



МОХОР

Володимир Володимирович — член-кореспондент НАН України, директор Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ЗАПОРУКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ СТІЙКОСТІ

**Стенограма доповіді на засіданні
Президії НАН України 4 жовтня 2023 року**

У доповіді розглянуто окремі результати проведених в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України досліджень, спрямованих на вирішення актуальних і стратегічно важливих науково-технічних завдань з підвищення стійкості функціонування енергетики України загалом та її електроенергетичного сектору зокрема. Інститут має позитивний досвід у здійсненні науково-технічного супроводу програм з відновлення та розвитку енергетичної інфраструктури України на засадах цифровізації основних процесів генерації, транспортування, розподілу та постачання електроенергії.

Шановний пане президенте!

Шановні присутні!

У своєму виступі я намагатимусь обґрунтувати тезу, винесену в назву доповіді, про те, що цифрова трансформація енергетики є запорукою забезпечення її стійкості.

На початку, як своєрідний епіграф, нагадаю про нещодавню екстраординарну подію: 27 лютого 2022 р., через три дні після початку широкомасштабної воєнної агресії РФ проти України, мережа операторів системи передачі електроенергії континентальної Європи (ENTSO-E) отримала від НЕК «Укренерго» терміновий запит щодо аварійної синхронізації енергосистеми України, в тому числі й Бурштинського енергоострова, з енергосистемою континентальної Європи. Але для здійснення такої синхронізації потрібно було отримати позитивну оцінку стану захисту й динамічної стабільності української енергосистеми, енергоринків та операцій на них, правової та нормативної бази, використовуваних інформаційних технологій та систем кібербезпеки.

Про важливу роль науковців Академії, зокрема Інституту електродинаміки НАН України, в тому, що ENTSO-E на цей терміновий запит дала позитивну відповідь, уже йшлося в кількох доповідях, заслуханих на засіданнях Президії НАН Украї-

ни. Я ж сьогодні хочу зробити лише невеликий акцент на внеску в цю справу Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України в аспекті інформаційних технологій та кібербезпеки.

На той час ми вже мали певний досвід у проведенні досліджень і підготовці кадрів у сфері кібербезпеки, в тому числі й в інтересах енергетичної галузі України. Зокрема, ми брали участь у розслідуваннях кібератак на українську енергетичну систему, які сталися в грудні 2015 р. — першій половині 2016 р. Отже, на початку 2022 р. (як, до речі, і зараз) в НЕК «Укренерго», Державній службі спеціального зв'язку та захисту інформації України та інших відповідних структурах працювали команди, які користувалися розробленими нами методиками. Тому ми й вважаємо, що у швидкому та позитивному вирішенні питання про термінове приєднання української енергосистеми до ENTSO-E є і наш невеличкий внесок у сенсі забезпечення рівня зрілості та готовності до цього української енергосистеми.

З початком активних бойових дій енергетичний сектор України став об'єктом безперервних ракетних та артилерійських атак з боку російського агресора. Згідно зі звітом Програми розвитку ООН від 20 червня 2023 р.^{*}, підготовленим спільно зі Світовим банком, станом на 30 квітня 2023 р. в секторі електроенергетики України загальна генеруюча потужність електростанцій зменшилася з 36 до 18,3 ГВт (на 51 %). Найбільше постраждала маневрова складова системи (теплові електростанції) — її потужність зменшилася з 14,3 до 4,6 ГВт (на 68 %). Потужність ядерної енергетики знизилася з 13,8 до 7,7 ГВт (на 44 %), гідрогенерація — з 6,6 до 4,7 ГВт (на 29 %), потужності ВДЕ — з 8,1 до 6,2 ГВт (на 24 %) (рис. 1). За перший рік війни істотних втрат зазнала й інфраструктура передачі електроенергії — 42 з 94 найважливіших високовольтних трансформаторів було пошкоджено або знищено.

^{*} Towards a Green Transition of the Energy Sector in Ukraine. <https://www.undp.org/ukraine/publications/towards-green-transition-energy-sector-ukraine>

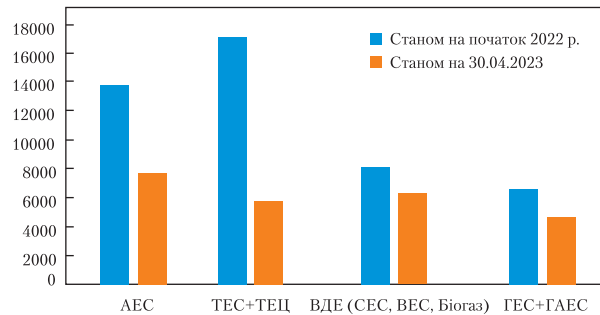


Рис. 1. Порівняння обсягів генеруючої потужності України за видами генерації у січні 2022 р. та у квітні 2023 р.

У набагато кращому стані перебуває газовий сектор української енергетики. Обсяги видобутку природного газу за період січень-квітень 2023 р. порівняно з таким самим періодом 2021 р. знизилися лише на 7 %, середній добовий видобуток у квітні 2023 р. становив 47,8 млн м³.

Тому основний виклик, який стоїть сьогодні перед енергетикою України, полягає у відновленні електроенергетичної системи та забезпеченні її стійкості. Питання, пов'язані з відновленням (точніше, оновленням) електроенергетики, вже неодноразово розглядалися в цій залі. Їх вирішення лежить у площині реалізації так званої концепції 3D: декарбонізація (вуглецева нейтральність), децентралізація і діджиталізація (цифровізація). Я зупинюся на другому складнику проблеми — на забезпеченні стійкості (resilience) енергосистеми.

Слід підкреслити, що загалом в енергетичному контексті термін «стійкість» визначається, зокрема, як здатність повертатися до усталеного режиму після різного роду збурень. Ми ж зараз говоримо про дещо інше поняття стійкості, або резильєнтності, яке потрактовують як властивість, що дає змогу протистояти руйнівним подіям, зменшувати їх масштаби та/або тривалість і включає здатність передбачати та запобігати інцидентам, пом'якшувати їх вплив, поглинати, адаптуватися та/або швидко відновлюватися після таких подій (рис. 2).

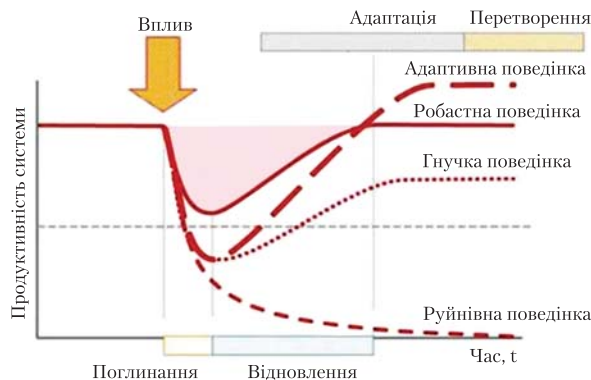


Рис. 2. Фази поведінки різних типів систем у відповідь на руйнівні впливи

Отже, далі розглянемо наші розробки у сфері цифрових рішень, спрямовані на забезпечення стійкості електроенергетики.

Почнімо з **діагностування** як механізму запобігання інцидентам, пом'якшення їх наслідків та відновлення системи.

Наприклад, усім добре відома гостра проблема практично всіх міських господарств — аварійність трубопроводів теплових мереж, пов'язана з високим і постійно зростаючим загальним зносом труб. З метою забезпечення стійкості тепlopостачання споживачів теплової енергії в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України під керівництвом доктора технічних наук Олександра Альбертовича Владимирського розробляють різні цифрові технології, засоби і методи оперативного пошуку витоків у підземних трубопроводах, їх корозійного моніторингу з оцінюванням ступеня корозійного стоншення труб; визначення теплових втрат під час транспортування теплової енергії в умовах експлуатації теплових мереж.

Основні переваги запропонованих методів полягають у підвищеній точності й чутливості, яких досягнуто завдяки врахуванню багаточислової структури акустичних сигналів, параметричного режиму визначення координат витоків, а також у реалізації узгодженої просторово-частотної селекції інформативних сигналів, уточненні параметрів поширення акустичних

сигналів за допомогою активного акустичного тестування ділянок трубопроводів.

Було створено цифровий комплекс корозійного моніторингу «Растр» і цифровий мультипараметричний зонд для обстеження теплових камер і трубопроводів тепломереж у прилеглих каналах їх прокладання, які дозволяють проводити дистанційне відеоспостереження за допомогою відеокамер, дистанційне вимірювання температури та здійснювати дистанційний аналіз акустичного шуму. Для вимірювання тепловтрат у трубопроводах централізованого тепlopостачання розроблено 8-канальні реєстратори температури з цифровими датчиками, які забезпечують високоточне вимірювання перепадів температури теплоносія на кінцях ділянок трубопроводів у робочих режимах їх експлуатації та на розгалужених ділянках теплових мереж. Результати робіт впроваджено в КП «Київтеплоенерго».

Крім того, розроблено і впроваджено на київських ТЕЦ апаратно-програмний комплекс для контролю і виявлення міжвиткових замикань обмоток роторів турбогенераторів. Створено цифровий вимірювач кінематичних параметрів для реєстрації та вимірювання параметрів руху енергетичних машин і механізмів, що дуже важливо для забезпечення їх стабільної роботи.

Друга категорія розроблених цифрових рішень для забезпечення стійкості енергетики стосується **підготовки персоналу**. Роботи за цим напрямом в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України виконує науковий колектив під керівництвом доктора технічних наук Віктора Дмитровича Самойлова. Ця наукова група розробляє, створює і впроваджує тренажерно-навчальні системи та комплекси.

Зокрема, розроблено систему дистанційного навчання персоналу, яка складається з системи дистанційного контролю знань та навчання, автоматизованих систем навчання, мультимедійних курсів, навчально-контрольних та психофізіологічних тестів, локальних тренажерів за окремими технологічними дільницями та видами обладнання, тренажерів електричних

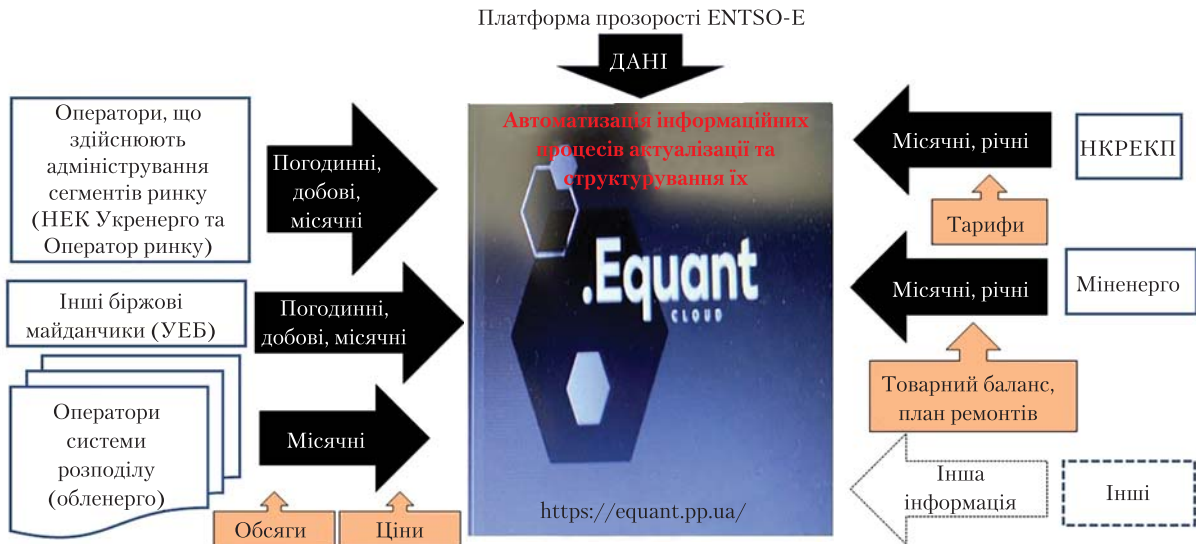


Рис. 3. Основні інформаційні потоки програмно-апаратної інформаційно-розрахункової комп'ютерної системи Equant Cloud

підстанцій, високовольтних розподільних пристроїв, комплексних тренажерів енергоблоків теплових електростанцій.

Ці розробки вже впроваджено. Їх успішно використовують на більш як 30 підприємствах енергетики та промисловості, зокрема на розподільних електричних мережах, теплових і атомних електростанціях, гірничозбагачувальних комбінатах та інших промислових підприємствах. У 2021 р. систему, розроблену в Інституті, прийнято як основну систему дистанційного навчання персоналу в НАЕК «Енергоатом».

Третьюю категорією розробок у сфері цифровізації для забезпечення стійкості енергетики є **підтримка прийняття рішень**. Цей напрям охоплює не лише створення механізмів запобігання інцидентам, пом'якшення їх наслідків та відновлення системи, а й адаптацію системи на різних рівнях: галузь/регіони, підприємства/організації.

Для прикладу розглянемо енергоринок, на якому, власне, і реалізується завершальний етап діяльності енергетики як економічної галузі. Зараз ринок електроенергії в Україні є централізованим, але, безумовно, ми маємо готуватися до роботи в умовах децентралізо-

ваного ринку, який передбачає зовсім інші механізми формування ціни. Тому підприємства повинні мати розуміння та напрацьовані алгоритми своєї поведінки в умовах конкуренції на ринку.

Для реалізації цих завдань в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України вже на фінальній стадії перебуває процес розроблення цифрового двійника ринку електричної енергії. Це комплекс прогнозування результатів взаємодії учасників ринку електричної енергії, рішень органів виконавчої влади та регулятора. Комплекс складається з комп'ютерної моделі, інформаційно-аналітичного середовища та програмно-апаратної системи. Основні інформаційні потоки, задіяні в ньому, наведено на рис. 3. Тобто ми збираємо всі доступні погодинні, добові, місячні, річні дані від платформи прозорості ENTSO-E, операторів системи розподілу, системи адміністрування, з біржових майданчиків та інших джерел і використовуємо їх у нашій системі Equant Cloud, яка вже працює в тестовому режимі за посиланням <https://equant.pp.ua/>. Для її реалізації розроблено математичну модель процесів ціноутворення на ринках електроенергії з урахуванням реальних

особливостей організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії суб'єктів ринку (як оптового, так і роздрібного). Для визначення рівноважної ціни електроенергії на основі цінних заявок виробників та постачальників створено модель рівноважного стану сегмента ринку «на добу наперед» та модель прогнозу погодинного попиту на ринку електричної енергії, погодинних цін та обсягів виробництва.

Користувачами розробленої нами системи можуть бути безпосередні учасники ринку електричної енергії, органи управління, органи влади, експертні та дослідницькі інституції.

За цим самим напрямом — цифровізації підтримки прийняття рішень в електроенергетиці, але вже на рівні галузі/регіонів в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України наукова група під керівництвом члена-кореспондента НАН України Сергія Євгеновича Сауха працює над створенням цифрового двійника ринку електричної енергії (зокрема, генеруючого устаткування вітрових та сонячних електростанцій), в якому враховано непередбачуваність та мінливість режимів навантаження електростанцій цих типів, а також над побудовою прогнозних моделей розвитку генеруючих потужностей енергосистем з великими частками ядерної та відновлюваної енергетики, що актуально для повоєнного відновлення України.

Розроблено модель оптимального завантаження енергоблоків традиційної та відновлюваної електроенергетики з граничними умовами циклічності. Ця модель дозволяє поширювати прогнозні тижневі режими завантаження енергоблоків, систем зберігання енергії та системної мережі ЛЕП на тривалі сезонні періоди, тобто масштабувати такі режими. В основі моделі лежить задача змішаного лінійного програмування, розмірність якої для ОЕС України сягає десятків тисяч лише цілочислових невідомих. Перспективи практичного застосування цих інструментів пов'язані з розвитком ядерної складової енергетики України, і наші розробки вже передано для використання в системі НАЕК «Енергоатом».

Зазначена модель, власне, є базою для створення цифрової моделі розвитку регіональних електроенергетичних систем.

Уже досить тривалий час у рамках програми регіонального партнерства між Україною та Словаччиною ми працюємо разом з нашими закордонними колегами над проектом з побудови конектора між Закарпатською областю України і Прешовським та Кошицьким краями Словаччини. Інститут здійснює науковий супровід створення узгодженої системи керування для розподільних електроенергетичних компаній обох країн.

І нарешті, четвертою, останньою (за порядком викладу, але не за важливістю) категорією цифрових рішень, спрямованих на забезпечення стійкості енергетики, є **кібербезпека**, яка покликана забезпечувати стійкість самих цих цифрових рішень.

Питаннями безпеки інформації Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України займається вже понад 30 років. Майже з перших днів існування незалежної України ми активно співпрацюємо в цьому напрямі з Державною службою спеціального зв'язку та захисту інформації України, наші фахівці беруть участь у проведенні експертиз для аналізу причин і наслідків несанкціонованих втручань в автоматизовані системи керування ОЕС України, зокрема згаданих вище кібератак 2015—2016 рр.

Наказом Міністерства енергетики України від 05.04.2021 № 53 було створено секцію науково-технічної ради Міненерго за напрямом «Кібербезпека, захист критичної інфраструктури», до складу якої увійшли 5 співробітників нашого Інституту. Тоді ж було розроблено Концепцію забезпечення кібербезпеки в енергетичній галузі, а також Вимоги з кібербезпеки паливно-енергетичного сектору критичної інфраструктури, затверджені наказом Міненерго від 15.12.2022 № 417. Фахівці Інституту входять також до складу робочої групи, створеної наказом Держспецзв'язку України від 15.03.2023 № 183, яка розробляє професійні стандарти, зокрема для спеціальностей «фахівець з технічного захисту інформації», «фахі-

вещ з криптографічного захисту інформації», «уповноважений з авторизації безпеки».

Теоретичні дослідження, які проводяться в Інституті за цим напрямом, сконцентровані на розробленні методів оцінювання стану кібербезпеки, зокрема методів підвищення кіберзахищеності розподілених систем критичної інфраструктури завдяки вдосконаленню її мережевих зв'язків на основі ризик-орієнтованого підходу для визначення і врахування впливу артефактів її топології в глобальному кібернетичному просторі. Прикладні ж дослідження спрямовані на створення комплексних систем захисту інформації та комп'ютерних засобів оцінювання стану безпеки.

Зокрема, з метою підвищення рівня кіберзахисту критичної інфраструктури та в інтересах сектору безпеки і оборони на замовлення Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України було розроблено й передано для впровадження проекти нормативних документів з технічного захисту інформації. Ці документи містять вимоги до заходів з кіберзахисту критичних промислових об'єктів, рекомендації з їх впровадження та методику оцінювання отриманих результатів.

Розроблено також проєкт нормативно-правового акта, який містить вимоги до кіберза-

хисту (їх ще називають профілі кіберзахисту) автоматизованих систем керування технологічними процесами (зокрема, SCADA-систем), порядок їх впровадження та підтвердження виконання, а також методики розрахунку, оцінки та управління ризиками під час забезпечення кіберзахисту автоматизованих систем на об'єктах критичної інфраструктури та в секторі безпеки і оборони.

Цього року за розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.10.2022 ми виконуємо роботи зі створення переліку та методики оброблення статистичних даних щодо кіберінцидентів/кібератак. До речі, саме цими днями на базі Інституту відбуваються громадські слухання на цю тему. Перелік і методика мають бути затверджені у вигляді відповідних нормативних документів, які, у свою чергу, мають стати підґрунтям для розроблення в подальшому відповідних галузевих нормативних актів Міненерго.

Я перелічив лише окремі, найбільш цікаві розробки Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України в галузі цифрової трансформації. Сподіваюся, у нас ще буде можливість детальніше розглянути й інші роботи Інституту.

Дякую за увагу!

Volodymyr V. Mokhor

G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5419-9332>

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ENERGY INDUSTRY AS A KEY TO ENSURING ITS RESILIENCE

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, October 4, 2023

The report reviews certain results of research conducted at the G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine and aimed at solving urgent and strategically important scientific and technical tasks to increase the resilience of the functioning of Ukraine's energy industry in general and its electric power sector in particular. The Institute has positive experience in providing scientific and technical support for programs for the restoration and development of the energy infrastructure of Ukraine based on the digitalization of the main processes of electricity generation, transportation, distribution, and supply.

Cite this article: Mokhor V.V. Digital transformation of the energy industry as a key to ensuring its resilience. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (12): 74–79. <https://doi.org/10.15407/visn2023.12.074>