

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-85-23>

УДК 004.41:620.9

БАРАБАШ Олег

Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0003-1715-0761>

e-mail: bar64@ukr.net

СВИНЧУК Ольга

Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-9032-6335>

e-mail: 7011990@ukr.net

МИРОНЮК Микола

Національний університет оборони України

<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

e-mail: ycpex83@gmail.com

МАЙСТРОВ Олексій

Національний університет оборони України

<https://orcid.org/0000-0002-9054-8293>

e-mail: iappo.ndl@gmail.com

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ГІБРИДНИХ ІНВЕРТОРІВ НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМУ ВЕРСІОНУВАННЯ ПРОГРАМНИХ КОНФІГУРАЦІЙ

Статтю присвячено актуальній науково-практичній проблемі забезпечення функціональної стійкості систем моніторингу та керування енергетичними комплексами в умовах динамічних технічних збоїв та системних аномалій. Актуальність дослідження зумовлена трансформацією сучасної енергетики в напрямку Smart Grid та ускладненням алгоритмів керування гібридними інверторами. Метою дослідження є розробка програмного забезпечення, що реалізує механізм версіонування конфігурацій для підтримки функціональної стійкості енергосистеми. Запропоновано математичну модель оцінки стану системи через показник функціональної стійкості S , який базується на логічній кон'юнкції критичних параметрів телеметрії: напруги акумуляторних батарей, струму навантаження та потужності мережі. Така модель дозволяє формалізувати процес виявлення аномалій та автоматизувати прийняття рішення про необхідність відкату конфігурації.

Особливістю реалізованої архітектури на базі вебфреймворку Django та реляційної бази даних SQLite є створення гнучкого середовища для фіксації поточного стану системи, що дозволяє повноцінно керувати життєвим циклом конфігурацій. Завдяки розробленій структурі таблиць, система автоматично зберігає параметри налаштувань як окремі версії, що забезпечує можливість їх порівняння та швидкої активації.

Експериментальна перевірка проводилася на базі гібридного інвертора Victron MultiPlus-II з використанням Victron Remote Management (VRM) API. Результати підтвердили, що впроваджений механізм версій та алгоритм автоматичного відкату дозволяють мінімізувати вплив людських програмних помилок, гарантуючи стабільну роботу системи навіть в умовах нестабільної генерації та різких змін енергоспоживання.

Ключові слова: функціональна стійкість, гібридний інвертор, архітектура програмного забезпечення, моніторинг енергосистеми, механізм версій.

BARABASH Oleh, SVYNCHUK Olha

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

MYRONIUK Mykola, MAISTROV Oleksii

The National Defence University of Ukraine

3A ENSURING THE FUNCTIONAL STABILITY OF HYBRID INVERTERS BASED ON THE SOFTWARE CONFIGURATION VERSIONING MECHANISM

The article is devoted to the topical scientific and practical problem of ensuring the functional stability of monitoring and control systems for power complexes under conditions of dynamic technical failures and systemic anomalies. The relevance of the study is driven by the transformation of modern energy systems towards Smart Grid and the increasing complexity of control algorithms for hybrid inverters. The aim of the research is to develop software that implements a configuration versioning mechanism to support the functional stability of the power system. A mathematical model for assessing the system state through the functional stability index S is proposed, based on the logical conjunction of critical telemetry parameters: battery voltage, load current, and grid power. This model allows for the formalization of anomaly detection and the automation of decision-making regarding the necessity of configuration rollback.

The distinctive feature of the implemented architecture, based on the Django web framework and the SQLite relational database, is the creation of a flexible environment for capturing the current state of the system, which allows for comprehensive lifecycle management of configurations. Due to the developed table structure, the system automatically saves setting parameters as separate versions, providing the capability for their comparison and rapid activation.

Experimental verification was conducted on the basis of the Victron MultiPlus-II hybrid inverter using the Victron Remote Management (VRM) API. The results confirmed that the implemented versioning mechanism and the automatic rollback algorithm minimize the impact of human and software errors, ensuring stable system operation even under conditions of unstable generation and abrupt changes in energy consumption.

Keywords: functional stability, hybrid inverter, software architecture, energy system monitoring, versioning mechanism.

Стаття надійшла до редакції / Received 12.01.2025
Прийнята до друку / Accepted 29.02.2026
Опубліковано / Published 05.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Барабаш Олег, Свинчук Ольга, Миронюк Микола, Майстров Олексій

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Трансформація сучасної енергетики в напрямку інтелектуальних мереж Smart Grid та децентралізації виводить на перший план питання ефективного керування потоками потужності. У центрі таких рішень стоїть гібридний інвертор, інтегрований у систему генерації, розподілу та накопичення енергії з використанням відновлюваних джерел. Саме такий підхід є раціональним компромісом між повністю автономними об'єктами та системами, що працюють виключно від мережі. Гібридна архітектура дозволяє не лише підтримувати сталі енергопостачання споживачів, а й гарантує життєздатність системи в автономному режимі під час критичних збоїв або аварій у магістральних електромережах.

Однак, складність алгоритмів керування такими системами постійно зростає. Необхідність динамічного розподілу потоків енергії між фотоелектричними панелями, акумуляторними батареями, навантаженням споживача та зовнішньою мережею вимагає постійного оновлення програмного забезпечення. Будь-яка помилка в оновленому алгоритмі може призвести до критичних наслідків: від глибокого розряду батарей до повного знеструмування об'єкта.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Питання забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем є об'єктом активних досліджень протягом останніх десятиліть. Фундаментальні основи методології функціональної стійкості для інформаційних систем закладені в працях наукової школи професора Барабаша О.В., зокрема у контексті системного аналізу дестабілізуючих факторів та розробки адаптивних механізмів відновлення працездатності. У монографії [1] розглядається функціональна стійкість як здатність системи виконувати свої функції в умовах впливу дестабілізуючих факторів шляхом перерозподілу ресурсів. Для забезпечення функціональної стійкості багатомодульних інформаційних систем проводять моніторинг параметрів її технічного стану [2], визначають критерії для функціонально стійких складних систем [3]. Розроблені методи для забезпечення відмовостійкості інформаційної системи [4], методи для діагностики її несправностей [5], динамічного перерозподілу навантаження в інформаційних системах енергетичних мереж [6]. Особливе значення для енергетики мають роботи, присвячені моніторингу робочих параметрів складних об'єктів для забезпечення їхньої живучості [7]. У цих роботах наголошується, що для швидкого виявлення збоїв потрібно постійно стежити за даними системи. Це повністю збігається з нашою ідеєю використання показника функціональної стійкості. Проте більшість дослідників сьогодні приділяють увагу лише надійності самого обладнання або покращенню зарядки акумуляторів. При цьому майже ніхто не розглядає можливість використання механізму версій, який дозволяв би автоматично «відкочувати» налаштування до стабільного стану у разі помилки.

Існуючі комерційні рішення для моніторингу та керування, такі як Schneider Electric EcoStruxure, SMA Sunny Portal та Huawei FusionSolar [8-10], надають широкі можливості для візуалізації даних. Проте, аналіз їх функціоналу виявив ряд суттєвих обмежень:

- закритість алгоритмів, тобто користувач не має можливості гнучко налаштувати логіку пріоритетів розподілу енергії під специфічні потреби домогосподарства;
- відсутність безпечного середовища для тестування – оновлення прошивок або налаштувань відбувається «на живу», без попередньої симуляції поведінки системи;
- у разі некоректної роботи нової конфігурації повернення до попереднього стабільного стану часто вимагає ручного втручання або скидання до заводських налаштувань.

Для гібридних систем, де надійність є критичною, такий підхід є недостатнім. Необхідне рішення, яке дозволяє інженерам розробляти власні стратегії керування, безпечно їх тестувати та миттєво повертатися до перевірених версій у разі збою.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою дослідження є створення програмного забезпечення для підвищення функціональної стійкості гібридного інвертора енергосистеми за допомогою механізму версій у розподілі енергетичних навантажень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити математичну модель оцінки стану системи через показник функціональної стійкості, що базується на аналізі критичних параметрів телеметрії
- спроектувати архітектуру програмного забезпечення, включаючи структуру бази даних та модулі керування конфігураціями, що дозволить фіксувати, зберігати та активувати різні версії алгоритмів керування;
- розробити алгоритм автоматичного відкату до попередньої стабільної версії налаштувань у разі виявлення критичного зниження показника стійкості системи.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Гібридні інвертори представляють собою сучасне обладнання, яке інтегрує можливості сонячного та акумуляторного інверторів, що забезпечує дієве керування енергопотоками між сонячними панелями, батареєю та загальною мережею. Завдяки їм стає можливим раціональне використання джерел живлення, що гарантує користувачам автономність, стабільність електропостачання та зменшення витрат на енергію. Для практичної реалізації та тестування розробленого програмного забезпечення було обрано гібридний інвертор моделі Victron MultiPlus-II. Даний пристрій є ключовим елементом сучасних систем генерації, зберігання та розподілу енергії завдяки своїй багатофункціональності та високому ступеню адаптивності. Модель 24/3000/70-32 розрахована на номінальну напругу 24 В, забезпечує вихідну потужність 3000 ВА та зарядний струм 70 А [11].

Програмне забезпечення для моніторингу та керування версіями конфігурацій інтегрується з екосистемою Victron Energy через використання Victron Remote Management (VRM) API, що забезпечує:

- дистанційне отримання даних про напругу, струм, потужність, рівень заряду батареї та температуру;
- аналіз історії роботи, формування звітів та моніторинг енергоспоживання;
- керування налаштуваннями пристрою, виходами та режимами його роботи;
- інтеграцію обладнання в загальні системи Smart Grid.

На рисунку 1 представлена клієнт-серверна архітектура розробленого програмного забезпечення, що базується на сучасних фреймворках та інструментах асинхронної обробки даних. Вибір такої структури зумовлений необхідністю забезпечення високої функціональної стійкості системи при роботі з поточними даними від гібридного інвертора.

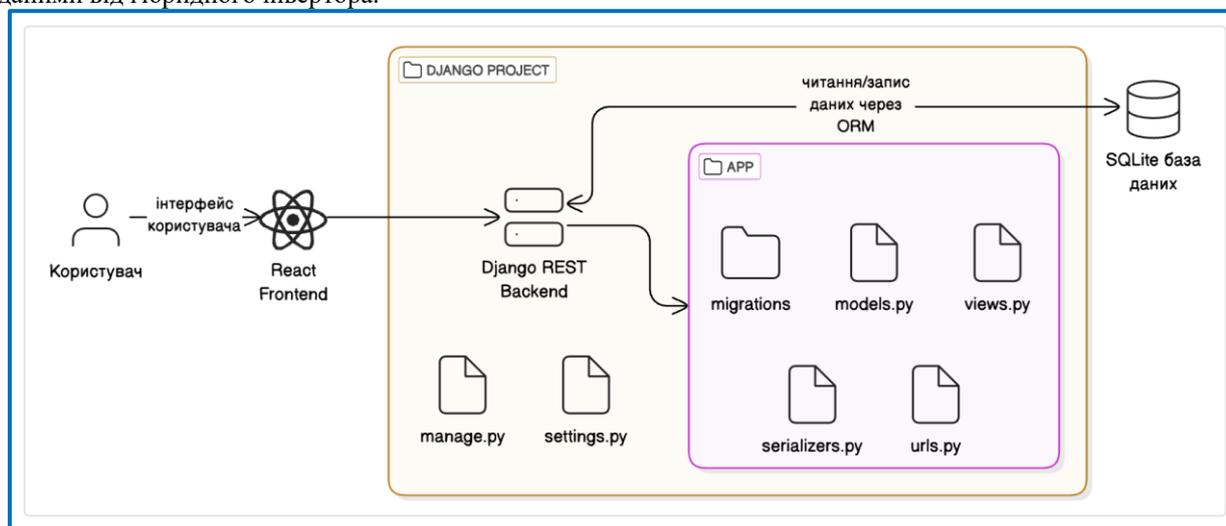


Рис. 1. Архітектурна системи

Рівень представлення. Користувачський інтерфейс реалізовано як односторінковий застосунок (SPA), що взаємодіє з сервером через REST API. Це забезпечує візуалізацію телеметрії з Victron MultiPlus-II у реальному часі, керування версіями алгоритмів розподілу енергії та відображення результатів аналізу ефективності поточної конфігурації.

Рівень бізнес-логіки. Центральним вузлом системи є Django-проект, який виконує роль координатора між фізичним обладнанням та користувачем. Структура модулів фреймворку (APP) включає:

- `models.py` – описує структури даних для зберігання версій алгоритмів, параметрів інвертора та історії навантажень;
- `views.py` та `serializers.py` забезпечують обробку вхідних запитів, перевірку прав доступу (адміністратор/користувач) та перетворення даних у формат JSON для передачі на фронтенд;
- `migrations` – гарантують цілісність структури бази даних при оновленні функціоналу системи.

Центральним елементом архітектури бази даних є використання шару ORM (Object-Relational Mapping), інтегрованого у фреймворк Django. Всі основні дані застосунку – від технічних параметрів інвертора до журналів подій – зберігаються у спеціальних моделях, які програмно відповідають таблицям у реляційній базі даних. Використання ORM дозволяє абстрагуватися від прямих SQL-запитів, мінімізуючи ризики програмних помилок.

Рівень фонових завдань та інтеграції. Оскільки запити до Victron VRM API та обробка великих масивів телеметрії є ресурсомісткими операціями, їх винесено в окремий шар за допомогою бібліотеки Dramatiq. Це критично важливо для функціональної стійкості, оскільки навіть при затримках у мережі основний інтерфейс залишається чуйним. Брокер повідомлень (Redis) дозволяє чергувати завдання на оновлення параметрів інвертора та запуск нових версій алгоритмів у безпечному режимі.

Рівень даних. Для поточної реалізації обрано реляційну базу даних SQLite, яка забезпечує швидку фіксацію станів системи та журналювання всіх подій, необхідних для механізму відкату до стабільних версій.

Для автоматизації прийняття рішення про зміну версії алгоритму введено показник функціональної стійкості S . Стан системи в кожний момент часу описується набором критичних параметрів:

$$P = \{U_{bat}, I_{load}, P_{grid}\}, \quad (1)$$

де U_{bat} – напруга акумулятора, I_{load} – струм навантаження, P_{grid} – потужність з мережі.

Для кожного параметра визначено функцію допустимості $f(p_i)$, яка дорівнює 1, якщо параметр у нормі, і 0, якщо він виходить за критичні межі:

$$f(p_i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } p_{i,min} \leq p_i \leq p_{i,max} \\ 0, & \text{якщо } p_i < p_{i,min} \text{ або } p_i > p_{i,max} \end{cases}$$

Загальний показник функціональної стійкості поточної конфігурації S розраховується як добуток станів усіх параметрів:

$$S = \prod_{i=1}^n f(p_i). \quad (2)$$

Якщо $S=0$ (хоча б один параметр вийшов за межі), система фіксує аномалію, що відображається у вікні результатів тестування. У такому разі ініціюється процедура реверсії — автоматичний пошук у базі даних SQLite попередньої версії конфігурації, для якої виконується умова $S=1$.

Ключовою особливістю запропонованої архітектури (рис. 1) є реалізація механізму забезпечення функціональної стійкості через версійність конфігурацій. Цей підхід дозволяє системі автоматично або в ручному режимі повертатися до попередніх стабільних параметрів роботи інвертора у разі виникнення аномалій. Реалізація цього механізму базується на взаємодії трьох архітектурних компонентів:

- зберігання історії станів – на рівні бази даних відмова від простого перезапису параметрів на користь створення нових записів дозволяє зберігати повну історію змін. Завдяки використанню ORM, при спробі застосування нового алгоритму розподілу енергії система не видаляє попередню конфігурацію, а маркує її як «архівну», зберігаючи можливість миттєвого доступу до неї;

- асинхронний моніторинг стабільності – після застосування нової версії алгоритму через API, система переходить у режим «карантину». В цьому режимі модуль фонові обробки Dramatiq ініціює задачу моніторингу, яка виконується паралельно з основним процесом збору телеметрії;

- алгоритм автоматичного відкату – якщо протягом заданого часового модуль фонові обробки фіксує аномальну поведінку, система автоматично ініціює процедуру відновлення попереднього стану:

- 1) у реляційній базі даних поточний запис конфігурації маркується як невалідна, що виключає її подальше використання системою;

- 2) на основі аналізу історичних даних здійснюється вибірка останнього верифікованого стану, що має атрибут стабільності;

- 3) диспетчер черг Dramatiq генерує пріоритетне завдання на ретрансляцію параметрів відновленої конфігурації до зовнішнього інтерфейсу Victron VRM API, забезпечуючи повернення енергосистеми до безпечного режиму функціонування.

Така архітектура гарантує, що навіть у разі програмної помилки в новому алгоритмі або некоректних налаштувань, введених оператором, система самостійно відновить працездатність без фізичного втручання персоналу, що є критичним показником для автономних енергетичних систем.

Практична реалізація запропонованих рішень втілена у формі вебзастосунку, який виступає точкою контролю та моніторингу для гібридної енергосистеми. Основною метою розробки інтерфейсу було забезпечення прозорості процесів розподілу енергії та зручного керування версіями алгоритмів у реальному часі.

Потенційними користувачами є адміністратори та звичайні користувачі, кожен з яких має чітко визначений набір прав та обов'язків.

Звичайний користувач має доступ до кількох функцій, спрямованих на роботу з інсталяціями алгоритмів та їх виконанням:

- перегляд поточного стану інверторів, виявлення аномалій та відстеження їх продуктивності;
- перегляд інформації про інсталяцію алгоритмів та інсталювані алгоритми, включаючи дату їх встановлення, версії та статус для оцінювання стану компонентів системи;
- перегляд результатів аналізу алгоритмів для оцінки їхньої ефективності.

Адміністратор має ширший доступ, що дозволяє йому управляти як самою системою, так і доступом інших користувачів. Його ключова роль полягає в підтримці стабільності, безпеки та оптимізації

функціонування інверторів.

Головний екран застосунку реалізує концепцію «цифрового двійника» інвертора. Завдяки інтеграції з API Victron та використанню асинхронних запитів, користувач отримує актуальну інформацію про поточні потоки потужності, стан акумуляторних батарей (SoC), індикатори стабільності (рис. 2).

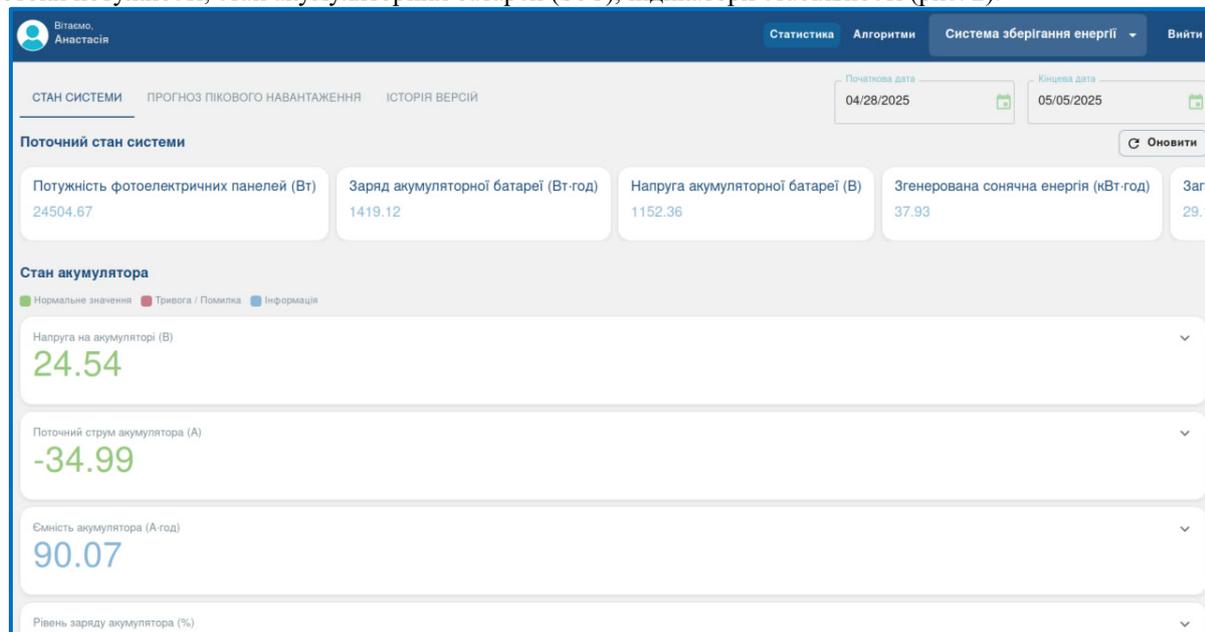


Рис. 2. Інтерфейс користувача вебзастосунку

Окремим функціональним блоком є інтерфейс керування конфігураціями. На відміну від стандартних рішень, де параметри просто перезаписуються, у розробленому програмному забезпеченні реалізовано:

- журнал версій, де зберігається перелік усіх раніше застосованих конфігурацій із мітками часу та результатами їхньої роботи;
- інструментарій «гарячого» перемикавання, що дає можливість вибору конкретної версії алгоритму з бази даних SQLite та її миттєвої активації через диспетчер завдань Dramatic;
- візуальна верифікація – перед застосуванням нової версії система виводить порівняльну таблицю змін, що мінімізує людський фактор при налаштуванні критичних параметрів напруги чи струму.

На рисунку 3 продемонстровано практичну реалізацію описаного функціонала, яка є ключовим інструментом оператора для здійснення аудиту та забезпечення живучості системи. Представлений інтерфейс базується на виділенні ключових інформативних зон, що забезпечують комплексний контроль над станом обладнання: реєстру знімків стану для точної ідентифікації конфігурацій у базі даних SQLite, хронологічного обліку для кореляції налаштувань із графіками енергоспоживання, а також інтегрованого модуля оцінки функціональної стійкості, який на основі обробленої телеметрії автоматично маркує рівень надійності кожної версії. Завдяки такій структурі візуалізації процедура відновлення попереднього стану перетворюється на детермінований процес, де оператор здійснює усвідомлений вибір найбільш стабільного стану системи, що був зафіксований в історії експлуатації.

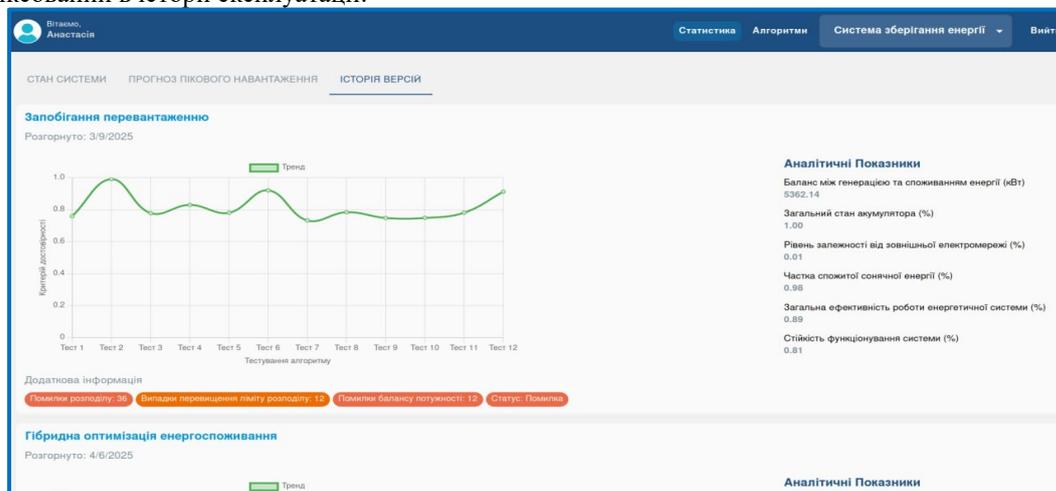


Рис. 3. Інтерфейс підсистеми моніторингу та керування версіями конфігурацій

Окрему увагу в реалізації інтерфейсу приділено механізму попередньої верифікації. Коли користувач ініціює команду «Тестувати», система запускає імітаційне моделювання або аналіз обраного алгоритму на основі історичних даних телеметрії. Результати цього процесу візуалізуються у вікні «Результати тестування», де інтегровано показники стійкості та кількісний аналіз виявлених аномалій, таких як помилки критичного розряду, перевищення лімітів потужності або порушення балансу генерації та споживання (рис. 4).

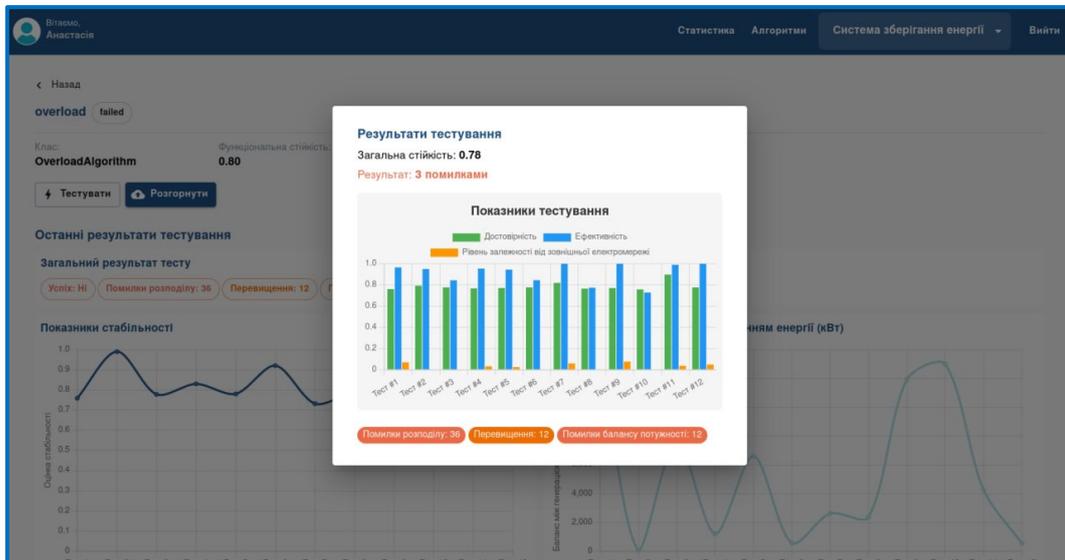


Рис. 4. Результати оцінювання ефективності алгоритму за критеріями енергонезалежності та функціональної стійкості

Для поглибленої оцінки у вікні представлено лінійну діаграму «Показники тестування», яка відображає ефективність алгоритму за критеріями достовірності прогнозів, енергоефективності та рівня автономності (залежності від зовнішньої мережі). Завершальним етапом є активація кнопки «Розгорнути», що ініціює передачу параметрів до виконавчих механізмів інвертора. Після успішної реконфігурації алгоритм перебирає на себе функції керування потоками енергії, забезпечуючи динамічну адаптацію системи до поточних умов експлуатації.

Система надає користувачеві повний набір інструментів для моніторингу та керування енергетичною інфраструктурою. Зручний інтерфейс та детальна інформація роблять систему чудовим рішенням для забезпечення стабільної та ефективної роботи енергетичної установки.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У результаті проведеного дослідження розроблено та науково обґрунтовано архітектурні рішення програмного забезпечення, спрямованого на підвищення функціональної стійкості гібридних інверторів. Основу запропонованого підходу складає математична модель оцінки стану енергосистеми через інтегральний показник стійкості S , що базується на логічній кон'юнкції критичних параметрів телеметрії. Такий підхід дозволяє формалізувати процес виявлення аномалій та автоматизувати прийняття рішень щодо необхідності реверсії конфігурації у разі виходу системи за межі стабільного функціонування.

Практична реалізація системи базується на використанні сучасного стеку технологій, зокрема асинхронного обробника завдань *Dramatic* та реляційної бази даних *SQLite*. Це забезпечує високу швидкість відгуку програмного комплексу на динамічні зміни в енергосистемі та гарантує цілісність даних при переході між різними версіями алгоритмів керування. Завдяки впровадженню інтелектуального інтерфейсу з модулями «гарячого» перемикачання та попередньої візуальної верифікації результатів тестування, вдалося суттєво мінімізувати вплив людського фактора на налаштування критичних параметрів напруги та струму.

Тестування розробленого інструментарію підтвердило можливість ефективного збереження працездатності гібридного інвертора навіть в умовах нестабільної генерації та різких змін споживання, що є критично важливим для розбудови сучасних децентралізованих інтелектуальних мереж.

Література

1. Собчук В.В., Барабаш О.В., Мусієнко А.П. Основи забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем підприємств в умовах впливу дестабілізуючих факторів: монографія. Київ: Міленіум, 2022. 272 с. ISBN: 973-966-8063-82-3
https://www.researchgate.net/publication/363474851_Basis_for_functional_stability_of_information_systems_buses_under_the_influence_of_destabilizing_factors

2. Barabash O., Svynchuk O., Salanda I., Mashkov V., Myroniuk M. Ensuring the functional stability of the information system of the power plant on the basis of monitoring the parameters of the working condition of computer devices. *Advanced Information Systems*. 2024. Vol. 8, No. 2. P. 107 – 117. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.12>
3. Barabash, O., Sobchuk, V., Musienko, A., Laptiev, O., Bohomia, V., Kopytko, S. System Analysis and Method of Ensuring Functional Sustainability of the Information System of a Critical Infrastructure Object. In: Zgurovsky, M., Pankratova, N. (eds) *System Analysis and Artificial Intelligence. Studies in Computational Intelligence*, 2023. Vol. 1107. Springer, Cham. P. 117-192. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37450-0_11
4. Peng S.-L., Lin C.-K., Tan J.J.M. and Hsu L.-H. The g-Good-Neighbor Conditional Diagnosability of Hypercube under PMC Model. *Applied Mathematics and Computation*, 2012. Vol. 218, no. 21. P. 10406-10412. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2012.03.092>
5. Yuan J., Liu A., Ma X., Liu X., Qin X. and Zhang J. The g-Good-Neighbor Conditional Diagnosability of k-Ary n-Cubes under the PMC Model and MM Model. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2015. Vol. 26, no. 4. P. 1165-1177. <http://doi.org/10.1109/TPDS.2014.2318305>
6. Барабаш О. В., Свинчук О. В., Шуклін Г. В., Копійка О. В. Вебзастосунок для динамічного перерозподілу навантаження в інформаційних системах енергетичних мереж. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2025. Том 36 (75), № 2. С. 9-16. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.2/02>
7. Свинчук О.В., Мангуплі Ю.Д., Котова А.А. Підвищення живучості підсистем акумуляторних батарей та сонячних панелей системи генерації, розподілу та зберігання енергії. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2025. №4 (89). С. 160-168. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2025.0489012>
8. Energy Monitoring. *EcoStruxure Power Digital Applications. Design Guide* [Electronic resource]: System Guide. Schneider Electric. 2023. 51 p. https://www.productinfo.schneider-electric.com/esxp_digital_apps_nema/em/English/0100DB2321_Energy_Monitoring.pdf
9. Sunny Portal. Technical and user documentation [Electronic resource] : System Manual. SMA Solar Technology AG. 2022. <https://www.sma.de/en/products/monitoring-control/sunny-portal>
10. FusionSolar Smart PV Management System. Technical Description [Electronic resource] : User Manual. Huawei Technologies Co., Ltd. 2023. <https://solar.huawei.com/en-GB/services/fusionsolar>
11. MultiPlus-II Inverter/Charger [Electronic resource] : Technical Data Sheet . Victron Energy B.V. 2023. <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-MultiPlus-II-inverter-charger-230V-EN.pdf>

References

1. Sobchuk, V. V., Barabash, O. V., & Musienko, A. P. (2022). Fundamentals of ensuring the functional stability of enterprise information systems under the influence of destabilizing factors: monograph. Kyiv: Millennium. 272 p.. ISBN: 973-966-8063-82-3 https://www.researchgate.net/publication/363474851_Basis_for_functional_stability_of_information_systems_businesses_under_the_influence_of_destabilizing_factors
2. Barabash, O., Svynchuk, O., Salanda, I., Mashkov, V., & Myroniuk, M. (2024). Ensuring the functional stability of the information system of the power plant on the basis of monitoring the parameters of the working condition of computer devices. *Advanced Information Systems*, 8(2), 107–117. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.12>
3. Barabash, O., Sobchuk, V., Musienko, A., Laptiev, O., Bohomia, V., & Kopytko, S. (2023). System Analysis and Method of Ensuring Functional Sustainability of the Information System of a Critical Infrastructure Object. In: Zgurovsky, M., Pankratova, N. (eds) *System Analysis and Artificial Intelligence. Studies in Computational Intelligence*, vol. 1107. Springer, Cham, 117-192. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.12>
4. Peng, S.-L., Lin, C.-K., Tan, J. J. M., & Hsu, L.-H. (2012). The g-Good-Neighbor Conditional Diagnosability of Hypercube under PMC Model. *Applied Mathematics and Computation*, 218(21), 10406-10412. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2012.03.092>
5. Yuan, J., Liu, A., Ma, X., Liu, X., Qin, X., & Zhang, J. (2015). The g-Good-Neighbor Conditional Diagnosability of k-Ary n-Cubes under the PMC Model and MM Model. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 26(4), 1165-1177. <http://doi.org/10.1109/TPDS.2014.2318305>
6. Barabash, O. V., Svynchuk, O. V., Shuklin, H. V., & Kopyika, O. V. (2025). *Вебзастосунок для динамічного перерозподілу навантаження в інформаційних системах енергетичних мереж [Web application for dynamic load redistribution in energy network information systems]*. Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences, 36(75), No. 2, 9-16. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.2/02>
7. Svynchuk, O. V., Manhupli, Yu. D., & Kotova, A. A. (2025). *Підвищення живучості підсистем акумуляторних батарей та сонячних панелей системи генерації, розподілу та зберігання енергії [Improving the survivability of battery and solar panel subsystems of the power generation, distribution and storage system]*. *Telecommunications and Information Technologies*, No. 4(89), 160-168. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2025.0489012>
8. Schneider Electric. (2023). *Energy Monitoring. EcoStruxure Power Digital Applications. Design Guide: System Guide*. 51 p. https://www.productinfo.schneider-electric.com/esxp_digital_apps_nema/em/English/0100DB2321_Energy_Monitoring.pdf
9. SMA Solar Technology AG. (2022). *Sunny Portal. Technical and user documentation: System Manual*. <https://www.sma.de/en/products/monitoring-control/sunny-portal>
10. Huawei Technologies Co., Ltd. (2023). *FusionSolar Smart PV Management System. Technical Description: User Manual*. <https://solar.huawei.com/en-GB/services/fusionsolar>
11. Victron Energy B.V. (2023). *MultiPlus-II Inverter/Charger: Technical Data Sheet*. <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-MultiPlus-II-inverter-charger-230V-EN.pdf>