

Сумський державний університет  
40007, м.Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

ПОГОДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи,  
д-р фіз.-мат. наук, проф.

\_\_\_\_\_ Анатолій ЧОРНОУС  
м.п.

**ПРОМІЖНИЙ ЗВІТ**  
**за результатами виконання етапу наукової (науково-технічної) роботи**  
(звіт про проміжні результати проекту)  
*«Інтелектуальна інформаційна технологія проактивного управління  
енергетичною інфраструктурою в умовах ризиків та невизначеності»*

Науковий керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Віра ШЕНДРИК

Рік завершення 2023, номер етапу 1

Підготовку звіту завершено 18 грудня 2023 р.

1. Номер державної реєстрації проєкту: 0123U101852.
2. Номер договору, за яким надається фінансування (за наявності): \_\_\_\_\_
3. Найменування організації-виконавця проєкту/грантоотримувача: Сумський державний університет.
4. Прізвище та ім'я наукового керівника (головного дослідника, principal investigator (PI)) проєкту: Шендрик Віра.
5. Місце основної роботи наукового керівника: кафедра інформаційних технологій Сумського державного університету.
6. Терміни та тривалість виконання проєкту:
  - Тривалість проєкту 34 місяці
  - Початок 01.03.2023
  - Закінчення 31.12.2025
  - Тривалість звітнього етапу 10 місяців
  - Початок 01.03.2023
  - Закінчення 31.12.2023
7. Обсяги фінансування проєкту:
  - Загальний обсяг фінансування:
  - за запитом (заявкою) 3750,0 тис.грн
  - фактичний \_\_\_\_\_ тис.грн
  - Обсяг фінансування звітнього етапу:
  - за запитом (заявкою) 1114, 2 тис.грн
  - фактичний 779,953 тис.грн
8. Перелік виконавців з оплатою праці (ПШБ, посада за основним місцем роботи, посада за проєктом (або договір ЦПХ), окремо зазначаються молоді вчені, студенти, аспіранти (за наявності)) (Додаток 1 до звіту).

Керівник Шендрик Віра Вікторівна, завідувач кафедрою ІТ СумДУ, відповідальний виконавець Парфененко Юлія Вікторівна, доцент кафедри ІТ, с.н.с. кафедри ІТ СумДУ, Павленко Петро Миколайович, кафедра організації авіаційних перевезень НАУ, п.н.с. кафедри ІТ СумДУ, Бойко Ольга Василівна, старший викладач, с.н.с. кафедри ІТ СумДУ, Нагорний Володимир В'ячеславович, доцент кафедри ІТ, с.н.с. кафедри ІТ СумДУ, Братушка Лариса Миколаївна, провідний фахівець, інженер I категорії кафедри ІТ СумДУ, Кіншаков Едуард Віталійович, аспірант, інженер I категорії кафедри ІТ СумДУ, Комін Антон Сергійович, аспірант, інженер I категорії кафедри ІТ СумДУ, Холявка Євген Петрович, аспірант, інженер I категорії кафедри ІТ СумДУ, Богачов Максим Володимирович, Даниленко Роман Сергійович, Мельник Максим Сергійович, Тітарев Артем Максимович, Оськін Богдан Володимирович – студенти, договір ЦПХ (Додаток 1 до звіту)

9. Стислий зміст проєкту в цілому (актуальність, мета, основні завдання, ідеї, гіпотези тощо) (до 20 рядків):

**Актуальність.** Завдання ефективного управління енергетичною інфраструктурою, що є основою життєдіяльності суспільства, є одним із найважливіших пріоритетів національної безпеки та досягнення цілей сталого розвитку. У сучасному світі відбувається значне прискорення технічної, економічної та ринкової трансформації енергетичного сектору, які полягають у зміні концепції генерації, розподілу, використання енергії та управління всіма цими процесами. Залучення системного підходу до інтелектуального управління енергетичною інфраструктурою допоможе

аналізувати дані та приймати проактивні рішення зі зменшенням навантаження на людину-аналітика, що допоможе обробляти дані та приймати рішення швидше й точніше. **Мета науково-дослідної роботи** – отримання нових прикладних знань та практична розробка інтелектуальних розподілених систем підтримки прийняття рішень при проактивному управлінні енергетичною інфраструктурою, заснованої на методах штучного інтелекту та методах розподіленої обробки інформації. **Ідеєю проєкту** є проведення аналітичних досліджень, спрямованих на ідентифікацію критеріїв впливу на управління енергозабезпеченням в умовах ризиків та невизначеності, розроблення відповідних моделей і методів, що дозволить підвищити достовірність підтримки прийняття рішень. **Гіпотеза проєкту** полягає у тому, що інформаційна підтримка прийняття рішень у середовищі розподілених інформаційних систем сприятиме гнучкому та стійкому управлінні складними об'єктами енергетичної інфраструктури.

10. Основні результати виконання попереднього (за наявності) етапу (до 20 рядків): попереднього етапу немає.

11. Номер та назва звітнього етапу (за наявності):

1. Аналітичні дослідження, ідентифікація критеріїв впливу на процес функціонування енергетичної інфраструктури, визначення метрик та оцінок процесів експертами, розробка методу оцінки одночасно впливу декількох критеріїв, що характеризують якість взаємодії та взаємного впливу кількох об'єктів у енергетичній інфраструктурі.

12. Опис процесу реалізації (хід виконання, які дослідження проводились, які методики використовувались тощо) проєкту за звітнім етапом (до 50 рядків)

Проведено аналітичні дослідження сучасного стану застосування інтелектуальних технологій для підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною інфраструктурою. З використанням методології системного аналізу досліджено взаємодію між фізичними компонентами енергетичних систем та відповідним інформаційним забезпеченням, а також моделі, які представляють поведінку системи з часом і можуть забезпечити ефективні прогнози споживання та виробництва з урахуванням соціальних та економічних аспектів. Розглянуто інтелектуальні технології як методологічні основи обробки, використання та оцінки великих енергетичних даних, управління енергією на стороні попиту, прогнозування попиту у енергозабезпеченні, управлінні енергією, орієнтованому та стійкості та забезпечення комфорту споживача. Проведено дослідження вимог до інтелектуального управління забезпеченням енергією в умовах ризиків та невизначеності. Виконано аналітичний огляд програмних засобів управління енергетичними системами, розглянуто їх функції та окреслено невирішені завдання. Виконано аналіз факторів впливу на функціонування енергетичної інфраструктури в умовах ризиків та невизначеності із використанням методів опитування, кейс-стаді, аналізу профілей споживання, а також із застосуванням методики прогностичної аналітики. При аналізі профілей споживання використані методи аналізу часових рядів для виявлення пікових значень та відхилень показників від діапазонів нормативних значень. Прогностична аналітика критеріїв впливу проводилася шляхом дослідження впливу вхідних параметрів на точність прогнозування споживання електричної енергії. Застосовувалися методи первинного та статистичного відбору атрибутів, у тому числі кореляційний аналіз, а також методи машинного навчання, зокрема алгоритм Random Forest. Проводилася крос-валідація та оцінка важливостей атрибутів. Для перевірки достовірності обраних критеріїв

виконувалося прогнозування енергоспоживання з їх використанням та проводилася оцінка точності прогнозування. Був проведений наукометричний та бібліометричний аналіз для ідентифікації та аналізу методів забезпечення довіри до інформаційного забезпечення управління енергетичною інфраструктурою як фактору впливу на ефективність підтримки прийняття рішень. Методом структурно-функціонального аналізу досліджено взаємодію складових інформаційного забезпечення проактивного управління енергетичною інфраструктурою та їх взаємного впливу. Для узгодження та оптимізації інформаційних потоків в системі, що має складну структуру та велику кількість взаємодіючих компонентів, було використано метод моделювання у нотації BPMN. Проведено формалізацію знань експертів у оціночних метриках з наступним приведенням оцінок до єдиної шкали, при цьому використано статистичні методи обробки думок експертів, методи перевірки стійкості думок експертів. Використано методи нечіткого представлення знань та нечіткої логіки. Для збору експертних суджень використано метод анкетування шляхом проведення опитування експертів у веб-інтерфейсі інформаційної системи.

Виявлено, що критерії впливу необхідно розглядати як у технічному, так і у користувацькому аспектах. Перший з аспектів пов'язаний з нестаціонарністю та слабкою передбачуваністю процесів генерації та споживання, не дотриманні енергетичного балансу. Для ідентифікації технологічних ризиків проведено детальний аналіз споживацьких профілів. Визначено, що профіль побутового споживача електроенергії є найбільш складним для прогнозу та аналізу, визначено діапазони змін та шкали вимірювання основних критеріїв. Для ідентифікації користувацьких ризиків запропоновано використовувати таргетну модель та модель RIO-RIT-REO-RET-аналізу (Risks Internal Opportunities–Risks Internal Treats–Risks External Opportunities – Risks External Treats). Пропонується розглядати синергетичний ефект критеріїв впливу.

13. Результати виконання звітнього етапу відповідно до технічного завдання/календарного плану:

13.1 Заплановані завдання звітнього етапу проекту (*перерахуйте завдання звітнього етапу, окреслені у запиті (технічному завданні/календарному плані) проекту*) (до 20 рядків): \_\_\_\_\_

1.1 Розробка методів ідентифікації критеріїв впливу, очікувані результати: для кожного ідентифікованого критерія визначені відповідні показники, які дозволять зробити його якісну оцінку та визначити кількісне значення.

1.2 Розробка методів структурування знань експертів, очікувані результати: метод оцінки кількох критеріїв, який дозволяє досліджувати компромісний вплив критеріїв.

1.3. Формалізації знань у оціночних метриках, приведення оцінок до єдиної шкали вимірювання. Розробка структурних моделей взаємодії об'єктів та їх взаємного впливу, очікувані результати: стандартизовані шаблони лінгвістичних змінних для опису слабоструктурованих елементів моделей процесів в енергетичних об'єктах та думки експертів. Метод інтеграції та звужування різних показників щодо визначення компромісів між ними, нормалізація критеріїв для забезпечення їх порівнянності.

13.2 Отримані результати звітнього етапу проекту (опишіть отримані результати виконавцями протягом звітнього періоду, посилаючись на заплановані та досягнуті цілі, задачі та індикатори виконання, згадані в технічному завданні/календарному плані дослідження. Включіть посилання на публікації у наукових виданнях, інші показники з п. 18, що є підтвердженням досягнення результатів виконання етапу, якщо такі показники передбачені) (до 70 рядків):

Критерії впливу на процес управління енергетичною інфраструктурою розглядалися у двох аспектах: технологічному і користувацькому. Дослідження технологічного аспекту показало, що оптимальне функціонування енергетичних систем залежить від функціональної сумісності, масштабованості та доступності джерел енергії, доступності та організованості даних та інформації для підтримки прийняття рішень. У дослідженні також було запропоновано проводити оцінку енергомереж за такими ключовими критеріями, як доступність, надійність та стійкість [3, 16]. Крім того, було показано, що життєвий цикл енергії супроводжується двонаправленими потоками інформації. Управління гібридними системами є складним через ієрархічну багаторівневу систему управління і його також слід розділити на тактичне та стратегічне. Стратегічне управління гібридною системою допомагає вибрати відповідне рішення, яке відноситься до найбільш оптимальних у поточних умовах та режимі роботи. Інтелектуальні технології допомагають вирішити проблеми взаємодії, масштабованості та керування доступністю [2-4,10-12]. При прийнятті рішень щодо оптимального онлайн-режиму роботи слід використовувати технології Edge Computing. Поєднання Edge Computing і Cloud зі штучним інтелектом дозволяє забезпечити прийняття стратегічних рішень. Для ідентифікації технологічних ризиків проведено детальний аналіз споживацьких профілів та виконувалося прогнозування споживання електричної енергії [1,6, 13,15]. Розроблено моделі прогнозування енергоспоживання для різних часових інтервалів з використанням архітектур нейронних мереж LSTM, RNN, авторегресійної моделі SARIMAX для різних вхідних даних. Встановлено, що найбільш непередбачувану поведінку при користуванні енергоресурсами має побутовий споживач, що ускладнює застосування типових профілей споживання і вимагає індивідуалізованого підходу. Проведені дослідження щодо імплементації моделей прогнозування енергоспоживання методами машинного навчання в Edge Cloud архітектурі [8]. Це безпосередньо впливає на комфорт та зручність кінцевого користувача. Енергомережа здатна адаптувати свою роботу до звичок користувача, забезпечуючи оптимальні умови без надмірного споживання енергії. Це не лише підвищує якість життя, але також сприяє сталому майбутньому відповідно до Цілей сталого розвитку (ЦСР) 3 та 11 [15]. Визначено, що профіль побутового споживача є найбільш складним для прогнозу та аналізу, визначено діапазони змін та шкали вимірювання основних критеріїв [13, 15]. Для ідентифікації користувацьких ризиків запропоновано використовувати таргетну модель та модель RIO-RIT-REO-RET-аналізу (Risks Internal Opportunities - Risks Internal Treats - Risks External Opportunities Risks External Treats). Пропонується розглядати синергетичний ефект критеріїв впливу, як поєднання ризиків на внутрішніх можливостей [7].

Для вирішення завдань оцінки мікрогридів запропоновано використовувати метод експертної оцінки інформації та нечіткої логіки [16]. Експерти були задіяні для надання цінних суджень, що стали основою для кількісної та якісної оцінки мікрогридів. Використання нечіткої логіки дозволило моделювати невизначеність в контексті

мікрогрід, враховуючи не лише точні значення параметрів, але й нечіткі відносини між ними. Застосування нечітких термів та функцій належності дозволило кількісно оцінити параметри стійкості напруги, враховуючи експертні судження. Цей підхід виявив адаптивність до змін умов та вимог, що забезпечує можливість швидкої актуалізації експертних оцінок. Використання нечітких термів для оцінки стійкості енергомережі може внести вагомий внесок у забезпечення більш надійного електропостачання в регіонах, що відповідає досягненню ЦСР 11 та ЦСР 13. Виявлено проблеми взаємодії на інформаційному рівні, що полягають у слабоструктурованих моделях процесів в енергетичних об'єктах та оцінці думки експертів. Розроблено структурні моделі інтеграції даних у контексті прийняття рішень управління енергомережею за допомогою впровадження інноваційних архітектурних рішень, які враховують взаємодії об'єктів та їх взаємний вплив. Розв'язання проблеми інтеграції даних із різних джерел дозволяє створити систему управління енергією, яка відповідає ЦСР 12 [5,9]. Проведений аналіз систем підтримки прийняття рішень для управління енергетичною інфраструктурою показав, що значною проблемою є відсутність достатнього рівня інформаційної підтримки користувачів, підтримки та впровадження експертних знань. Отже, залишається невирішеною проблема інформаційної підтримки усіх стейкхолдерів при управлінні енергосистемами як досягнення компромісів. Визначено функціональні та нефункціональні вимоги до програмних засобів управління енергетичною інфраструктурою та категорії стейкхолдерів-користувачів. Розглянуто питання підвищення довіри до енергетичних систем шляхом розроблення дружніх до споживача енергетичних послуг інтерфейсів. Вирішена проблем інтеграції даних у контексті прийняття рішень з управління енергомережею за допомогою впровадження інноваційних архітектурних рішень. Цей методологічний підхід прокладає шлях до створення цілісної та адаптивної системи управління енергією, яка відповідає ЦСР 12. [9,14]. Шляхом ретельного дослідження можливостей проектування архітектур Edge Cloud, енергетичні системи можуть досягти більш високого рівня інтелектуалізації. Енергетична мережа завдяки такому підходу, може динамічно адаптуватися до вимог споживача у реальному часі, вдосконалюючи енергоспоживання та раціоналізуючи витрати на комунальні послуги. Це гармонізується із ЦСР 7 і ЦСР 13.

13.3 Відхилення від календарного плану дослідження (за наявності) (*вказіть та детально обґрунтуйте можливі відхилення від технічного завдання/календарного плану дослідження та їх потенційний вплив на подальше виконання проєкту* (до 30 рядків): відхилення від календарного плану дослідження відсутні.

14. Наукова цінність і актуальність отриманих результатів (науково-технічної продукції), їх порівняння з українськими та/або кращими закордонними аналогами (до 30 рядків):

Наукова цінність і актуальність отриманих результатів полягає в застосуванні розроблених моделей і методів в інтелектуальній інформаційній технології проактивного управління енергетичною інфраструктурою для підтримки прийняття рішень при управлінні енергоспоживанням в умовах ризиків та невизначеності. Зокрема розроблення методу ідентифікації критеріїв впливу на процес управління енергетичною інфраструктурою дозволило визначити відповідні показники, виконати їх якісну оцінку та визначити діапазони змін можливих кількісних значень, що буде враховано в системі підтримки прийняття рішень.

Впровадження розроблених методів компенсації та забезпечення компромісного впливу критеріїв управління дозволить підтримувати стійкість енергетичної системи та задоволеність споживача наданими послугами. Застосування розробленого методу представлення знань експертів, зібраних за результатами проведеного опитування думок експертів, у кількісних шкалах, дозволяє уніфікувати критерії для використання в інформаційній системі підтримки прийняття рішень.

Розроблені структурні моделі взаємодії об'єктів – складових інформаційного забезпечення проактивного управління енергетичною інфраструктурою на відміну від існуючих враховують взаємний вплив моделей та комплексний цикл управління енергією й інформацією та враховують можливість їх розгортання у хмарній архітектурі, що на даний час є актуальним з огляду на можливість масштабування інформаційної системи та безпеку даних.

Розглянуті аналоги та прототипи розробки – системи управління енергією MEMS, RETScreen, Homer, OpenSolar не надають достатній рівень інформаційної підтримки користувачів, через що не сприймаються користувачами, що ускладнює їх використання для підтримки прийняття рішень. Крім того, більшість рішень сформульовані експертами без повного врахування переваг споживачів і орієнтовані у першу чергу на досягненні економічної ефективності. Отримані в результаті проведеного дослідження моделі та методи будуть імплементовані в інформаційній системі підтримки прийняття рішень при проактивному управлінні енергетичною інфраструктурою, що буде впроваджена у програмному забезпеченні, перевагою якого серед існуючих розробок є розширення знань стосовно потреб користувачів енергетичної системи, методів візуалізації даних у зручній для користувачів формі, методів прогнозування пікових навантажень, планування балансування енергомереж відповідно до поточної конфігурації і наявності ресурсного забезпечення.

15. Практична цінність результатів для потреб оборони, безпеки, економіки та/або суспільства України (у разі наявності) (до 30 рядків):

Одержані у роботі наукові результати можуть бути використані у подальших прикладних дослідженнях при розробленні інтелектуальної інформаційної технології проактивного управління енергетичною інфраструктурою в умовах ризиків та невизначеності. Відбувається налагоджена співпраця з Університетом Мальмо (Швеція) у рамках проекту «Intelligent Management of Hybrid Energy Systems». Заключено договір про співпрацю з Інститутом проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України. Апробація результатів НДР проводилася на наукових семінарах Ліверпульського університету (Великобританія) у липні-серпні 2023 року за міжнародним науковим проектом «Collaboration for Digitalisation and Digital Transformation of Ukraine» в рамках програми «Ініціатива єднання».

16. Основні кількісні показники/індикатори\* виконання звітної етапу **за темою** проекту (у звіті залишити лише ті показники з таблиці, які планувались у запиті (заявці/договорі на отримання фінансування (надання грантової підтримки)), із зазначенням відповідного фактичного кількісного виконання цих показників/індикаторів. Якщо у запиті (заявці тощо) кількісні показники не планувались, то у звіті можуть зазначатись лише показники у разі їх наявності виконання):

№ з/п	Показники/індикатори	Заплановано (відповідно до запиту на фінансування /ТЗ/КП тощо), кількість	Виконано (за результатами етапу), кількість
1.	<b>Публікація результатів:</b>		
1.1.	Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних: - Scopus та/або Web of Science Core Collection, всього, од. з них із квантилем Q1 і Q2 на момент опублікування, од. з них із квантилем Q3 і Q4 на момент опублікування, од.	2 0 2	5 0 5
1.3.	Статті у наукових журналах (без квантилю), збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection (крім тих, що увійшли до п.1.1), од.	2	2
1.4.	Статті у фахових виданнях України категорії «Б», од.	2	2
1.6.	Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України та не індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection, од.	3	7
2.	<b>Презентація та дисемінація результатів:</b>		
2.1.	Міжнародні науково-комунікативні заходи, конференції, од.	1	5
4.	<b>Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності (ОПІВ)</b>		
4.5.	Інші ОПІВ, які не описані у пп. 4.1-4.4, од.	0	1
4.6.	Подано заявок на отримання охоронного документу на ОПІВ України та /або інших країн, од.	0	3
5.	<b>Впровадження та використання наукових або науково-технічних (прикладних) результатів:</b>		
5.5.	Впроваджено у освітній процес ЗВО/НУ з відповідним підтвердженням, од.	1	1
7.	<b>Участь з оплатою у виконанні проєкту (штатних одиниць/осіб) згідно з Додатком 1:</b>		
7.1.	Студентів (здобувачів вищої освіти I-II рівнів), шт.од./ осіб	2	5
7.2.	Аспірантів (здобувачів вищої освіти III рівня), шт.од./ осіб	1	3
7.3.	Молодих вчених, шт.од./ осіб	2	2

17. Відхилення від запланованих показників/індикаторів, зазначених у п. 16 (у разі наявності зазначити і обґрунтувати причини таких відхилень та їх вплив на подальше виконання проєкту) (до 20 рядків): відхилення від запланованих показників немає.

18. Вихідні дані щодо показників виконання відповідно до пунктів п. 16 (зазначити дані про публікації, конференції, захисти дисертацій, отримання ОПІВ, впровадження, створення НТП, залучення молодих вчених, студентів, аспірантів тощо) з додаванням WEB-посилання (за наявності) на ресурси, де вони розміщені:

### **Публікації:**

1.Parfenenko, Y. V., Shendryk, V. V., Kholiavka, Y. P., & Pavlenko, P. M. (2023). Comparison of Short-term Forecasting Methods of Electricity Consumption in Microgrids. Radio Electronics, Computer Science, Control, (1), 14. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-1-2> (Фахове видання, індексується WoS)

2.Sydorenko, A. Perekrest, V. Shendryk, S. Shendryk. Machine Learning Optimization of Air Heating Time in the Heating Control System of a Smart House. In: Karabegovic, I., Kovačević, A., Mandzuka, S. (eds) New Technologies, Development and Application VI. NT 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 707, pp.36–44 (індексується Scopus)

3. Shendryk, V., Malekian, R., Davidsson, P. Interoperability, Scalability, and Availability of Energy Types in Hybrid Heating Systems, *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2023, vol. 707, pp. 3–13 (індексується Scopus)
4. Y. Palazhchenko, V. Shendryk, and S. Shendryk, “Digital Twins Data Visualization Methods. Problems of Human Interaction: A Review”. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 687, pp. 478-485. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-31066-9> (індексується Scopus)
5. Olha Boiko, Vira Shendryk, Yuliia Parfenenko, Petro Pavlenko, Artem Titarev. Information Support of Stakeholders in the Management of Energy Systems: Development and Implementation of Interfaces. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol.6, 2023. (Фахове видання, індексується Scopus)
6. Kholiavka E., Parfenenko Yu. Forecasting Peak Load on the Power Grid. *Computer systems and information technologies*, vol. 3, 2023. P. 1-12. (Фахове видання)
7. Грабіна, К. В., & Шендрік, В. В. (2023). Метод управління ризиками ІТ-проектів з врахуванням загроз та можливостей. *Управління розвитком складних систем*, (55), 18–<https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.18-28>
8. Olha Boiko, Dmytro Shepeliev, Vira Shendryk, Reza Malekian, Paul Davidsson. A comparison of machine learning prediction models to estimate the future heat demand. *The IEEE 13th International Conference on Consumer Electronics, Berlin (ICCE-Berlin)*, 2023, pp. 141-146.
9. Olha Boiko, Vira Shendryk, Reza Malekian, Anton Komin and Paul Davidsson. Towards Data Integration for Hybrid Energy System Decision-Making Processes: Challenges and Architecture. *International Conference on Information and Software Technologies, ICIST 2023*. Vol.1979.
10. Титарев А. М., Лавров Є. А., Шендрік В. В., Парфененко Ю. В. Підхід до вибору типу енергетичної мікромережі для ділянки за допомогою наївного байєсівського класифікатора. *Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Астана, 24–28 квітня 2023 р.: тези доповідей. : СумДУ, 2023. С. 190-191.*
11. Титарев А.М., Парфененко Ю.В., Шендрік В.В. Web-додаток підтримки надання послуг від енергетичних мікромереж. *Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Астана, 24–28 квітня 2023 р.: тези доповідей. : СумДУ, 2023. С. 229-230.*
12. Троценко Д.С., Парфененко Ю.В. Web-додаток підтримки замовлення систем розумний будинок. *Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Астана, 24–28 квітня 2023 р.: тези доповідей. : СумДУ, 2023. С. 212.*
13. Kholiavka Ye., Parfenenko Yu. Peak Electricity Consumption Forecast for Different Consumers' Types. *Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Астана, 24–28 квітня 2023 р.: тези доповідей. : СумДУ, 2023. С. 213.*
14. Комін А.С., Бойко О.В. Архітектурне рішення для підсистеми підтримки управління гібридною енергосистемою з використанням машинного навчання на мобільних пристроях. За матеріалами XV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023», Хмельницький, 17-18 листопада 2023 р. С. 148-152.

15. Shepeliev D., Boiko O. AI for the future of electricity and heat: achieving a clean, efficient, and resilient microgrid. Information Technology and Implementation (Satellite): Conference Proceedings, November 21, 2023, Kyiv, Ukraine / Ministry of Education and Science of Ukraine, Taras Shevchenko National University of Kyiv and [etc]; Vitaliy Snytyuk (Editor). – Kyiv: Publishing House «Caravela», 2023. P 326-328.

16. Бойко О.В., Парфененко Ю.В.; Івашова Н.В.; Рикун В.А. Інформаційне забезпечення ефективності, надійності та стійкості мікрогрід: оцінка та управління на основі експертних суджень та нечіткої логіки. Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення». Режим доступу: <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-1483/>

#### **Презентація результатів:**

1. Шендрик В.В. та Парфененко Ю.В. – презентація результатів НДР на семінарах, які проводилися в рамках стажування за програмою «Співпраця для цифровізації та цифрової трансформації України» в Університеті м. Ліверпуль, Великобританія у липні-серпні 2023 року.

2. Бойко О.В. – виступ з доповіддю на міжнародній конференції The IEEE 13th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin) у м. Берлін, Німеччина.

3. Бойко О.В., Шендрик В.В. – участь у науковому семінарі The Synergy Project Workshop 06.12.2023 в Університеті Мальме, Швеція, тема доповіді "Models of Distributed Information Processing in Hybrid Energy Systems".

3. Шендрик В.В. – виступ з доповіддю на міжнародній конференції International Conference “New Technologies, Development and Applications”, 22-24 червня 2024 року, Сараєво, Боснія і Герцеговина.

4. Шендрик В.В. – виступ з доповіддю на міжнародній конференції International Conference on Information and Software Technologies, ICIST 2023, 12-14 жовтня 2023 року, Каунас, Литва.

5. Тітарев А.М., Холявка Є.П. – виступ з доповіддю на міжнародній конференції Інформатика, математика, автоматика, ІМА 2023, Суми – Астана, 24–28 квітня 2023.

6. Комін А.С. – виступ з доповіддю на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2023», Хмельницький, 17-18 листопада 2023 р.

7. Холявка Є.П. – виступ з доповіддю на II Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій», 6 грудня 2023 року, м. Черкаси, Україна.

#### **Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності:**

1. Бойко О.В., Шендрик В.В., Комін А.С., Братушка Л. М. Авторське свідоцтво на комп'ютерну програму «Мобільний iOS додаток прогнозування споживання електричної енергії промисловим підприємством з безперервним циклом виробництва» №121810 від 11.12.2023.

#### **Впровадження та використання наукових або науково-технічних (прикладних) результатів:**

1. Впроваджено в освітній процес Сумського державного університету (акт впровадження від 5 грудня 2023 року).

19. Рішення\*\* вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради або іншого керівного (дорадчого) органу (за відсутності зазначеної ради) організації-виконавця проекту щодо результатів розгляду проміжного звіту:

---

*(стисло зазначити текст висновку ради (органу) про відповідність/невідповідність виконаних за проектом робіт технічному завданню/календарному плану, номер та дату протоколу)*

**Додаток 1**  
**до проміжного звіту**

**Перелік виконавців проєкту з оплатою праці**

№	Прізвище, ім'я, науковий ступінь, вчене звання ( <i>особистий підпис, у разі необхідності</i> )	Основне місце роботи або здобуття освіти	Зазначити вік та наявність статусу молодого вченого (на момент подання звіту)	Посада за проєктом (або договір ЦПХ) та роль у проєкті (керівник, відповідальний виконавець, виконавець, студент, аспірант тощо)	Основні завдання у проєкті (стисло зазначити функції)
1	Шендрик Віра Вікторівна, к.т.н., доцент	Кафедра інформаційних технологій СумДУ	47 років	Керівник проєкту	Керівництво проєктом, аналіз результатів, написання звітів, підготовка публікацій, апробація результатів на семінарах та конференціях
2	Парфененко Юлія Вікторівна, к.т.н., доцент	Кафедра інформаційних технологій СумДУ	37 років	Відповідальний виконавець проєкту, старший науковий співробітник	Написання звітів, координація процесу виконання завдань виконавцями, підготовка публікацій, апробація результатів на семінарах та конференціях
3	Павленко Петро Миколайович, д.т.н., професор	Кафедра організації авіаційних перевезень, НАУ	68 років	Виконавець проєкту, провідний науковий співробітник	Розроблення методів ідентифікації критеріїв впливу на потребу в енергоспоживанні, підготовка наукових публікацій
4	Бойко Ольга Василівна, к.т.н.	Кафедра інформаційних технологій СумДУ	34 роки, молодий вчений	Виконавець проєкту, старший науковий співробітник	Формалізації знань у оціночних метриках, приведення оцінок до єдиної шкали, підготовка наукових публікацій
5	Нагорний Володимир В'ячеславович, к.т.н., доцент	Кафедра інформаційних технологій СумДУ	34 роки, молодий вчений	Виконавець проєкту, старший науковий співробітник	Аналітичні дослідження інформаційного забезпечення управління енергетичною інфраструктурою
6	Братушка Лариса Миколаївна	Кафедра інформаційних технологій СумДУ	59 років	Виконавець проєкту, Інженер I категорії	Підготовка звітної документації, наукових публікацій

№	Прізвище, ім'я, науковий ступінь, вчене звання (особистий підпис, у разі необхідності)	Основне місце роботи або здобуття освіти	Зазначити вік та наявність статусу молодого вченого (на момент подання звіту)	Посада за проектом (або договір ЦПХ) та роль у проєкті (керівник, відповідальний виконавець, виконавець, студент, аспірант тощо)	Основні завдання у проєкті (стисло зазначити функції)
7	Кіншаков Едуард Віталійович	Кафедра інформаційних технологій СумДУ	27 років, молодий вчений	Аспірант, Інженер I категорії	Написання програмного забезпечення для апробації розроблених моделей і методів
8	Комін Антон Сергійович	Кафедра інформаційних технологій СумДУ	33 роки, молодий вчений	Аспірант, Інженер I категорії	Розробка структурних моделей взаємодії об'єктів та їх взаємного впливу, підготовка наукових публікацій
9	Холявка Євген Петрович	Кафедра інформаційних технологій СумДУ	26 років, молодий вчений	Аспірант, Інженер I категорії	Ідентифікація критеріїв впливу на достовірність результатів прогнозування енергоспоживання, підготовка наукових публікацій
10	Богачов Максим Володимирович	Факультет Електроніки та інформаційних технологій СумДУ	20 років	Студент, договір ЦПХ	Написання програмного забезпечення для апробації розроблених моделей і методів
11	Даниленко Роман Сергійович	Факультет Електроніки та інформаційних технологій СумДУ	40 років	Студент, договір ЦПХ	Написання програмного забезпечення для апробації розроблених моделей і методів
12	Мельник Максим Сергійович	Факультет Електроніки та інформаційних технологій СумДУ	20 років	Студент, договір ЦПХ	Написання програмного забезпечення для апробації розроблених моделей і методів
13	Тітарев Артем Максимович	Факультет Електроніки та інформаційних технологій СумДУ	23 роки	Студент, договір ЦПХ	Написання програмного забезпечення для апробації розроблених моделей і методів, підготовка наукових публікацій
14	Оськін Богдан Володимирович	Факультет Електроніки та інформаційних технологій СумДУ	21 рік	Студент, договір ЦПХ	Написання програмного забезпечення для апробації розроблених моделей і методів

### **Анотація основних результатів звітнього етапу проєкту**

У сучасному світі відбувається прискорення технічної, економічної та ринкової трансформації енергетичного сектору, які полягають у зміні концепції генерації, розподілу, використання енергії та управління всіма цими процесами. Залучення системного підходу до інтелектуального управління енергетичною інфраструктурою допоможе аналізувати дані та приймати проактивні рішення зі зменшенням навантаження на людину-аналітика, що допоможе обробляти дані та приймати рішення швидше й точніше, що зумовлює актуальність дослідження.

Метою дослідження є отримання нових прикладних знань та практична розробка інтелектуальних розподілених систем підтримки прийняття рішень при проактивному управлінні енергетичною інфраструктурою, заснованої на методах штучного інтелекту та методах розподіленої обробки інформації.

Проведено аналітичні дослідження сучасного стану застосування інтелектуальних технологій для підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною інфраструктурою. Систематизовано підходи до застосування інтелектуальних технологій для підтримки прийняття рішень при управлінні енергоспоживанням в умовах ризиків та невизначеності та визначено вимоги до відповідного інформаційного забезпечення. Розроблено методи ідентифікації критеріїв впливу на процес управління енергетичною інфраструктурою, забезпечення компромісного впливу критеріїв управління з метою забезпечення стійкості енергетичної системи та задоволеності споживача наданими послугами. Розроблено структурні моделі взаємодії складових інформаційного забезпечення проактивного управління енергетичною інфраструктурою. Одержані у роботі наукові результати можуть бути використані у подальших прикладних дослідженнях при розробленні інтелектуальної інформаційної технології проактивного управління енергетичною інфраструктурою в умовах ризиків та невизначеності. У рамках завдань проєкту ведеться співпраця з університетом м.Мальме (Швеція) з метою проведення спільних досліджень. Одержані результати частково впроваджені у навчальний процес Сумського державного університету. Апробація результатів НДР проводилася на наукових семінарах університету міста Ліверпуль у липні-серпні 2023 року за міжнародним науковим проєктом «Collaboration for Digitalisation and Digital Transformation of Ukraine» в рамках програми «Ініціатива єднання» та на міжнародних наукових конференціях.

## **Abstract of the main results of the reporting stage of the project**

In the modern world, the technical, economic and market transformation of the energy sector is accelerating, which consists in changing the concept of generation, distribution, use of energy and management of all these processes. Involving a systems approach to the intelligent management of energy infrastructure will help analyze data and make proactive decisions with a reduction in the burden on the human analyst, which will help process data and make decisions faster and more accurately, which makes the research relevant.

The purpose of the research is to obtain new applied knowledge and practical development of intelligent distributed decision support systems for proactive management of energy infrastructure based on artificial intelligence and distributed information processing methods. Analytical studies of the current state of application of intelligent technologies to support decision-making in the management of energy infrastructure have been conducted. Approaches to the application of intelligent technologies to support decision-making in the management of energy consumption in conditions of risk and uncertainty were systematized, and requirements for appropriate information support were determined.

Methods to identify the criteria of influence on the energy infrastructure management process, to ensure the compromise influence of management criteria have been developed in order to ensure the stability of the energy system and consumer satisfaction with the services provided. Structural models of interaction of the components of information support for proactive management of energy infrastructure have been developed. The scientific results obtained in the work can be used in further applied research in the development of intelligent information technology for proactive management of energy infrastructure in conditions of risk and uncertainty. As part of the project's tasks, cooperation with the University of Malmö (Sweden) is carried out for the purpose of conducting joint research. The obtained results are partially implemented in the educational process of Sumy State University. Approbation of the results of the NDR was carried out at the scientific seminars of the University of Liverpool in July-August 2023 under the international scientific project "Collaboration for Digitalisation and Digital Transformation of Ukraine" within the framework of the "Unity Initiative" program and at international scientific conferences.