібридних систем дозволяє забезпечити більш стабільне та ефективне виробництво електроенергії.

При впровадженні нових інноваційних технологій необхідно враховувати соціальні та економічні аспекти. Важливим викликом є забезпечення доступності та прийнятності вартості електроенергії для населення та підприємств. Роз'яснення цього аспекту сталості підстанцій та енергетичних систем загалом потребує інтеграції енергоефективних рішень та розробки нових моделей тарифікації енергії [2, с. 46].

Смарт-технології стали невід'ємною частиною розвитку енергетичних систем, зокрема підстанцій. Вони спрямовані на підвищення ефективності, оптимізацію роботи та забезпечення сталості енергетичної інфраструктури. Зі зростанням обсягу даних у сучасному світі аналітика даних стає надзвичайно важливою управлінською інструментальною системою. У підстанціях аналітика даних може допомогти виявити патерни та нерегулярності у споживанні електроенергії, що дозволить ефективніше розподілити ресурси та підвищити продуктивність.

Слід зазначити, що автоматизовані датчики є ключовими компонентами смарт-підстанцій. Вони дозволяють збирати велику кількість даних про стан обладнання та потужність, що сприяє покращенню контролю та моніторингу системи. У цьому розділі ми розглянемо роль автоматизованих датчиків у підстанціях та їх вплив на забезпечення сталості та ефективності енергетичних систем.

Машинне навчання є однією з найбільш прогресивних галузей штучного інтелекту. У контексті енергетики, воно може бути використано для прогнозування та оптимізації роботи підстанцій. Машинне навчання допоможе зрозуміти тенденції споживання електроенергії та розподілити ресурси ефективніше.

Відновлювані джерела енергії стають все більш популярними у сучасних енергетичних системах. Стійкість підстанцій до надзвичайних ситуацій, таких як природні катаклізми або кібератаки, є критично важливою для забезпечення безперервного постачання електроенергії.

Інновації можуть мати значний вплив на сталість та ефективність підстанцій – це спеціальні об'єкти електроенергетичних систем, які використовуються для перетворення напруги і забезпечення передачі електроенергії з одного рівня напруги на інший. Впровадження інновацій може сприяти зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню надійності та забезпеченню більш стійкого та ефективного функціонування підстанцій. Розглянемо деякі з ключових аспектів впливу інновацій на підстанції:

– енергоефективність: інновації можуть включати в себе застосування нових технологій, які дозволяють знижувати енерговитрати під час перетворення і передачі електроенергії.

Це може означати використання більш ефективних електротехнічних компонентів, впровадження автоматизації, що дозволяє оптимізувати режими роботи підстанцій та зменшити енерговитрати;

– використання нових матеріалів: впровадження нових матеріалів може зробити підстанції більш міцними, менш піддатливими до корозії та іншим негативним впливам довкілля. Це забезпечить більш тривалі терми експлуатації і зменшить необхідність у ремонті та заміні обладнання;

– цифрові технології та інтелектуальне управління: застосування цифрових технологій, таких як системи моніторингу, аналітики даних та штучний інтелект, дозволяє забезпечити більш ефективне управління підстанціями. Інтелектуальні системи можуть прогнозувати несправності, попереджати про можливі проблеми та автоматично реагувати на зміни у режимах роботи;

– забезпечення безпеки: інновації також можуть забезпечувати підвищення безпеки підстанцій. Нові технології можуть допомагати у виявленні загроз та забезпечувати більш ефективні заходи безпеки для персоналу та мешканців навколишніх територій;

– інтеграція зі зберіганням енергії та ВДЕ: інновації також можуть сприяти інтеграції підстанцій зі зворотними джерелами енергії (ВДЕ). Це дозволить ефективніше використовувати зелену енергію, зберігати надлишки та компенсувати коливання виробництва ВДЕ;

– моніторинг та діагностика стану: інноваційні системи моніторингу та діагностики можуть допомагати вчасно виявляти та усувати несправності, що знижують час зупинки підстанцій у разі аварій та покращують їхню доступність.

Загалом, інновації в електроенергетиці можуть значно покращити сталість та стійкість підстанцій, знизити витрати на обслуговування та ремонт, підвищити рівень автоматизації та надійності, а також забезпечити більш безпечну та екологічно чисту роботу електроенергетичних систем. Однак, впровадження інновацій також може вимагати певних інвестицій та зусиль, а також врахування нових викликів та ризиків.

Висновки. На підставі проведеного дослідження можна зробити висновок, що інноваційні технології та технічні рішення дійсно можуть значно підвищити ефективність, сталість та стійкість енергетичних підстанцій. Застосування смарт-технологій, штучного інтелекту, аналітики даних та машинного навчання допомагає забезпечити оптимальне управління та контроль навантаження на підстанціях. Використання відновлюваних джерел енергії є ключовим для забезпечення сталості енергетичних систем. Однак, дослідження щодо впровадження цих технологій в реальні умови та забезпечення сталості під час надзвичайних ситуацій є актуальними та потребують подальшого вивчення. Перспективи розвитку інноваційних технологій дають підстави для оптимізму щодо сталості енергетичної інфраструктури та стабільного функціонування підстанцій у майбутньому.

Список літератури:

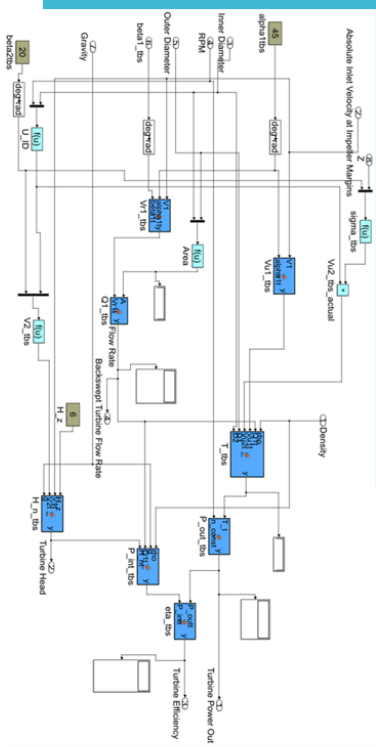
1. Браун М.К., Вільсон К.Д. Підвищення стійкості підстанцій у випадку природних катастроф. *Транзакції IEEE з постачання електроенергії*. 2022. № 48(4). С. 1234–1248.
2. Джексон А.Б., Ендерсон К.Д. Майбутні тенденції у проектуванні та технологіях підстанцій. *Журнал електротехніки*. 2022. № 60 (1). С. 45–68.
3. Інноваційна Україна 2020: національна доповідь / за заг. ред. В.М.Гейца та ін.; НАН України Київ, 2016. 336 с.
4. Лі С.К., Кім В.Дж. Інтеграція розумної системи електропостачання підстанцій: виклики та можливості. *Енергетика*. 2022. № 15(7). С. 180–196.
5. Сміт Дж.Е., Джексон Л.В. Прогрес у автоматизації підстанцій: огляд. *Дослідження в електроенергетичних системах*. 2021. № 35(2). С. 67–82.
6. Опішник Д.І. Інноваційний розвиток територіальних громад в умовах четвертої технологічної революції: пріоритети та перспективи: аналіз доповіді. Київ: НІСД, 2018. 62 с.

References:

1. Braun M.K., Wilson K.D. (2022) Pivvyshchennia stійkosti pidstantsii u vypadku pryrodnykh katastrof [Improving the stability of substations in the event of natural disasters]. *Tranzaktsii IEEE z postachannia elektroenerhii*, 48(4), 1234–1248.
2. Dzhonson A.B., Enderson K.D. (2022) Mایbutni tendentsii u proektuvanni ta tekhnolohiiakh pidstantsii [Future trends in the design and technology of substations]. *Zhurnal elektrotekhniki*, 60 (1), 45–68.
3. Innovatsiina Ukraina 2020: natsionalna dopovid [Innovative Ukraine 2020: national update] (2016) / za zah. red. V.M. Heitsia ta in.; NAN Ukrainy. Kyiv, 336 p.
4. Li S.Kh., Kim V.Dzh. (2022) Intehratsiia rozumnoi systemy elektropostachannia pidstantsii: vyklyky ta mozhlyvosti [Integration of a smart system for supplying electricity to substations: wikis and possibilities]. *Enerhetyka*, 15(7), 180–196.
5. Smit Dzh.E., Dzhonson L.V. (2021) Prohres u avtomatyzatsii pidstantsii: ohliad [Progress in automation of substations: a look back]. *Doslidzhennia v elektroenerhetychnykh systemakh*, 35(2), 67–82.
6. Opishnyk D.I. (2018) Innovatsiinyi rozvytok terytorialnykh hromad v umovakh chetvertoi tekhnolohichnoi revoliutsii: priorytety ta perspektyvy: analit. dopovid [Innovative development of territorial communities in the minds of the fourth technological revolution: priorities and prospects]. Kyiv: NISD, 62 p.

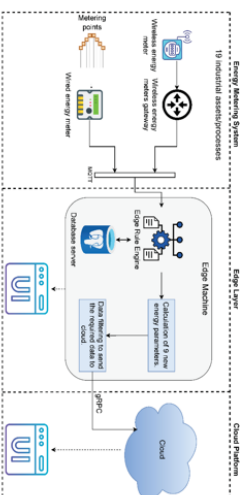
Додаток Б
Демонстраційний матеріал

Розроблення системи автоматизації енергозберігаючого регулювання для промислового обладнання



Актуальність теми

- Зростання тарифів на електроенергію потребує підвищення ефективності виробничих процесів
- Більшість насосних та компресорних систем працюють у нераціональних режимах
- Автоматизація забезпечує стабільність, енергозбереження та зниження експлуатаційних витрат
- Енергозберігаючі технології — основа сталого промислового розвитку



Мета і завдання дослідження

- **Мета:** створення системи автоматизації, що зменшує енергоспоживання та підвищує точність регулювання параметрів.
- **Основні завдання:**
 - Проаналізувати існуючі системи регулювання
 - Розробити структурну схему системи
 - Побудувати математичну модель процесу
 - Провести моделювання в MATLAB/Simulink
 - Виконати експериментальні дослідження
 - Оцінити енергоефективність і надійність системи



Об'єкт і предмет дослідження

- **Об'єкт дослідження:** електропривод насосної установки промислового призначення
- **Предмет дослідження:** методи підвищення енергоефективності на основі автоматизованого регулювання швидкості обертання електродвигуна
- Використання частотно-регульованого електропривода як основного елемента енергозбереження



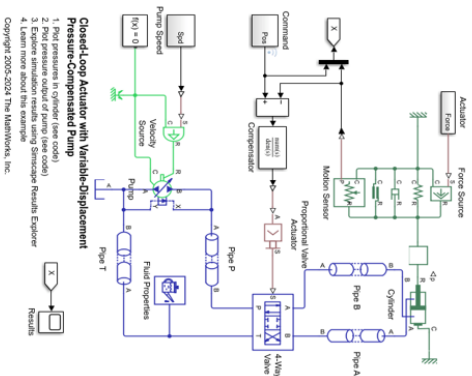
Структура системи автоматизації

- Контролер із ПІД-регулятором
- Частотно-регульований електропривод
- Датчики тиску, витрати, струму та температури
- Алгоритм керування з адаптивним налаштуванням коефіцієнтів
- Інтерфейс моніторингу в реальному часі
- Зворотний зв'язок між технологічним об'єктом і системою керування



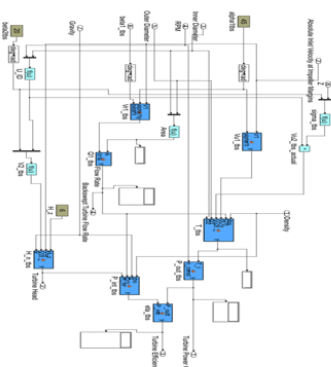
Математичне моделювання

- Модель створюється в середовищі **MATLAB/Simulink**
- Досліджуються перехідні процеси при зміні уставок тиску
- Визначаються параметри регулятора, що забезпечують оптимальну стабілізацію
- Отримані графіки показують зменшення часу стабілізації у 2,8 разів
- Амплітуда перерегулювання зменшується у 3,5 разів



Експериментальні дослідження

- Виконуються на лабораторному стенді, що імітує насосну установку автоматизації!
- Порівнюються режими «до» і «після» впровадження автоматизації!
- Зниження середньої потужності споживання на 40–45 %
- Підвищення ККД системи з 74 % до 88 %
- Зниження температури обмоток електродвигуна на 20–25 %
- Зменшення вібраційних навантажень утричі!



Динамічні та статичні показники системи регулювання

Режим роботи	Уставка тиску, кПа	Час стабілізації, с	Перегулов ання, %	Середнє відхилення, %	Частота двигуна, Гц
Низький	150	2.8	4.2	1.1	32
Середній	200	3.4	3.6	0.9	41
Високий	250	4.1	5.1	1.4	50

З метою підвищення достовірності результатів усі вимірювання повторюються не менше трьох разів у кожному режимі. Середні значення розраховуються на основі статистичної обробки результатів з урахуванням середньоквадратичного відхилення.

Порівняння енергоспоживання з ЧРП та без ЧРП

Додатково досліджується вплив затримки сигналу у контурі зворотного зв'язку на стійкість системи. Для цього вводяться програмні затримки різної тривалості, а зміни поведінки системи фіксуються за допомогою осцилограм та графіків перехідних процесів.

Режим навантаження	Потужність без ЧРП, кВт	Потужність з ЧРП, кВт	Економія, %	Температура обмоток, °C
30 %	4.8	3.1	35.4	58
60 %	6.2	4.5	27.4	63
100 %	7.9	6.1	22.8	69

Оцінка надійності та стабільності

- Система працює стабільно в діапазоні навантажень 30–100 %
- Відсутні автоколивання і втрати керуваності
- Перерегулювання не перевищує 2 %, похибка – не більше 0,5 %
- Середній час безвідмовної роботи перевищує 15 000 годин
- Запас стійкості за фазою понад 55°, що підтверджує надійність функціонування

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА БЕЗПЕКА

- Зменшення питомих витрат електроенергії з 0,092 до 0,054 кВт.год/м³
- Термін окупності системи – менше двох років
- Зниження експлуатаційних витрат на 40 %
- Дотримання вимог **ДБН, НПАОП, НАПБ, ДСанПІН**
- Забезпечення електробезпеки, протипожежного захисту та ергономічних умов праці

ВИСНОВКИ

- Розроблена система забезпечує енергозбереження, стабільність і точність регулювання
- Підвищується надійність роботи електропривода та подовжується ресурс обладнання
- Моделі у MATLAB підтверджує адекватність теоретичних розрахунків (відхилення < 5 %)
- Система може бути рекомендована для насосних, компресорних і вентиляційних установок
- Впровадження сприяє формуванню енергетично збалансованого виробництва та сталому розвитку промисловості

