

DOI: 10.15421/272413  
UDC 621.039.5:62(477)

**Г. Т. Іванова**

*ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки  
ім. Г. М. Доброва НАН України», Київ, Україна*

## **АНАЛІЗ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК СОЦІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ**

**E-mail:** georgana@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-6986-6837>

**Анотація:** Стаття розглядає атомну енергетику як складну соціотехнічну систему, де важливо враховувати взаємодію технологій, соціальних процесів, ідеалів та цінностей суспільства з метою забезпечення ефективного та безпечного функціонування. Атомна енергетика залишається однією з ключових галузей сучасної енергетики, але її використання вимагає комплексного підходу та урахування широкого спектра аспектів, включаючи соціальні, гуманітарні та екологічні чинники. Особлива увага до цієї теми виникає у зв'язку з необхідністю забезпечення безпеки та ефективності функціонування атомної енергетики в умовах зростаючих вимог до сталого розвитку та збереження навколишнього середовища. В сучасному світі, де енергетика відіграє ключову роль у розвитку суспільства і стає джерелом можливих ризиків, важливо розглядати атомну енергетику як комплексну систему, взаємодія якої залежить від технологій, соціальних процесів, ідеалів та цінностей суспільства. Шляхом аналізу різних підходів до концепції «соціотехнічна система» автори статті виявили основні компоненти атомної енергетики як соціотехнічної системи. Аналіз літератури показав, що соціотехнічна система включає взаємодію інституцій, технологій, соціальних процесів, ідеалів та цінностей суспільства, які взаємопов'язані і впливають один на одного, забезпечуючи ефективне та безпечне функціонування атомної енергетики. Основні результати дослідження полягають в узагальненні наявних підходів до атомної енергетики та виділенні ключових компонентів цієї системи. Висновки статті стосуються осмислення рекомендацій щодо поліпшення безпеки та управління ядерною енергетикою, а також підкреслення важливості розуміння та підтримки громадськістю переваг і ризиків цієї галузі. Одним із ключових висновків є необхідність моніторингу громадського занепокоєння щодо радіаційної небезпеки, проблем управління відходами, пов'язаних з ядерною енергетикою та розширення просвітницької діяльності й інформування про переваги і ризики галузі.

**Ключові слова:** атомна енергетика, соціотехнічна система, історія та соціологія науки і техніки, енергетична безпека, науково-дослідний процес, суспільні цінності, соціальні аспекти.

**G. T. Ivanova**

*G. M. Dobrov Institute for Research of Scientific and Technical Potential and History  
of Science National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

## **ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF NUCLEAR ENERGY AS A SOCIO-TECHNICAL SYSTEM**

**Abstract:** Nuclear energy remains one of the key sectors in modern energy production, yet its utilization requires a comprehensive approach and consideration of a wide spectrum of aspects, including social, humanitarian, and environmental factors. Special attention to this topic arises due to the necessity of ensuring safety and efficiency in the operation of nuclear energy amidst increasing demands for sustainable development and environmental preservation. The aim of this article is to highlight the importance of considering social, humanitarian, and environmental aspects in the production and utilization of nuclear energy, as well as to emphasize the need to view nuclear energy as a complex sociotechnical system. In the contemporary world, where

energy plays a pivotal role in societal development, it is crucial to regard nuclear energy as a comprehensive system, the interaction of which depends on technologies, social processes, ideals, and societal values. The research methodology included methods of analysis and synthesis, comparison, specification, and hermeneutics. Through analyzing various approaches to the concept of a «sociotechnical system», the authors of the article identified the main components of nuclear energy as a sociotechnical system. The primary objective of the study was to analyze different approaches to the concept of a «sociotechnical system» and identify the main components of nuclear energy as such a system. The authors of the article emphasized that a sociotechnical system encompasses the interaction of technologies, social processes, ideals and societal values, which are interconnected and influence each other, ensuring the effective and safe functioning of nuclear energy. The main research findings include summarizing existing approaches to nuclear energy and identifying key components of this system. The conclusions of the article relate to recommendations for improving safety and management of nuclear energy, as well as emphasizing the importance of understanding and public support for the advantages and risks of this sector. One of the key conclusions is the necessity of monitoring public concerns regarding radiation hazards, waste management issues related to nuclear energy, and expanding educational activities and informing about the benefits and risks of the sector. In conclusion, the article views nuclear energy as a complex sociotechnical system, where it is essential to consider the interaction of technologies, social processes, ideals, and societal values to ensure effective and safe operation.

**Keywords:** Nuclear energy, sociotechnical system, history of science and technology, energy security, research process, societal values, social aspects.

**Вступ.** Ядерна енергетика активно розвивається як у світі, так і в Україні. Вона вважається відносно чистим джерелом енергії порівняно з іншими видами, такими як вугілля або нафта, оскільки не викидає в атмосферу велику кількість вуглекислого газу. Це важливо для боротьби зі зміною клімату та забрудненням довкілля. Ядерна енергетика є досить ефективним джерелом енергії. Вона може забезпечити велику кількість електроенергії на довгий час без необхідності частого поповнення палива. Це робить її привабливою для забезпечення стабільності в енергетичному секторі. Україна, як і багато інших країн, відчуває потребу в розвитку ядерної енергетики через зростання енергоспоживання та потребу в заміні застарілих енергетичних майданчиків. Розвиток ядерної енергетики в Україні може сприяти забезпеченню енергетичної незалежності, зменшенню забруднення довкілля та сприяти загальному економічному розвитку країни.

Однак ядерна енергетика має суперечливий статус через аварії, такі як: Три-Майл-Айленд, Чорнобиль і Фукусіма, тому необхідно врахувати соціальні, гуманітарні й екологічні аспекти у виробництві та використанні атомної енергії. Тому актуальним є розгляд атомної енергетики як складної соціотехнічної системи, де технології, соціальні процеси, ідеали та цінності суспільства взаємопов'язані і впливають один на одного. Важливо моніторити громадське занепокоєння та розширювати просвітницьку діяльність щодо переваг і ризиків цієї галузі.

**Мета дослідження** – аналіз розвитку теоретичних і методологічних основ поняття «соціотехнічна система» та розгляд атомної енергетики як соціотехнічної системи. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі науково-дослідні завдання: визначити передумови становлення терміна «соціотехнічна система» в контексті атомної енергетики, розкрити основні напрями цього терміна, дослідити наукові установи, які готують фахівців у сфері атомної енергетики тощо.

**Предметом дослідження** є виокремлення складників атомної енергетики як соціотехнічної системи, виявлення нових можливостей та викликів, пов'язаних з їх подальшим розвитком.

**Методи дослідження.** Для виконання поставлених завдань використано між-дисциплінарну теоретико-методологічну базу, що ґрунтується на сукупності методів як історичної науки, так і суміжних галузей – філософії, соціології, наукознавства та принципів науковості, історизму, об'єктивності, всебічності, системності. У науковому дослідженні застосовано загальнонаукові, спеціально-історичні методи дослідження:

історіографічний аналіз і синтез, узагальнення, історико-хронологічний, історико-порівняльний, системно-структурний методи.

**Історіографія та джерела.** У дослідженнях Ш. Джасанофф, Е. Тріст, К. Бамфорт, Ф. Емері [8; 11; 17] аналізуються загальні питання, що стосуються функціонування соціотехнічних систем, важливості врахування ставлення суспільства до технологій, можливості використання терміна «соціально-технічна свідомість» тощо. У дослідженнях О. Борового, В. Бар'яхтара, В. Кухара [9] досліджується історія трагедії Чорнобиля. Автори наголошували, що необхідно критично проаналізувати велику кількість заходів, вжитих під час ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, і створити спеціальну базу даних на цю тему. Оскільки це сприятиме накопиченню знань і досвіду, які стануть у пригоді в надзвичайних ситуаціях техногенного і природного характеру, адже в складних ситуаціях, що вимагають термінових дій, ефективні рішення можуть бути ухвалені лише на основі попереднього досвіду і знань.

У своїх працях [3–6] Н. Барановська узагальнює матеріали поточних корпоративних документів та опублікованих інформаційних ресурсів. Вона аналізує численні аспекти соціальних та економічних наслідків подій, пов'язаних із Чорнобильською катастрофою. В її дослідженнях розглядаються питання, пов'язані з евакуацією та переселенням населення з районів, що постраждали від радіоактивного забруднення, проблемами здоров'я населення України, визнанням статусу постраждалих громадян та фінансуваням виплат та програм, передбачених законодавством. Також звертається увага на соціально-економічні проблеми, що виникли внаслідок початку виведення з експлуатації Чорнобильської атомної електростанції. Таким чином, у цих дослідженнях можна прослідкувати проблему соціотехнічної та соціокультурної системи – як техногенна катастрофа вплинула на життя суспільства не тільки України, але й усього світу.

У працях В. Бар'яхтара та Ю. Горобця [7] порушується питання стосовно проблеми підготовки національної наукової еліти в Україні та зацікавленості держави в самому факті існування науки як необхідного елементу державної машини. Оскільки, за словами В. Бар'яхтара, «базовим рушієм сучасної цивілізації є науковомістка індустрія, що базується на високих новітніх технологіях» [7]. Також В. Бар'яхтар порушував питання стосовно майбутнього атомної енергетики в Україні. Він писав що атомна енергетика є лише одним із секторів енергетичної галузі і її майбутнє значною мірою залежить від результатів діяльності інших секторів. Для оцінювання її майбутнього необхідно враховувати загальні тенденції розвитку енергетичного сектору загалом. Також у його спільній з Б. Патоном, О. Бакаєвим та І. Неклюдовим праці [26] підкреслено, що атомні електростанції не викидають парникових газів і не споживають кисень, але наявні реактори не відповідають гарантованим вимогам безпеки, а поведження з радіоактивними відходами не відповідає екологічним стандартам.

База джерел дослідження сформована з відкритих матеріалів міжнародних та національних організацій, таких як: Міжнародне агентство з атомної енергії, Українське ядерне товариство, а також результатів опитування Національного екологічного центру України [2] та Фонду імені Фрідріха Еберта [27]. Також використано матеріали та документи офіційних сайтів наукових журналів та наукових і освітніх закладів.

**Опрацювання матеріалів** відбувалося на основі залучення сукупності загальнонаукових та спеціальних методів наукових досліджень, що забезпечили комплексний характер дослідження. Серед них методи узагальнення, аналогії, синтезу, аналізу, формальної логіки, історико-порівняльний, проблемно-хронологічний, історико-типологічний, історико-системний, історичної періодизації, діахронічного аналізу та ін. Застосування методологічних підходів до аналізу проблем сприяло формулюванню логічно визначених напрямів дослідження, що здійснено на засадах історизму, об'єктивності, системності, всебічності.

**Основна частина.** Термін «соціотехнічна система» багатозначний. Наведемо найпоширеніші тлумачення. Соціотехнічна система – це підхід до комплексного проектування організаційної роботи, який визнає взаємодію людей і технологій на робочих місцях. Цей термін також належить до цілісних систем людських відносин,

технічних об'єктів і кібернетичних процесів, які притаманні великим, складним інфраструктурам. Суспільство та його складові технологічні підструктури кваліфікуються як складні соціотехнічні системи.

Термін «соціотехнічні системи» був запропонований дослідниками Е. Трістом, К. Бамфортом і Ф. Емері в середині ХХ століття під час їхньої роботи в Тавістокському інституті в Лондоні і передбачав аналіз взаємодії соціальних і технічних аспектів в організаціях та суспільстві загалом. При цьому увага приділялася не лише матеріальній технології, але й процедурам, знанням і організаційній структурі [11; 21].

Поняття «соціотехнічні системи» дає змогу аналізувати та виявляти, як соціальні структури, знання та технології взаємодіють та впливають одне на одного, сприяючи формуванню та розвитку організацій та суспільства загалом. Цей термін широко вживається в наш час, переважно для опису складних систем. Дослідники виділяють «ять основних характеристик відкритих соціотехнічних систем: системи повинні мати взаємозалежні частини; системи повинні адаптуватися й досягати цілей у зовнішньому середовищі; системи мають внутрішнє середовище, що включає окремі, але взаємозалежні технічні та соціальні підсистеми; системи повинні бути автономними. Тобто системні цілі можуть бути досягнуті більш ніж одним способом; продуктивність системи залежить від спільної оптимізації технічної та соціальної підсистем. Таким чином, зосередження уваги лише на одній із цих систем (соціальної чи технічної) й виключення іншої може призвести до погіршення продуктивності та корисності системи.

У праці Г. Бакстера та Й. Сомервіля [8] наголошується на тому, що застосування соціотехнічного підходу сприяє створенню систем, які краще задовольняють потреби кінцевих користувачів та вимоги різних зацікавлених сторін. Однак для успішного проєктування цих систем необхідний специфічний метод, який враховує гуманітарні, соціальні, організаційні та технічні аспекти.

Цей підхід дозволяє отримати глибше розуміння того, як взаємодіють людські, соціальні та організаційні фактори з технічними аспектами, як це впливає на способи виконання завдань та використання технічних систем. Незважаючи на те що багато керівників розуміють важливість соціально-технічних питань, на практиці методи соціотехнічного проєктування застосовуються досить рідко.

Поняття «соціотехнічна система» зосереджує увагу на взаємодії технологій, фахівців та суспільства, враховуючи принципи ефективності, безпеки та інформованості.

В. Чимшир у монографії [11] зазначає, що соціотехнічна система є своєрідною цілісністю, де, подібно до еволюції нелінійних динамічних систем, періоди спокійного розвитку чергуються з періодами флуктуацій, а організація постійно адаптується, переходячи від різних станів, включаючи стійкий стан. Крім того, їх складність не є випадковою характеристикою. Автор, керуючись дослідженнями, виділяє чотири основні причини цих ускладнень, це: складність реальної області, що охоплює технічну систему; незадовільні вимоги до опису розвитку технічних систем; неможливість забезпечити достатню гнучкість управління на етапах проєктування та реалізації технічних проєктів; труднощі управління процесами розвитку технічної системи протягом усього її життєвого циклу.

Дослідження В. Чимшира аналізує вплив зовнішнього та внутрішнього середовищ на управління технічною системою, а основний акцент робиться на проєктно-орієнтованому підході. Автор провів дослідження для визначення особливостей соціотехнічних систем, це дозволило йому віднести об'єкти виробництва, передачі і розподілу електричної й теплової енергії до соціотехнічних систем [11].

Отже, атомна енергетика є яскравим прикладом соціотехнічної системи. Для ефективного та безпечного функціонування вона потребує не лише розвиненої технічної інфраструктури, але й урахування гуманітарних, соціальних, економічних та екологічних аспектів.

В атомній енергетиці взаємодія технологій (які включають ядерні реактори, системи безпеки, обробку відходів тощо) та людей (інженери, оператори, науковці,



споживачі, громадськість) є ключовою для забезпечення безпеки, попередження аварій та впровадження кращих практик.

При цьому енергетичні, економічні та політичні аспекти також впливають на розвиток та використання атомної енергетики. Вирішення питань стосовно забезпечення енергетичної безпеки, відпрацювання відходів, врахування публічної думки для прийняття рішень вимагає глибокого аналізу соціальних та технічних аспектів

Україна одна з небагатьох країн, яка здатна забезпечувати функціонування та розвиток всіх елементів атомної енергетики (АЕ) як соціотехнічної системи, зокрема готувати висококваліфіковані кадри, проводити наукові дослідження, також наші фахівці мають досвід ліквідації аварії тощо. До соціотехнічної системи АЕ належать: система підготовки та перепідготовки спеціалістів; інститути наукового супроводу; громадські професійні товариства; професійні журнали; законодавча база; інститути що забезпечують взаємодію з широким загалом тощо.

Кожен складник соціотехнічної системи атомної енергетики виконує необхідну функцію. Ця промисловість є однією з високотехнологічних галузей, тому підготовка та перепідготовка спеціалістів необхідна для забезпечення її безпечного та ефективного функціонування. Науковий супровід відіграє критичну роль у просуванні новаторських технологій та інновацій у сфері атомної енергетики. Громадські професійні товариства відіграють провідну роль у формуванні мережі контактів, налагодження комунікації з суспільством та іншими професійними сферами. Соціологічний моніторинг суспільної думки, налагодження комунікацій з суспільством, просвітницька діяльність музейних закладів сприяють стійкості та стабільному функціонуванню соціотехнічних систем.

Однак за відсутності аналізу систем підготовки та перепідготовки кадрів, наукового супроводу галузі, професійних товариств та наукових журналів може виникнути ряд серйозних проблем. По-перше, відсутність систематичного аналізу та підтримки систем підготовки та перепідготовки кадрів може спричинити недостатню кваліфікацію працівників, що впливає на ефективність роботи та розвиток галузі загалом. Недоліки у професійній підготовці можуть стати перешкодою для інновацій та розвитку нових технологій, а також знизити конкурентоспроможність галузі на міжнародному ринку.

По-друге, відсутність наукового супроводу галузі може призвести до втрати цінної інформації та можливостей для розвитку. Недостатній обмін знаннями та досвідом може призвести до уповільнення темпів розвитку технологій та інновацій. Брак систематичного аналізу та наукової експертизи може також призвести до появи низки недоліків та помилок у реалізації соціотехнічних систем, що впливає на їхню ефективність та безпеку використання.

Третя проблема полягає у відсутності ефективного спілкування та обміну інформацією між професійними товариствами та науковими журналами. Це може призвести до розриву в науково-практичній сфері, обмежуючи можливості для співпраці та обміну досвідом. Недостатній обмін інформацією може стати перешкодою для швидкого впровадження нових технологій та інновацій, що впливає на загальний розвиток галузі.

Запобігання цим проблемам вимагає системного підходу та підтримки від усіх сторін: від університетів та навчальних закладів, від наукових установ та професійних товариств, а також від держави у вигляді сприяння створенню умов для наукового та професійного зростання в галузі. Тому безпека та стійкість атомної енергетики неможлива без висококваліфікованих фахівців, підготовка яких потребує значних зусиль та часу. Досвід атомної промисловості показує, що на атомних електростанціях 80% значущих подій можуть бути пов'язані з людською помилкою [13]. Хоча навчання й підвищення кваліфікації фахівців-атомників відбувається впродовж усієї трудової діяльності, але основи закладаються у закладах вищої освіти.

Так, у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка підготовка фахівців у галузі енергетики здійснюється на кафедрі ядерної фізики та високих енергій, що була створена за ініціативою академіка О. Лейпунського у вересні 1945 року. На сьогодні кафедра має потужну експериментальну базу та активно співпрацює з науково-дослідними інститутами та університетами як в Україні, так і за її межами.

Найтісніші наукові зв'язки кафедри встановлені з такими науковими установами: Європейський центр ядерних досліджень CERN (Швейцарія), Інститут ядерних досліджень GSI (Німеччина), Аргонська Національна лабораторія (ANL) (США), Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) (Австрія), Інститут ядерних досліджень у м. Люблянці (Словенія), Інститут ядерних досліджень НАНУ (Київ), Дебреценський університет (Угорщина) та інші. Окрім навчання фахівців, проводяться наукові дослідження, спрямовані на аналіз безпеки роботи атомних станцій. Для цього використовуються спеціальні програмні коди для тривимірних розрахунків активних зон реакторів, перехідних процесів та можливих аварійних сценаріїв. Деякі з цих досліджень отримують фінансування від Міністерства енергетики США в межах Міжнародної програми ядерної безпеки, а інші – від атомних станцій України [19].

У Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» підготовка фахівців у галузі енергетики відбувається на кафедрі атомних електричних станцій та інженерної теплофізики. Кафедра пропонує три освітні програми з фокусом на атомну енергетику: «Атомні електричні станції», «Фізичний захист та облік і контроль ядерних матеріалів» і «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем». Студенти отримують комплексну підготовку, включаючи фізико-математичні знання, інженерну підготовку, вміння працювати із сучасними програмними продуктами та мовами програмування. Підготовка здійснюється у співпраці з провідними організаціями енергетичної галузі, а практична підготовка відбувається на передових підприємствах та унікальних тренажерах. Після завершення навчання студенти мають можливість працевлаштування на провідних підприємствах атомної енергетики та отримання ліцензії на управління ядерними установками. Кафедра забезпечує студентів необхідними знаннями та практичними навичками для успішної кар'єри в енергетичній галузі [18].

Одеський національний політехнічний університет проводить підготовку фахівців для сфери атомної енергетики на трьох кафедрах: «Атомні електростанції», «Технологія води та палива» і «Комп'ютерні технології автоматизації». Університет також надає студентам можливість брати участь у програмах академічної мобільності, які передбачають можливість навчання за кордоном протягом одного семестру. Це дає студентам можливість здобути додаткову освіту в університетах Польщі, Іспанії, Португалії, Німеччини та Туреччини [22].

Також для успішного розвитку атомна енергетика повинна вирішувати складні технічні завдання, такі як: продовження терміну експлуатації енергоблоків, забезпечення безпеки діючих енергоблоків, розробку технологій поводження з відпрацьованим ядерним паливом, дослідження проблем дозиметрії, радіоекології та охорони навколишнього середовища та ін. На вирішення цих та інших проблем спрямована діяльність наукових установ.

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка Національної академії наук України утворений згідно з рішенням Президії Академії наук УРСР від 14 вересня 1966 р., № 211, на основі сектора міцності Інституту проблем матеріалознавства АН УРСР. Від 1 жовтня 1966 р. він почав свою наукову діяльність. Інститут мав різні назви протягом років, включаючи Інститут проблем міцності Академії наук УРСР, Інститут проблем міцності Академії наук України та Інститут проблем міцності Національної академії наук України. У 2002 р. Інститут названий на честь академіка Г. С. Писаренка, видатного ученого-механіка, засновника та першого директора інституту [14].

Історія створення Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України бере початок з часу подій, що відбулися внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції у квітні 1986 р. Офіційно Інститут був утворений 4 лютого 1992 р. як Міжгалузевий науково-технічний центр (МНТЦ) «Укриття» при Національній академії наук України. Центру передали всю матеріальну, лабораторну та наукову базу, яка була створена в процесі Комплексної експедиції. Інститут був офіційно зареєстрований 30 червня 1992 р. відповідно до статуту, затвердженого Президією НАН України [15].

Інститут ядерних досліджень НАН України був заснований 1970 р., він зосереджується на широкому спектрі наукових та прикладних напрямів, які включають ядерну фізику, атомну енергетику, фізику твердого тіла, радіаційну фізику, фізику плазми, радіоекологію та радіобіологію. До складу Інституту входить 27 наукових і науково-технічних відділів, у яких працює понад 760 співробітників, включаючи 211 науковців, серед яких є академік Національної академії наук України, член-кореспондент НАН України, 42 доктори наук і 154 кандидати наук. Напрями їх дослідження стосуються ядерної фізики, техногенно-екологічної безпеки тощо. Наразі там діють 5 відділів: секція ядерної фізики, фізики елементарних частинок і високих енергій; секція ядерної енергетики; секція радіаційної фізики та реакторного матеріалознавства; секція фізики плазми та керованого термоядерного синтезу; секція ядерної, радіаційної та техногенно-екологічної безпеки [16].

Науково-дослідний інститут автоматики та енергетики «Енергія» (НДІ Енергія), КПІ був заснований у 1991 р. під керівництвом кандидата технічних наук В. Калінчика і вже протягом багатьох років відіграє важливу роль у сфері енергозбереження та управління режимами енергоспоживання. Інститут фокусується на широкому спектрі питань, пов'язаних з підвищенням ефективності використання енергії та забезпеченням стійкості систем енергопостачання. Інститут вирішує широке коло питань, пов'язаних з енергозбереженням, управлінням режимами енергоспоживання, багаторівневим ресурсозберігаючим управлінням режимами систем енергопостачання. Наукові досягнення НДІ «Енергія» включають розробку та впровадження методів і засобів обліку, контролю й управління режимами енергоспоживання. Це включає аналіз, прогноз та контроль використання енергії, багатокритеріальну оптимізацію розподілу енергоресурсів та розробку багатофункціональної системи тарифів на електроенергію. Також розроблено загальні вимоги і правила застосування приладів для обліку енергії, методи й системи комплексного управління режимами систем електропостачання промислових об'єктів та державні стандарти України в галузі електроенергетики. Крім того, НДІ «Енергія» розробило Концепцію побудови автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії в умовах енергоринку, технічні вимоги до таких систем, типові проєктні рішення побудови автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії для різних категорій споживачів та системи контролю енергоносіїв [23].

Важливим складником соціотехнічної системи є науково-технічні журнали. Відзначимо лише три вузько спеціалізовані журнали. Хоча публікації з проблем АЕ друкують також Вісник НАН України, університетські часописи та ін.

Науково-технічний журнал «Ядерна та радіаційна безпека» був заснований Державним науково-технічним центром з ядерної та радіаційної безпеки (ДНТЦ ЯРБ) та Національним університетом «Одеська політехніка» за підтримки Міністерства освіти і науки України в 1998 р. Журнал публікує наукову й технічну інформацію з ядерної та радіаційної безпеки, фізики активних зон реакторів, термогідралічних процесів, імовірнісного та детерміністичного аналізів безпеки, радіаційного захисту, матеріалознавства й конструкційної надійності обладнання, надійності систем контролю та управління, поводження з ядерними матеріалами, радіоактивними відходами та джерелами іонізуючих випромінювань. Особливу увагу приділяє науковим публікаціям з питань продовження ресурсу експлуатації діючих енергоблоків АЕС, підвищення їх рівня безпеки, будівництва і введення в експлуатацію нових енергоблоків АЕС, перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему [31].

Науково-технічний журнал «Ядерна енергетика та довілля» видається з 2012 р., його мета полягає в тому, щоб сповістити про нові технічні рішення та методи оцінювання безпеки ядерних установок, а також поділитися результатами наукових досліджень у сфері ядерної енергетики та захисту населення і навколишнього середовища, які стануть корисними для фахівців атомних станцій, організацій, що використовують ядерні технології, викладачів, аспірантів, студентів відповідних кафедр і широкої громадськості [23].

«Ядерна фізика та енергетика» видається Інститутом ядерних досліджень НАН України з 2000 р. Це щоквартальний рецензований науковий журнал із відкритим доступом, який охоплює всі аспекти ядерної фізики, фізики елементарних частинок, атомної енергії, радіаційної фізики, фізики плазми, радіобіології, радіоекології, техніки та експериментальних методів [30].

У сучасному світі наукові професійні товариства виконують важливі комунікаційні, організаційні, соціальні функції. Українське Ядерне Товариство (УкрЯТ) [28], засноване 1993 р., є найбільшою громадською науково-технічною організацією в Україні, яка об'єднує провідні підприємства та навчальні заклади, пов'язані з атомною промисловістю. Історія цієї організації тісно пов'язана зі становленням атомної індустрії в Україні. Основний фокус роботи УкрЯТ – це наукова підтримка галузі, розв'язання проблем, пов'язаних з аварією на Чорнобильській АЕС, та розвиток культури безпеки. Організація також взаємодіє з громадськістю, ЗМІ та сприяє навчанню майбутніх фахівців для ядерної енергетики. Протягом свого існування УкрЯТ встановило партнерські відносини з міжнародними організаціями, такими як Європейське ядерне товариство (ENS), Американське ядерне товариство (ANS), і співпрацює з атомними організаціями інших країн та відомими закордонними корпораціями та фірмами, що спеціалізуються в ядерній сфері, такими як: «Westinghouse» (США), «Siemens KWU» (Німеччина), EDF (Франція), Skoda (Чехія) та іншими. Українське ядерне товариство продовжує розвиватися й активно працює на користь розвитку атомної енергетики та забезпечення енергетичної безпеки України.

Усі ці складники спільно працюють для забезпечення найвищої якості підготовки фахівців, які можуть виконувати завдання з будівництва, експлуатації, безпечного зберігання відходів, наукового дослідження та інших аспектів атомної енергетики.

Важливим складником соціотехнічної системи є історико-соціальний аналіз наявних проблем та наслідків минулих подій, а також моніторинг суспільної думки щодо проблем атомної енергетики. Вона завжди була предметом активних дискусій у громадськості через ряд аварій, таких як: Три-Майл-Айленд, Чорнобиль та Фукусіма. Згідно з доповіддю Міжнародної атомної енергетичної агенції, помилкові уявлення про ядерну енергетику продовжують впливати на сприйняття суспільством та формування політики. Громадське сприйняття переваг і ризиків, пов'язаних з ядерною енергетикою, а також тривожність щодо радіаційної небезпеки та проблем управління відходами залишаються ключовими аспектами у формуванні загального ставлення.

Оскільки громадська думка має значний вплив на вибір урядами енергетичних стратегій, погляди зацікавлених сторін, їх інформованість та знання про ядерну енергетику є критичними для успішної реалізації ядерно-енергетичних програм та ухвалення відповідних рішень. Тому розвиток міцних, позитивних та довгострокових відносин із зацікавленими сторонами є ключовим фактором для наявних, нових і майбутніх ядерно-енергетичних програм [12; 29].

Для визначення рівня інформованості громадян щодо їхнього ставлення до атомної енергетики проводять опитування. Наприклад, у 2015 р. Національний екологічний центр України провів соціологічне опитування на тему «Ставлення населення України до атомної енергетики» [27]. Результати показали, що приблизно половина українців (42%) не мають інформації про обсяг виробництва електроенергії на атомних електростанціях. Чверть населення (26%) переоцінюють роль АЕС (вважають, що на них виробляється від 60% до 100% електроенергії), тоді як недооцінюють – лише 11%. Приблизно правильну оцінку дає лише 21% жителів України. Загалом більшість населення (83%) вважають атомну енергетику прийнятним джерелом енергії (з них 54% абсолютно так вважають), але лише за умови суворих правил безпеки. Лише 8% не згодні з такою позицією.

Незважаючи на позитивне ставлення більшості населення України до атомної енергетики за умови дотримання суворих критеріїв безпеки, 70% вважають, що досягнення повної безпеки на атомних електростанціях майже неможливе. Також



71% не погоджуються з твердженням, що атомна енергетика майже не впливає на навколишнє середовище.

У питанні щодо відмови від атомної енергетики спостерігається суперечливість громадської думки. З одного боку, 65% населення вважають, що держава повинна негайно переходити на альтернативні джерела енергії (проти – 14%). З іншого боку, 57% вважають, що наразі не існує прийнятних альтернатив для заміни атомної енергетики (не погоджуються – 22%). Водночас 59% прихильників переходу на альтернативні джерела енергії вважають, що наразі немає прийнятної альтернативи (26% вважають, що вона існує). Лише 38% підтримують повну відмову від ядерної енергетики в майбутньому, тоді як 41% не підтримують. Нарешті, 54% вважають, що перспектива отримання дешевої електроенергії від АЕС не виправдовує ризиків, пов'язаних з ядерною енергетикою (27% не згодні з цим).

Щодо майбутньої перспективи ядерної енергетики загалом, то чверть населення (24%) рішуче виступає за поступову ліквідацію всіх атомних електростанцій. Більшість (60%) виступає за продовження використання ядерної енергії в тій чи іншій формі, включаючи розвиток ядерної галузі шляхом будівництва нових енергоблоків (19%) і нових станцій (11%). Майже стільки ж (29%) вважають, що слід зберегти статус-кво.

Серед тих, хто підтримує перехід на альтернативні джерела енергії, 54% вважають, що держава має повністю відмовитися від атомної енергетики в майбутньому. Проте третина таких осіб (33%) не підтримує повну відмову від АЕС.

У 2021 р. С. Балюк, Н. Клаунінг, Л. Четвертухіна, М. Коваль-Гончар з Фонду імені Фрідріха Еберта провели опитування на тему «Екологічні тренди в Україні: погляд громадян» [2]. Питання про атомну енергетику не було в центрі уваги, проте результати показали, що на запитання «Які види енергетики, на вашу думку, є найбільш перспективними для України?» 25,7% опитуваних назвали атомну енергетику. Також був висловлений коментар: «Атомна енергетика, коли дійсно дотримані всі нормативи, менш шкідлива для навколишнього середовища, ніж теплова та вугільна. Не порівняти, що дає вугільна, які викиди, яку загазованість, і що дає атомна» – чоловік, 66 років, Львів.

У зв'язку з потенційними ризиками та впливом на суспільство важливо враховувати думку громадськості та забезпечувати її активну участь у процесі ухвалення рішень щодо розвитку атомної енергетики. Публічний діалог, інформування та консультації з громадськістю сприяють створенню довіри та легітимності при вирішенні соціальних питань, пов'язаних з атомною енергетикою. Важливо, щоб суспільство мало належне розуміння, як працюють атомні електростанції, що допоможе уникнути поширення недостовірних міфів та сприятиме більш об'єктивному ставленню до атомної енергетики. Наприклад, діяльність музеїв, присвячених атомній енергетиці, може сприяти цьому процесу.

**Висновки.** Аналіз атомної енергетики як соціотехнічної системи є ключовим для розуміння сучасних викликів та можливостей у цій галузі. Воно відкриває нові перспективи для подальшого розвитку, особливо за умови зростаючих вимог до виконання завдань забезпечення сталого розвитку та збереження навколишнього середовища. Важливо враховувати, що атомна енергетика залишається однією з ключових галузей енергетики і її використання потребує комплексного підходу та урахування широкого спектра аспектів, включаючи соціальні, гуманітарні та екологічні чинники.

У зв'язку з надзвичайно небезпечним та суперечливим характером ядерної енергетики її проектування та експлуатацію слід розглядати як набагато більше, ніж просто елемент енергетичного сектору. Розгляд ядерної енергетики як складної соціотехнічної системи має потенціал для поліпшення безпеки та ефективності цієї галузі, а також для формування культури безпеки в сучасному світі, насиченому технологією.

Основні результати аналізу підкреслюють важливість розгляду атомної енергетики як комплексної системи, взаємодія якої залежить від технологій, соціальних процесів, ідеалів та цінностей суспільства. Виявлені в роботі передумови становлення терміна «соціотехнічна система» в контексті атомної енергетики та розкриті основні напрями

цього терміна сприятимуть подальшій розробці теоретичних концепцій та практичних рішень у сфері атомної енергетики.

В Україні сформовані всі складники для успішного розвитку галузі атомної енергетики як соціотехнічної системи: система підготовки та перепідготовки спеціалістів; інститути наукового супроводу; громадські професійні товариства; професійні журнали; законодавча база; інститути моніторингу громадської думки тощо.

Водночас, враховуючи можливі ризики та історію минулих аварій, що формують у суспільстві недовіру й занепокоєння, виникає необхідність моніторингу громадського занепокоєння щодо радіаційної небезпеки та проблем управління відходами, пов'язаними з ядерною енергетикою. Також важливо розширювати просвітницьку діяльність та інформування про переваги й ризики цієї галузі. Підтримка рекомендацій щодо поліпшення безпеки та управління ядерною енергетикою, перетворення її на соціотехнічну систему є важливим кроком у напрямі забезпечення сталого розвитку та безпечного використання атомної енергетики.

Подальші дослідження за цією темою будуть зосереджені на аналізі діяльності наукових установ, які готують фахівців у цій галузі, що відкриває шлях для розуміння й підтримки актуальності та ефективності навчальних програм у галузі атомної енергетики шляхом доповнення їх дисциплінами, які висвітлюють соціальні та гуманітарні аспекти галузі.

## REFERENCES

1. Agency, I. A. E. (2019). *Site evaluation for nuclear installations*. International Atomic Energy Agency, 34 p. <https://www.iaea.org/publications/13413/site-evaluation-for-nuclear-installations>
2. Balyuk, S., Klauning, N., Chetvertuxina, L., & Koval'-Gonchar, M. (2021). *Ekologichni trendy`v ukrayini: Poglyad gromadyan. Zvit za rezul`tatamy` sociologichnogo doslidzhennya* [Environmental trends in Ukraine: The view of citizens. Report on the results of sociological research]. Biblioteka Fondu Fridrixa Eberta. <https://library.fes.de/pdf-files/bueeros/ukraine/17805.pdf> (in Ukrainian).
3. Baranovs`ka, N. *O`yekt «Ukry`ttya»: Problemy`, podiyi, lyudy`* [Shelter Object: problems, events, people]. Yevrotest, 285 s. (in Ukrainian).
4. Baranovs`ka, N. P. (2001). *Social`ni ta ekonomichni naslidky` Chornoby`l`s`koyi katastrofy`* [Social and economic consequences of the Chernobyl disaster]. In: *istoriyi Ukrayiny` NAN Ukrayiny`*, 95 s. (in Ukrainian).
5. Baranovs`ka, N. P. (2004). *Chornoby`l`s`ka katastrofa v publikaciyax* [The Chernobyl disaster in publications]. In: *istoriyi Ukrayiny` NAN Ukrayiny`*, 207 s. (in Ukrainian)
6. Baranovs`ka, N. *Ukrayina – Chornoby`l` – Svit : Chornoby`l`s`ka problema u mizhnarodnomu vy`miri, 1986–1999* [Ukraine – Chernobyl – The World: The Chernobyl Problem in the International Dimension, 1986 – 1999]. Nika-Centr, 400 s. (in Ukrainian).
7. Bar`yaxtar, V., & Gorobecz`, Yu. (2006). *Pro pidgotovku nacional`noyi elity`* [ On the preparation of the national elite]. *Nauka ta innovaciyi*, (1), 18–20 (in Ukrainian).
8. Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, 23(1), 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003>
9. Borovoj, O., Ba`yaxtar, V., & Kuxar, V. (2001). *Uroky` chornoby`lya: Problemy` ob`yekta «ukry`ttya»* [Lessons from Chernobyl: Problems of the Shelter Object]. *Visny`k NAN Ukrayiny`*, (4), 33–45 (in Ukrainian).
10. Bory`senko, V. (2023). *Perspekty`vni napryamy` rozvy`tku atomnoyi energety`ky` ukrayiny* [Prospective directions of development of the nuclear energy industry of Ukraine]. *Visny`k NAN Ukrayiny`*, (4), 31–61. <https://doi.org/10.15407/visn2023.04.051> (in Ukrainian).
11. Chy`mshy`r, V. (2018). *Proektno-oriyentovane upravlinnya procesamy` sociotexnichny`x sy`stem: monografiya* [Project-oriented process management of sociotechnical systems: a monograph]. Kupriyenko SV, 196 s. (in Ukrainian).
12. General, D. (2021). *International status and prospects for nuclear power 2021*. Vienna International Centre, 25 p. <https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc65-inf6.pdf>
13. *Human Resource Development*. (2016). <https://www.iaea.org/topics/human-resource-development>.
14. *Insty`tut problem bezpeky` atomny`x elektrostancij Nacional`noyi akademiyi nauk* [Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences]. <https://www.ispnpp.kyiv.ua/istoria-instituta/> (in Ukrainian).

15. *Instytut problem micznosti imeni g. S. Py'sarenka naczial'noyi akademiyi nauk Ukrayiny'* [Pysarenko Institute of Strength Problems of the NAS of Ukraine]. Accessed March 18, 2024. <https://www.ipp.kyiv.ua/> (in Ukrainian).
16. *Instytut yaderny'x doslidzhen' NAN Ukrayiny'* [Institute for Nuclear Research of the NAS of Ukraine]. Accessed March 18, 2024. <http://www.kinr.kyiv.ua/> (in Ukrainian)
17. Jasanoff, S., & Kim, S. (2015). *Dreamscapes of modernity: Sociotechnical imaginaries and the fabrication of power*. University of Chicago Press, 354 p.
18. *Kafedra atomnoyi enerhetyky' (AE), IATE | KPI im. Igorya Sikors'kogo* [Department of Nuclear Energy, Institute of Nuclear and Thermal Energy]. Accessed March 25, 2024. [https://kpi.ua/web\\_aseiitf](https://kpi.ua/web_aseiitf) (in Ukrainian).
19. *Kafedra yadernoyi fizyky ta vysokykh enerhiy Fizychnoho faku'tetu KNU im. Tarasa Shevchenka* [Department of Nuclear Physics and high energy of the Faculty of Physics Taras Shevchenko National University of Kyiv]. Accessed March 1, 2024. [https://npd-knu.kyiv.ua/web/?page\\_id=28](https://npd-knu.kyiv.ua/web/?page_id=28).
20. Kyrylenko, O. V., Snyezhkin, Yu. F., Basok, B. I., & Bazyeyev, Ye. T. (2023). Enerhetyka, nauka ta inzheneriya: Suchasny'j stan i vy'kly'ky' rozvy'tku [Energy, science and engineering: current state and development challenges]. *Visny'k NAN Ukrayiny'*, (4), 3–20. <https://doi.org/10.15407/visn2023.04.003> (in Ukrainian).
21. Long, S. (2018). *Socioanalytic methods: Discovering the hidden in organisations and social systems*. Routledge, 352 p.
22. *Nacional'ny'j universytet «Odes'ka politexnika»* [National University «Odessa Polytechnic»]. Accessed March 18, 2024. <https://op.edu.ua/ie> (in Ukrainian).
23. *Naukovo-doslidny'j instytut avtomaty'ky' ta enerhetyky' «energiya»* [Research Institute of Automation and Energy «Energiya»]. (2021). Accessed March 25, 2024. <https://science.kpi.ua/sc-departments/naukovo-doslidnyj-instytut-avtomatyky-ta-enerhetyky-energiya-ndi-energiya/> (in Ukrainian).
24. Nosovskij, A., Vasi'chenko, V., Kljuchnikov, A., & Prister, B. (2006). *Avarija na chernoby'skoj ajes: Opyt preodolenija, izvlechennye uroki* [The accident at Chernobyl nuclear power plant overcoming experience. Lessons learned]. *Tehnika*, 264 s. (in Russian).
25. Nuclear Power and the Environment. *Scientific Journal Nuclear Power and the Environment*. <https://npe.org.ua/uk/>
26. Paton, B. Ye., Bar'yaxtar, V., Bakaj, O., & Neklyudov, I. (2006). *Maybutnye atomnoyi enerhetyky* [The future of nuclear power]. <http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/handle/123456789/2006> (in Ukrainian).
27. *Stavlennya naseleennya Ukrainy do atomnoyi enerhetyky* (2015) [Attitude of the Ukrainian population to nuclear energy]. [https://necu.org.ua/wp-content/uploads/2016/04/Social-Survey-on-Nuclear-Energy-in-Ukraine-NECU\\_ua.pdf](https://necu.org.ua/wp-content/uploads/2016/04/Social-Survey-on-Nuclear-Energy-in-Ukraine-NECU_ua.pdf). (in Ukrainian).
28. *Ukrayins'ke yaderne tovarystvo. Istoriya*. [Ukrainian Nuclear Society. History]. <https://ukrns.org/istoriya> (in Ukrainian).
29. *World Nuclear Association. Emerging Nuclear Energy Countries | New Nuclear Build Countries*. Accessed March 4, 2024, <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/emerging-nuclear-energy-countries.aspx>.
30. *Yaderna fizyka ta enerhetyka* [Nuclear Physics and Atomic Energy]. <http://jnpe.kinr.kyiv.ua/about.html>
31. *Yaderna ta radiatsiyna bezpeka* [Nuclear and radiation safety]. <https://nuclear-journal.com/index.php/journal/history> (in Ukrainian).

Received 15.02.24

Received in revised form 31.03.2024

Accepted 16.04.2024