

ТЕОРЕТИЧНИЙ ЗМІСТ ПОНЯТТЯ «СМАРТ-ЕНЕРГОСИСТЕМА»

Вступ. У епоху технологічного розвитку та постійних змін у глобальному світі, питання ефективного управління енергоресурсами актуалізується у контексті стратегічної економічної безпеки держав. Подальший розвиток паливно-енергетичного комплексу на глобальному та національному рівнях вимагає адаптації до нових цілей та тенденцій, що характеризують світову та національну економіку у XXI столітті. Крім того, важливо враховувати змінний характер загроз, що становлять економічні, екологічні та соціальні виклики. Наразі паливно-енергетичний комплекс має відповідати вимогам ефективності та сталого розвитку, сприяючи економічному процвітанню і зменшенню впливу на довкілля. Нові технології та стратегії управління повинні спрямовуватися на забезпечення енергетичної безпеки та зменшення залежності від вугільного палива, одночасно розвиваючи альтернативні джерела енергії. Такий підхід враховує не лише економічні фактори, але й відповідає викликам збереження природних ресурсів та збалансованому соціальному розвитку.

При цьому термін «сталий розвиток» розглядається як розвиток, при якому задоволення сьогоденних потреб людини не призводить до обмежень здатності майбутніх поколінь задовольняти їхні потреби [1].

Енергоресурси не є виключенням, а навпаки, займають одне з ключових місць у сучасних реаліях. Енергоресурси та їх стабільне надходження за адекватними цінами створюють провідний вплив на сталий розвиток. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології виявляються необхідним інструментом у забезпеченні стійкості енергетичних мереж, ефективного використання ресурсів та забезпечення сталого розвитку економіки.

Тобто концепція смарт-енергосистем повинна розглядатися як стратегічний елемент економічної безпеки, зокрема, у контексті австрійської школи економіки.

Австрійська школа економіки, відома своїм методологічним індивідуалізмом та підходом до аналізу ринків, підкреслює значення динамічної конкуренції та підприємництва у формуванні економічних процесів. У цьому контексті енергетичний сектор визнається як один із стратегічних галузей, де

конкуренція та інновації мають вирішальне значення для досягнення ефективності та сталості економічного розвитку.

Концепція смарт-енергосистем виявляється надзвичайно багатогранною, оскільки охоплює широкий спектр технологій та підходів до управління енергетичними ресурсами. Від розумних лічильників та систем виробництва енергії до автоматизованих мереж і зберігання енергії, смарт-енергетика перетворює традиційну енергетичну інфраструктуру у високоінтелектуальну та адаптивну систему. Розгляд цієї концепції з точки зору економічної безпеки показує, що вона сприяє зменшенню витрат на енергію, підвищенню надійності мереж та створенню нових ринків та можливостей для бізнесу.

Терміновість вирішення проблем навколишнього середовища та глобальне прагнення до сталого розвитку зробили розумні енергетичні системи центральною темою сучасного наукового дискурсу. Розумні енергетичні системи представляють трансформаційний підхід до управління та споживання енергії, сприяючи як ефективності, так і інтеграції відновлюваних ресурсів. Ця стаття заглиблюється в концептуалізацію розумних енергетичних систем у науковому співтоваристві, досліджуючи їх багатогранну природу та надаючи вичерпний огляд різних визначень і моделей, запропонованих у науковій літературі.

Поряд із технічними та економічними перевагами, смарт-енергетика також має важливий геополітичний аспект. Зменшення залежності від імпортованих енергоресурсів та розвиток внутрішнього потенціалу, може збільшити економічну стійкість держави та зменшити її уразливість перед зовнішніми факторами. Таким чином, смарт-енергетика стає ключовим інструментом не лише для розвитку, але й для забезпечення безпеки енергетичних систем.

Мета статті полягає в дослідженні того, як концепція смарт-енергосистем сприймається і використовується в наукових дослідженнях, державних політиках і промислових стратегіях на вітчизняному та міжнародному рівнях. Це включає аналіз різних визначень, підходів та прикладів імплементацій заходів щодо розвитку смарт-енергосистем, з акцентом на їх вплив на економічну безпеку, сталість



розвитку та інтеграцію інноваційних технологій у енергетичні системи.

Стаття має на меті визначити, як різні наукові, інституційні та промислові сфери розглядають і застосовують принципи смарт-енергосистем, оцінюючи їх потенціал зміцнити енергетичну безпеку і стимулювати технологічний прогрес відповідно до сучасних екологічних та економічних викликів. Аналіз різних моделей та впроваджених практик дозволить зрозуміти шляхи оптимізації енергосистем, забезпечуючи їх адаптацію до мінливих умов і викликів глобального енергетичного ринку.

Результати дослідження. Розумні енергетичні системи є невід'ємною частиною переходу до сталого та ефективного управління енергією. Ці системи являють собою радикальний відхід від тради-

ційних енергетичних мереж шляхом включення цифрових технологій, відновлюваних джерел енергії та покращеного зв'язку для формування чутливої та інтерактивної мережі. Їх головна мета – забезпечити баланс між виробництвом і споживанням енергії, одночасно максимізуючи ефективність і мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Концепція «розумних енергетичних систем» набула значного поширення в академічних і промислових дослідженнях завдяки своєму потенціалу революціонізувати управління енергією та її розподіл через технологічні інновації. У цьому огляді (табл. 1) досліджується, як концепція по-різному розуміється та застосовується в науковій літературі, розкриваючи спектр визначень, які відображають різні пріоритети та технологічні акценти.

Таблиця 1

Властивості смарт-енергосистем

Інтеграція відновлюваних джерел енергії	Розумні енергетичні системи сприяють інтеграції різноманітних відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та гідроелектроенергія. Використовуючи передові моделі прогнозування та дані в реальному часі, ці системи можуть передбачати коливання виробництва енергії та динамічно коригувати мережу. Ця здатність має вирішальне значення для підтримки стабільності мережі, незважаючи на змінний характер відновлюваної енергії
Розширене вимірювання та взаємодія зі споживачами	На рівні споживачів розумні лічильники відіграють ключову роль. Ці пристрої надають детальні та точні дані про моделі споживання енергії як користувачам, так і постачальникам енергії. Ці дані допомагають оптимізувати використання енергії, запровадити динамічне ціноутворення та, зрештою, зменшити загальні витрати на енергію. Крім того, споживачі можуть взаємодіяти з мережею, керувати своїм енергоспоживанням і навіть повертати надлишок енергії назад в мережу, перетворюючи пасивних споживачів на активних учасників
Зберігання та розподіл енергії	Розумні енергетичні системи підвищують ефективність зберігання та розподілу енергії. Такі технології, як мережеві батареї та накопичувач тепла, інтегровані для накопичення надлишку енергії в періоди низького попиту та вивільнення його, коли попит досягає піку. Це не тільки допомагає вирівняти криву попиту та пропозиції, але й зменшує залежність від викопного палива для пікової потужності
Автоматизація та самовідновлення мережі	За допомогою даних у реальному часі та автоматизованих систем керування інтелектуальні мережі можуть виявляти несправності та автоматично перенаправляти електроенергію, мінімізуючи час простою та підвищуючи надійність. Ці можливості «самовідновлення» гарантують, що система може передбачати проблеми та реагувати на них без втручання людини, що призводить до значного покращення стійкості мережі та ефективності роботи
Кібербезпека та управління даними	Оскільки розумні енергетичні системи значною мірою залежать від обміну даними та підключення, кібербезпека стає першорядною. Захист мережі від кіберзагроз вимагає надійних методів шифрування, постійного моніторингу та вдосконалених систем виявлення аномалій, щоб запобігти потенційним порушенням, які можуть порушити розподіл енергії
Економічний та екологічний вплив	Розумні енергетичні системи сприяють економічному зростанню, створюючи нові ринки для інноваційних енергетичних технологій і послуг. Екологічно вони сприяють зменшенню викидів парникових газів шляхом оптимізації використання енергії та збільшення частки відновлюваних джерел в енергетичному балансі. Таке узгодження з глобальними цілями сталого розвитку не тільки підтримує екологічні ініціативи, але й підвищує довгострокову життєздатність енергетичного сектору

Розглянемо, що ж саме мається на увазі під поняттям «смарт-енергосистема».

В США термін «смарт-енергосистема» означає повністю автоматизовану енергетичну систему, яка забезпечує двосторонній потік інформації та електричної енергії між станціями і пристроями. У ЄС під цим терміном розуміють інтелектуальну електричну мережу, яка задовольняє майбутнім вимогам стосовно енергоефективності та економічності функціонування енергосистеми за рахунок скоординова-

ного керування і за допомогою сучасних двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричних станцій, акумулюючи ми джерелами та споживачами.

Концепція розумних енергетичних систем має ключове значення для зміни нашого підходу до управління енергією, інтеграції технологічних досягнень і сталого розвитку. Як визначено в «Grid 2030: Національне бачення електроенергетики на другі 100 років», розумна енергетична система втілює ці-

лісну трансформацію ландшафту електроенергетики, спрямовану на підключення великої кількості доступної, чистої, ефективної та надійної електроенергії до всіх користувачів. Це бачення підкреслює багатогранний підхід, що включає технологічні інновації, регуляторні реформи та значні капітальні інвестиції, щоб революціонізувати спосіб доставки та управління електроенергією.

Тут концепція смарт енергосистем імплементується не лише через модернізацію існуючої інфраструктури, а й переосмислення постачання електроенергії як динамічної інтерактивної мережі, здатної до саморегулювання та реагування в реальному часі на зміни попиту та пропозиції. Передбачувана система описується як повністю автоматизована мережа, яка об'єднує розподілений інтелект і використовує передові матеріали, такі як високотемпературні надпровідники та нові композитні матеріали для передачі електроенергії. Це спрямовано на зменшення втрат при передачі, збільшення несучої здатності мережі та підвищення загальної надійності системи.

Концепція «розумних енергетичних систем» набула значного поширення в академічних і промислових дослідженнях завдяки своєму потенціалу революціонізувати управління енергією та її розподіл через технологічні інновації. У цьому огляді літератури досліджується, як концепція по-різному розуміється та застосовується в науковій літературі, розкриваючи спектр визначень, які відображають різні пріоритети та технологічні акценти.

Поняття розумних або смарт-енергосистем має дещо різне розуміння в рамках різних наукових та наближених до наукових кіл:

1. Європейські визначення: цілісні та інтегровані системи.

У європейському академічному дискурсі інтелектуальні енергетичні системи часто описуються з точки зору їх інтеграції в декілька енергетичних секторів – електроенергії, опалення, охолодження та газу. Наприклад, Lund et al. (2014) підкреслюють необхідність інтелектуальних енергетичних систем для сприяння інтеграції відновлюваних джерел енергії в різних масштабах і в різних енергетичних секторах. Цей підхід є стратегічним для досягнення високих рівнів енергоефективності та стійкості, зосереджуючись на здатності систем балансувати та накопичувати енергію з періодичних відновлюваних джерел, таких як вітрова та сонячна енергія.

2. Перспективи Північної Америки: модернізація та надійність мережі.

У Північній Америці визначення розумних енергетичних систем часто узгоджується з зусиллями з модернізації мережі, які включають передові цифрові та комунікаційні технології для підвищення надійності, безпеки та ефективності електричної мережі. Бачення Міністерства енергетики США «Grid 2030» є прикладом цього підходу, виступаючи за

повністю автоматизовану мережу доставки електроенергії, яка забезпечує двосторонній потік електроенергії та інформації. Це визначення підкреслює критичну роль управління даними в режимі реального часу та автоматизації електромережі в підвищенні адаптивності та чутливості енергосистем до зміни потреб в енергії та генераційних потужностей.

3. Азіатський фокус: розумні мережі та технологічні інновації.

В Азії, зокрема в таких країнах, як Японія та Південна Корея, увага часто приділяється технологічним аспектам розумних енергетичних систем, особливо з точки зору розумних мереж, оснащених найсучаснішими датчиками, передовою інфраструктурою вимірювання та системами управління енергією. Ці системи розроблені для оптимізації використання енергії, зменшення відходів і підвищення загальної ефективності мережі, одночасно підтримуючи інтеграцію різних джерел енергії.

4. Глобальні енергетичні агентства: енергоефективність та інтеграція відновлюваних джерел.

Глобальні енергетичні організації, такі як Міжнародне енергетичне агентство (МЕА), визначають розумні енергетичні системи з наголосом на їхній здатності підвищувати енергоефективність і сприяти інтеграції відновлюваної енергії. Це включає в себе розгортання технологій, які забезпечують реагування на попит, зберігання енергії та розподілене виробництво, що має вирішальне значення для стабілізації мережі та скорочення викидів вуглецю.

5. Академічні дослідження: залучення споживачів та реагування на попит.

В академічних колах інтелектуальні енергетичні системи все більше характеризуються своєю здатністю безпосередньо залучати споживачів до управління енергією. Цей вимір інтелектуальної енергії зосереджується на наданні споживачам інструментів і технологій, які дозволяють брати активну участь у споживанні ними енергії, узгоджуючи їх із більш широкими цілями енергоефективності та сталого розвитку.

▪ **Програми реагування на попит.** Однією з ключових особливостей, що обговорюється в літературі, є програми реагування на попит (DR). Ці програми заохочують споживачів зменшувати або зміщувати споживання електроенергії в періоди пікового навантаження відповідно до ставок, що ґрунтуються на часі, або інших форм фінансових стимулів. Вчені, такі як Торріті та ін. (2010) підкреслюють, як DR може сприяти стабільності мережі та економічній економії, зменшуючи потребу у дорогому виробництві енергії в години пік і пов'язаний з цим вплив на навколишнє середовище.

▪ **Технології, орієнтовані на споживача.** Такі технології, як домашні дисплеї, розумні термостати та програми, які надають дані про споживання енергії в реальному часі, є ключовими. Ці інстру-

менти допомагають споживачам зрозуміти їхні моделі споживання енергії та приймати обґрунтовані рішення щодо використання енергії. Такі дослідники, як Дарбі (2006), виявили, що зворотний зв'язок у режимі реального часу може призвести до значного скорочення загального споживання енергії в домогосподарствах шляхом сприяння більш свідомому підходу до використання.

▪ **Поведінкова інформація.** Крім того, у літературі часто поєднуються ідеї з поведінкової економіки, щоб адаптувати програми ліквідації наслідків, які з часом ефективно змінюють звички споживачів. Дослідження свідчать про те, що персоналізовані звіти про використання енергії, показники соціального порівняння (що показують споживання енергії споживачем відносно його сусідів) і індивідуальні поради щодо зменшення споживання можуть сприяти більш стійкій поведінці щодо енергозбереження.

6. Застосування в прикладних галузях: операційна ефективність та економічні вигоди.

У галузевому контексті розумні енергетичні системи в першу чергу визначаються їх здатністю підвищувати ефективність роботи та забезпечувати економічні вигоди. Цей прагматичний підхід зосереджується на використанні передових технологій для оптимізації процесів виробництва, розподілу та споживання енергії.

▪ **Операційна ефективність.** Ключові аспекти включають інтеграцію розширеної інфраструктури вимірювання (AMI), яка дозволяє комунальним підприємствам здійснювати детальний моніторинг і управління потоками енергії на деталізованому рівні. Наприклад, AMI допомагає визначити втрати системи, прогнозувати проблеми з обслуговуванням і ефективніше керувати навантаженнями, що може значно знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність обслуговування.

▪ **Прогнозне технічне обслуговування.** Іншою важливою сферою є використання прогнозної аналітики та інтелектуальних датчиків, які можуть прогнозувати несправності обладнання до їх виникнення, таким чином дозволяючи проводити попереджувальне обслуговування. Такий підхід не тільки продовжує термін служби обладнання, але й мінімізує час простою, підвищуючи загальну ефективність енергетичної мережі.

▪ **Економічні переваги.** З економічної точки зору розумні енергетичні системи сприяють більш динамічним моделям ціноутворення та платформам для торгівлі енергією, які можуть адаптуватися до умов попиту та пропозиції в реальному часі. Ці можливості дозволяють постачальникам електроенергії оптимізувати свою діяльність відповідно до динаміки ринку, потенційно знижуючи витрати на енергію для споживачів і збільшуючи прибутковість для постачальників.

▪ **Інтеграція відновлюваної енергетики.** Галузь виграє від інтеграції відновлюваних джерел

енергії в мережу. Розумні енергетичні системи можуть ефективніше керувати мінливістю відновлюваної енергії (наприклад, сонця та вітру), забезпечуючи стабільність і надійність енергопостачання навіть за високого рівня проникнення відновлюваних джерел. Це не тільки підтримує екологічні цілі, але й сприяє економічній стабільності на енергетичних ринках.

Висновки. Отже, смарт-енергосистеми представляють трансформаційну концепцію, яка інтегрує інформаційні технології в кожен етап виробництва електроенергії. Комплексний підхід має вирішальне значення, оскільки ми рухаємося до більш взаємопов'язаного майбутнього, що базується на відновлюваних джерелах енергії, децентралізації енергосистем. Вивчення різних понять інтелектуальних енергетичних систем у різноманітних академічних і промислових структурах виявляє як відмінні, так і часткові особливості. Ці точки зору демонструють, наскільки багатогранною є концепція розумних енергетичних систем, починаючи від технічної інтеграції та економічних стратегій до взаємодії споживачів і політичних рамок. Варто відзначити, що у різних наукових колах сформувалися певні відмінності у визначенні поняття «смарт-енергосистема»:

▪ **Європейські визначення** часто наголошують на цілісній інтеграції в різних енергетичних секторах, зосереджуючись на ефективності та стійкості системи.

▪ **Північноамериканські перспективи**, як правило, зосереджені на технологічних інноваціях для модернізації мережі для підвищення надійності та ефективної інтеграції розподілених енергетичних ресурсів.

▪ **Азіатські наукові кола** ставлять сильний наголос на технологічному прогресі, зокрема на технологіях розумних мереж, які покращують управління мережами та енергоефективність.

▪ **Глобальні енергетичні агентства** часто обговорюють розумні енергетичні системи в контексті сприяння інтеграції відновлюваних джерел енергії та посиленню глобальної енергетичної безпеки.

▪ **Академічні дослідження** впроваджують підхід, орієнтований на споживача, підкреслюючи реагування на попит і залучення користувачів як життєво важливі для енергозбереження та оптимізації системи.

▪ **Галузеві програми** зосереджені на операційній ефективності, економічних вигодах та інтеграції передових технологій для підтримки стабільності мережі та зниження експлуатаційних витрат.

На базі різноманітних визначень поняття «смарт-енергетика» ми можемо виявити певну кореляцію, адже у всіх структурах одноставно визнається критична роль передових технологій, зокрема в питанні управління даними, моніторингу в реальному часі та автоматизованого контролю. Крім того, кожне визначення оцінює необхідність інтеграції

відновлюваних джерел енергії та підвищення енергоєфективності як ключових елементів розумних енергетичних систем.

Також ми можемо вивести комплексне визначення розумних енергетичних систем:

«**Розумні енергетичні системи** представляють собою складну мережу взаємопов'язаних джерел енергії та технологій, які керують і оптимізують виробництво, розподіл і споживання енергії. Ці системи характеризуються своєю здатністю бездоганно інтегрувати відновлювані джерела енергії, використовувати передові цифрові та комунікаційні технології для покращеного надійності і ефективності мережі, а також активне залучення споживачів до управління енергією. Центральним для цих систем є впровадження інтелектуальних механізмів автома-

тизації та контролю, які адаптуються до умов реального часу, підтримують практику сталої енергетики та сприяють економічній стабільності на енергетичних ринках».

Таке інтегроване визначення охоплює суть розумних енергетичних систем, підкреслюючи їх роль як динамічних, чутливих і стійких елементів у ширшому науковому розумінні. Об'єднавши ідеї з різних визначень, стає очевидним, що смарт енергосистеми – це не лише технологічні інновації, а й створення адаптивної, ефективної енергетичної інфраструктури, яка реагує на потреби споживачів. Такий цілісний підхід значно розширює можливість подальшого комплексного аналізу смарт-енергосистем як актуального напрямку, що здатен забезпечувати сталий та безпечний розвиток енергетичного сектору.

Література

1. Lezhniuk P., Burykin O., Malogulko Yu. Distributed energy sources in the local electrical systems: monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 148 p.
2. Grid 2030: A National Version for Electricity's Second 100 Years // Office of Electric Transmission and Distribution United State Department of Energy. 2003.
3. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. Київ: Освіта України, 2007. 464 с.
4. Burr M. Reliability demands drive automation investments. *Public Utilities Fortnightly*. 2003. Nov. 1. URL: <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor> (дата звернення: 25.01.2023).
5. World Energy Issues Monitor 2017. Exposing the new energy realities. World Energy Council. URL: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/1.-World-Energy-Issues-Monitor-2017-Full-Report.pdf> (дата звернення: 26.01.2023).
6. Каплун В. В., Козирський В. В. Smart Grid як інноваційна платформа розвитку електроенергетичних систем. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2011. Вип. 11. Т. 4. С. 35-46.
7. Dileep G. A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*. 2020. Vol. 146. P. 2589-2625. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.092>.
8. Metke A., Ekl R. Security technology for smart grid networks. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2010. № 1.1. P. 99-107. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSG.2010.2046347>.
9. Momoh J. Smart grid: fundamentals of design and analysis. John Wiley & Sons, 2012. 233 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118156117>.
10. Левшов А. В. Развитие научных исследований в области интеллектуальных энергосистем. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. 2011. № 11(186). С. 241-245.
11. Rylatt R. M. Exploring Smart Grid possibilities: a complex system modelling approach. *Smart Grid*. 2015. Vol. 1, No. 1. P. 1–15.

References

1. Lezhniuk, P., Burykin, O., Malogulko, Yu. (2018). Distributed energy sources in the local electrical systems: monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing. 148 p.
2. Grid 2030: A National Version for Electricity's Second 100 Years. (2003). Office of Electric Transmission and Distribution United State Department of Energy.
3. Prakhovnyk, A. V. (2007). Malaya energetika: raspredelennaya generatsiya v sistemakh energosnabzheniya [Small power engineering: distributed generation in power supply systems]. Kyiv, Osvita Ukrainy. 464 p. [in Russian].
4. Burr, M. (2003). Reliability demands drive automation investments. *Public Utilities Fortnightly*, Nov. 1. Retrieved from <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>.
5. World Energy Issues Monitor 2017. Exposing the new energy realities. World Energy Council. Retrieved from <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/1.-World-Energy-Issues-Monitor-2017-Full-Report.pdf>.
6. Kaplun, V. V., Kozyrskiy, V. V. (2011). Smart Grid yak innovatsiina platforma rozvytku elektroenerhetychnykh system [Smart Grid as an innovative platform for the development of electric power systems]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu – Proceedings of the Tavri State Agro-Technological University*, Issue 11, Vol. 4, pp. 35-46 [in Ukrainian].
7. Dileep, G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, Vol. 146, pp. 2589-2625. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.092>.
8. Metke, A., Ekl, R. (2010). Security technology for smart grid networks. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1.1, pp. 99-107. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSG.2010.2046347>.
9. Momoh, J. (2012). Smart grid: fundamentals of design and analysis. John Wiley & Sons. 233 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118156117>.

10. Levshov, A. V. (2011). Razvitiye nauchnykh issledovaniy v oblasti intellektual'nykh energosistem [Development of scientific research in the field of intelligent energy systems]. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu – Scientific works of the Donetsk National Technical University*, 11(186), pp. 241-245 [in Russian].

11. Rylatt, R. M. (2015). Exploring Smart Grid possibilities: a complex system modelling approach. *Smart Grid*, Vol. 1, No. 1, pp. 1–15.

Андрієнко Б. Я. Теоретичний зміст поняття «смарт-енергосистема»

Ця стаття зосереджується на аналізі концепції смарт-енергосистем, які перетворюються на фундаментальний елемент управління енергетичними ресурсами на глобальному рівні. Дослідження охоплює як вітчизняні, так і міжнародні перспективи, порівнюючи різні підходи науковців, державних інституцій та промислових гравців у застосуванні смарт-технологій в енергетиці. Особливий наголос робиться на різноманітність визначень смарт-енергосистем, їхні підходи та імплементації, що мають значний вплив на економічну безпеку, сталість розвитку та інтеграцію інноваційних технологій. У статті розглянуто, як смарт-енергосистеми сприяють стабілізації енергетичних мереж, оптимізації виробництва та споживання енергії, а також розглядають їх роль у забезпеченні відповідності до сучасних екологічних та економічних викликів. Це дослідження надає всебічний огляд актуальних технологій та стратегічних напрямків розвитку, які можуть бути використані для підтримки сталих та ефективних енергетичних систем в майбутньому.

Ключові слова: смарт-енергосистема, смарт-технології, енергетики, сталий розвиток, інноваційні технології.

Andriienko B. The Theoretical Meaning of the Concept of «Smart Energy System»

This article focuses on the analysis of the concept of smart energy systems, which are becoming a fundamental element in managing energy resources on a global scale. The research encompasses both domestic and international perspectives, comparing various approaches of scientists, governmental institutions, and industrial players in the application of smart technologies in energy. Special emphasis is placed on the diversity of definitions of smart energy systems, their approaches, and implementations, which significantly impact economic security, sustainability, and the integration of innovative technologies. The article examines how smart energy systems contribute to the stabilization of energy networks, optimization of energy production and consumption, and discusses their role in meeting contemporary environmental and economic challenges. This study provides a comprehensive overview of current technologies and strategic development directions that can be utilized to support sustainable and efficient energy systems in the future.

Keywords: smart energy system, smart technologies, energy, sustainable development, innovative technologies.

Стаття надійшла до редакції 29.02.2024