



Національна академія наук України

ЗВІТНА ДОПОВІДЬ

академіка-секретаря Відділення фізико-технічних проблем енергетики

НАН України

академіка НАН України

О.В. Кириленка

Структура Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України

Інститут технічної теплофізики НАН України

Інститут енергетичних машин і систем ім. А.М. Підгорного НАН України

Інститут електродинаміки НАН України

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України

Інститут газу НАН України

Інститут загальної енергетики НАН України

Інститут теплоенергетичних технологій НАН України

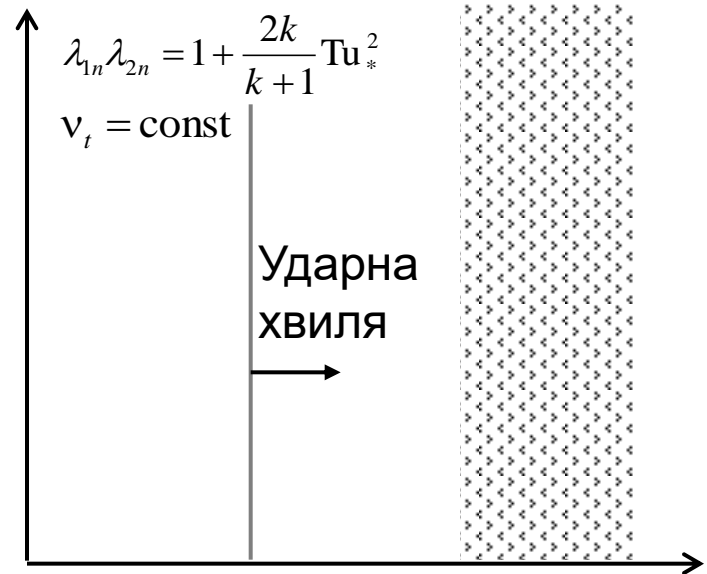
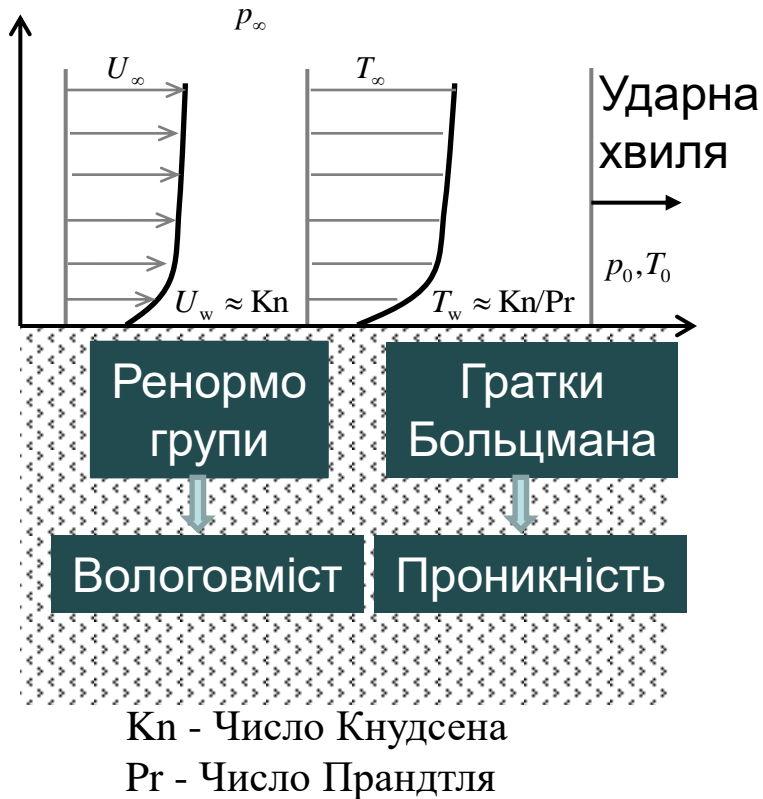
Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України

Відділення цільової підготовки НТУУ КПІ ім. Сікорського

ДП «Державний НТЦ з ядерної та радіаційної безпеки»

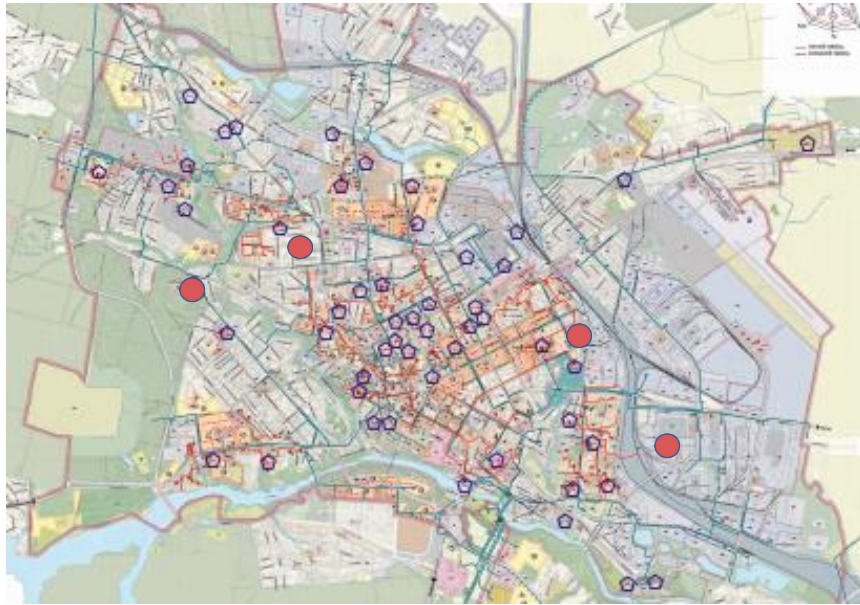
ВЗАЄМОДІЯ УДАРНОЇ ХВИЛІ З ПОРИСТИМ СЕРЕДОВИЩЕМ



λ – швидкісний коефіцієнт
 v – турбулентна в'язкість
 Tu – інтенсивність турбулентності

Вперше розроблена модель турбулентності в пористих середовищах на основі ренормалізаційно групового підходу. Показано вплив турбулентності на теплообмінні процеси при взаємодії поверхні з ударною хвилею. Отримані результати необхідні для моделювання процесів теплової взаємодії будівлі з довкіллям та дозволяють оцінити рівень вологообміну в пористих матеріалах будівельних конструкцій та в подальшому розвитку підвищити енергетичну ефективність будівель та стійкість будівельних конструкцій під час вибухів у воєнний та післявоєнний періоди.

Погоджена Наказом Мінінфраструктури від 17.01.2024 № 39, на розгляді у Житомирській міській раді



- Існуючі джерела теплової енергії
 - Нові джерела теплової енергії

Розвиток системи генерації в СЦТ міста Житомира

Збільшення частки когенераційних потужностей, з їх першочерговим максимальним використанням:

- будівництво технологічного комплексу з ТЕЦ на альтернативних видах палива, з використанням горючої складової міських ТПВ та відходів деревини як палива;
- встановлення когенераційних станцій з використанням газопоршневих установок або турбінних установок, в тому числі 2 з використанням органічного циклу Ренкіна (ORC), на 8 районних котельнях, одній кварталній котельні та на одній новій котельні (всього з ТЕЦ: 14 од. на 11 теплоджерелах, 33,4 МВт ел. та 49,6 Гкал/год тепл.).



Збільшення частки теплоти з альтернативних джерел:

- встановлення 16 утилізаторів теплоти димових газів котлів за 16 котлами у 10 теплоджерелах (всього 16,2 Гкал/год);
- встановлення 16 теплових насосів у 9 теплоджерелах з використанням залишкового теплового потенціалу відхідних газів після утилізаторів теплоти (всього 3,1 Гкал/год);
- встановлення теплонасосної станції (ТНС) на базі теплових насосів з використанням теплового потенціалу водопровідних мереж (4 Гкал/год);
- встановлення 6 котлів на біомасі (деревині) - (всього 13,2 Гкал/год).



Очікувані технічні показники джерел генерації СЦТ міста Житомира в результаті впровадження заходів Схеми теплопостачання

В роботі СЦТ міста будуть приймати участь 37 теплоджерел:

- 27 існуючих теплоджерел, в т.ч. 24 реконструйованих (з решти 27 існуючих котельнь КП «ЖТКЕ» 5 працюватимуть тимчасово до будівництва нових, 20 залишаться як резервно-пікові, 2 будуть виведені з участі у СЦТ);
- 4 нових теплоджерела;
- 6 прийнятих на обслуговування КП «Житомиртеплокомуненерго» котельнь у закладах освіти та охорони здоров'я (з існуючих 16, решта 10 залишаться як резервно-пікові);

Встановлена теплова потужність	567,4 Гкал/год (- 118,3 Гкал/год)
в т.ч.:	
- когенераційних джерел	49,6 Гкал/год (+ 49,6 Гкал/год)
- на відновлюваних та скидних видах палива та енергії	68,7 Гкал/год (+ 67,4 Гкал/год)
- на паливі з відходів	16,0 Гкал/год (+ 16,0 Гкал/год)
- систем утилізації скидної теплоти	16,2 Гкал/год (+ 16,2 Гкал/год)

Інтегральні показники питомих викидів забруднюючих речовин при виробництві теплової енергії, кг/ Гкал:

Показник	Існуючі ТД, базовий рік	Існуючі ТД, перспектива	Існуючі та нові ТД, перспектива
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----

Зведені економічні показники реалізації заходів Схеми теплопостачання

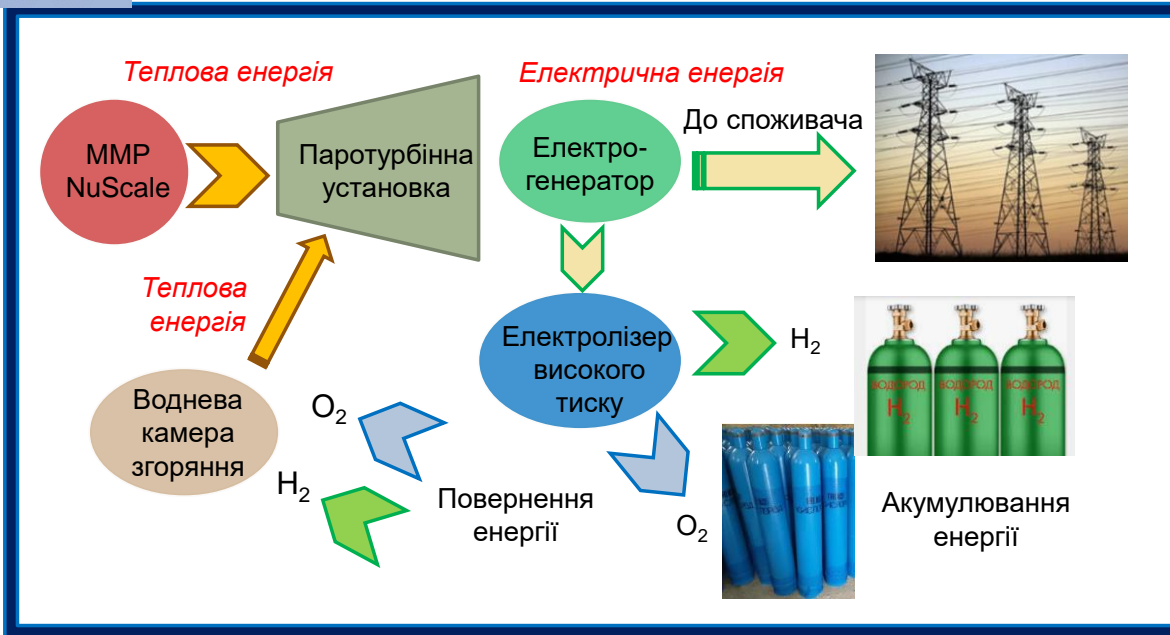
Загальна вартість, тис. грн.	5846452,2
Простий термін окупності, років	6,3
NPV, тис. грн.	-656202,7
IRR, %	14,8

СЦТ міста Житомира досягає статусу «Ефективної системи централізованого теплопостачання»



НАЙБІЛЬШ ВАГОМІ ФУНДАМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

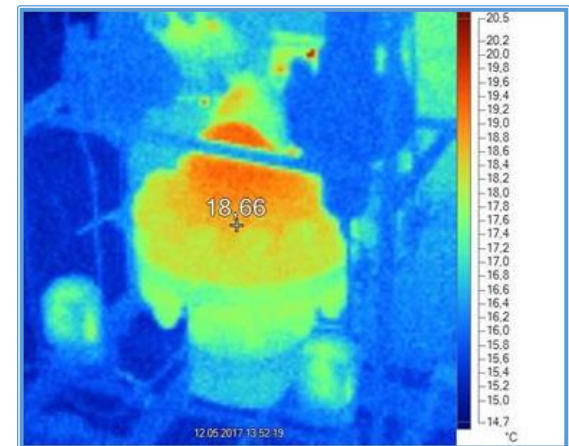
МАНЕВРЕНА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА НА БАЗІ МАЛОГО МОДУЛЬНОГО РЕАКТОРА



Концепція створення МЕУ на базі ММР NuScale з системою акумуляування енергії

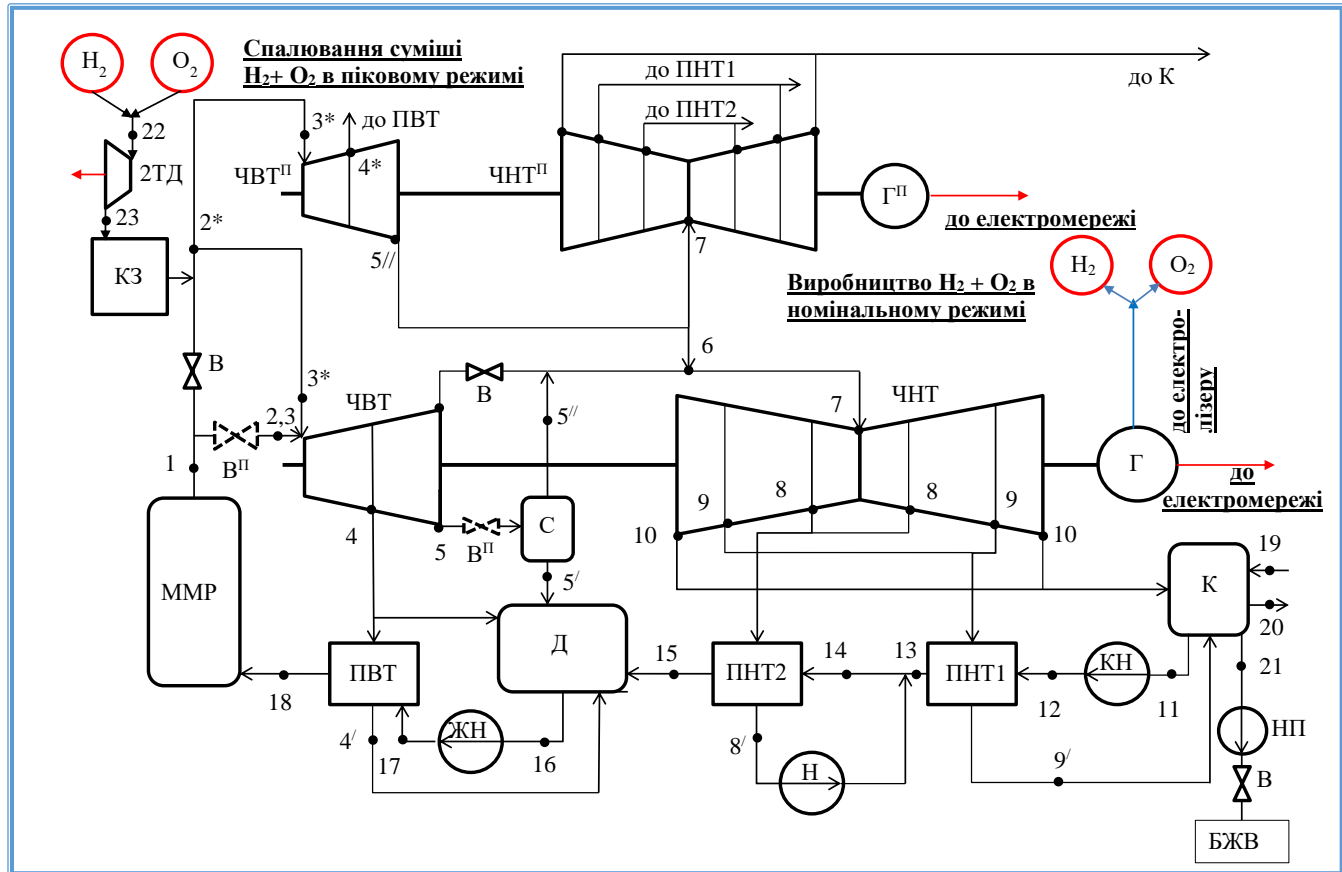


Електролізер високого тиску для отримання водню і кисню та термографічний аналіз його роботи





Теплова схема паротурбінної енергетичної установки

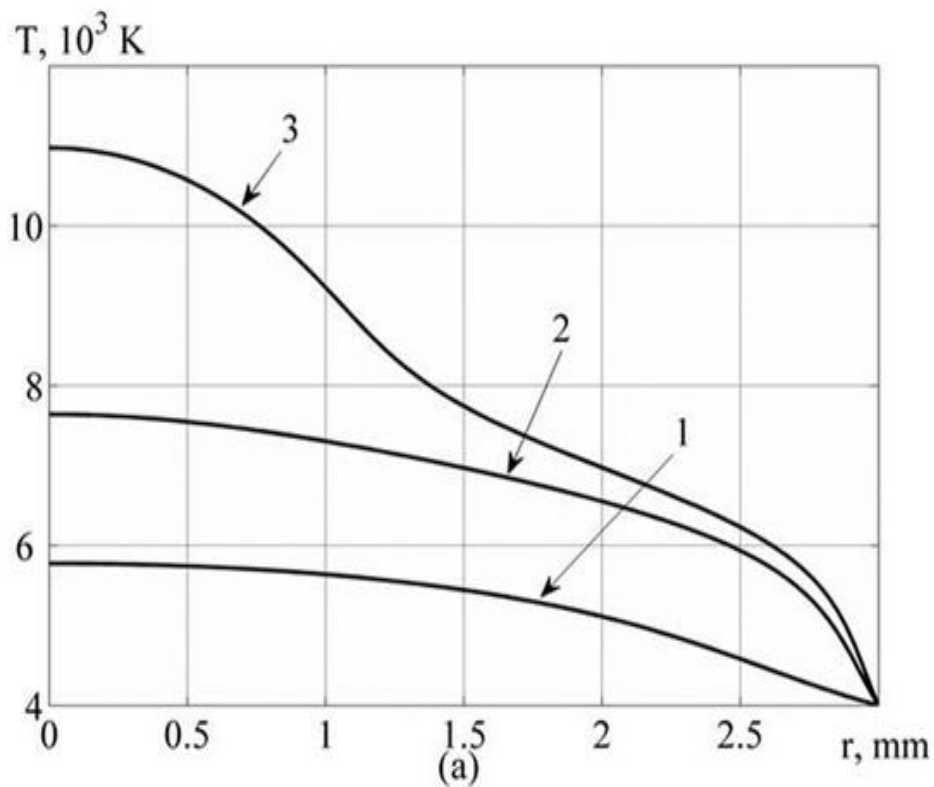


Запропоновано концепцію створення та схемне рішення перспективної маневреної енергетичної установки (МЕУ) на базі малого модульного реактора (ММР), яка здатна акумулювати електричну енергію. З використанням сучасних методів оптимізації та термодинамічного аналізу запропоновано теплову схему паротурбінної енергетичної установки, яка дозволила підвищити електричний ККД енергетичної установки з анонсованих виробником 28 % до 32,8 % у номінальному режимі роботи. Для роботи МЕУ у піковому режимі теплову схему доповнено водневою камерою згоряння, яка встановлюється після ММР, що дає можливість на цьому режимі подавати до парової турбіни перегріту пару з більш високою температурою, ніж у номінальному режимі. Електричний ККД МЕУ (при її роботі) у піковому режимі складає 34,8 % (акад. НАН України **Русанов А. В.**, чл.-кор. НАН України **Костіков А. О.**, **Соловей В.В.**, **Тарасова В. О.**)

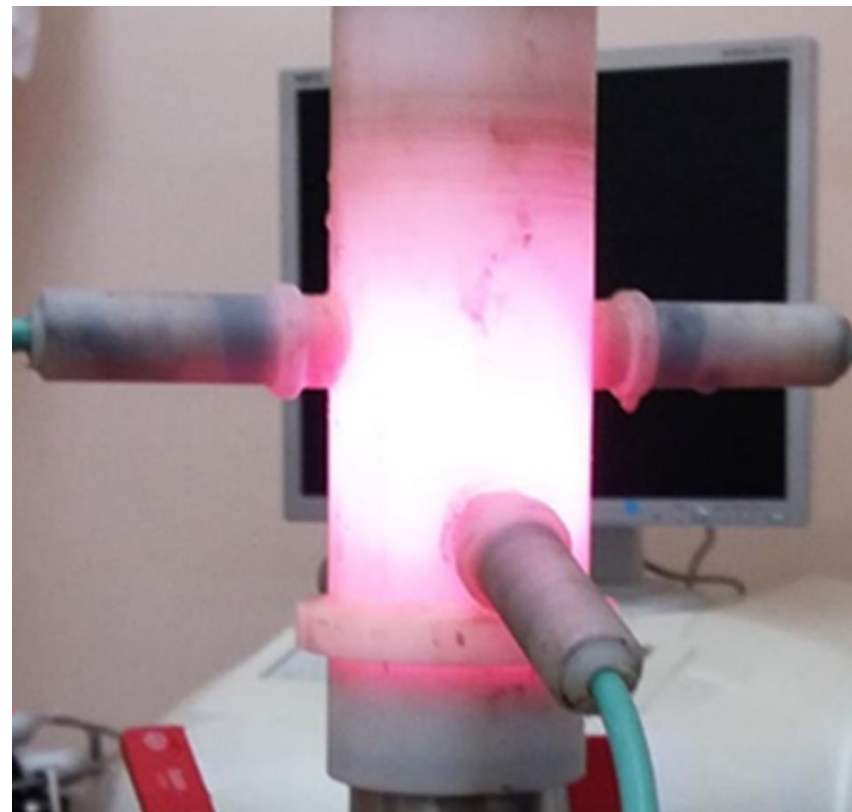
Дослідження плазмових ефектів



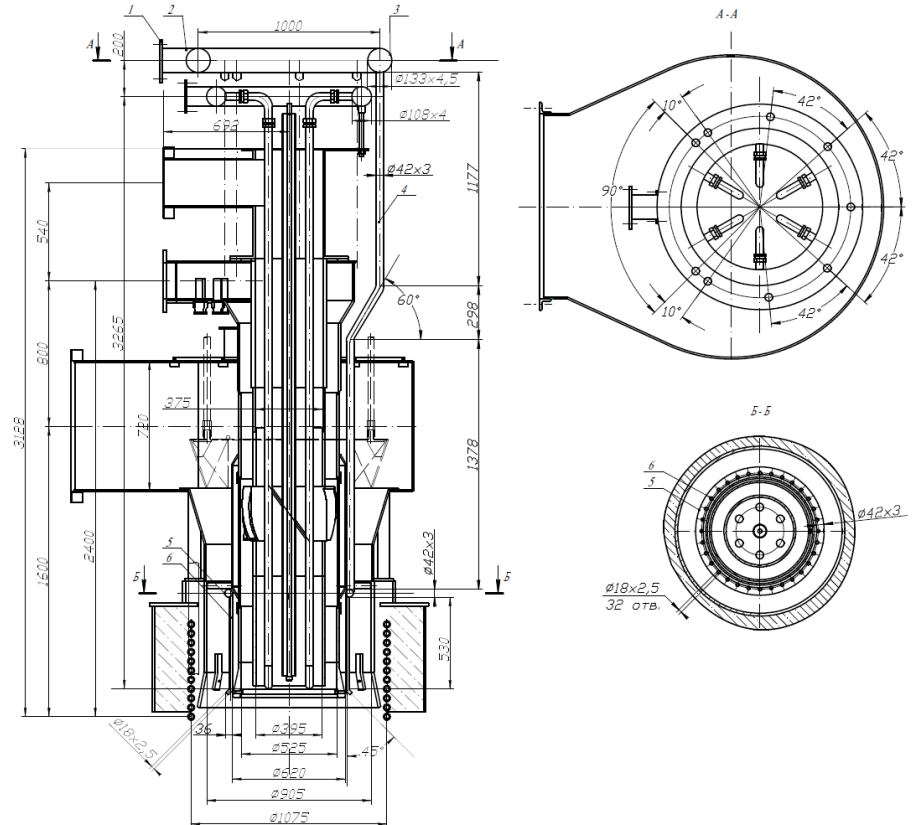
Радіальні розподіли температури плазми $T(r)$
для характерних значень розрядного струму
дуги $I = 6.8, 33.7$ і 54.0 А



Об'ємне горіння розряду в
проточному плазмовому реакторі



Підвищення стійкості енергосистеми України шляхом переобладнання котлоагрегатів ТЕС на природний газ



Разом зі спеціалістами ІТЕТ НАН України виконано проєкт переобладнання котлоагрегату енергоблоку 300 МВт ТЕС на природний газ, у тому числі буде проведено модернізацію 24 пальників потужністю 35 МВт, креслення нового модернізованого пальника, що забезпечує можливість його роботи з застосуванням газів рециркуляції та при режимі стадійного спалювання, для виконання директиви ЄС **2010/75/ЄС** щодо викидів NO_x та CO, приведено справа.





Переведення антрацитових котлів Дарницької ТЕЦ на газове вугілля

4 котли типів ТП-13, ТП-15, ТП-47 паропродуктивністю по 220 т/год. працюють на 2 турбіни, які мають сукупну потужність по відпуску тепла до 290 Гкал/год та видають електричну потужність до 110 МВт

Переваги котлів після переведення на газове вугілля:

- забезпечено паливну базу вітчизняним та імпортованим газовим вугіллям;
- повністю усунута потреба в підсвічуванні факелу природним газом;
- техніко-економічні показники покращились за рахунок зниження недопалу;
- зменшення вмісту недопаленого вуглецю в леткій золі з понад 20% до менше 2% дозволяє замість спрямування на золовідвал використовувати її як сировину для будматеріалів.

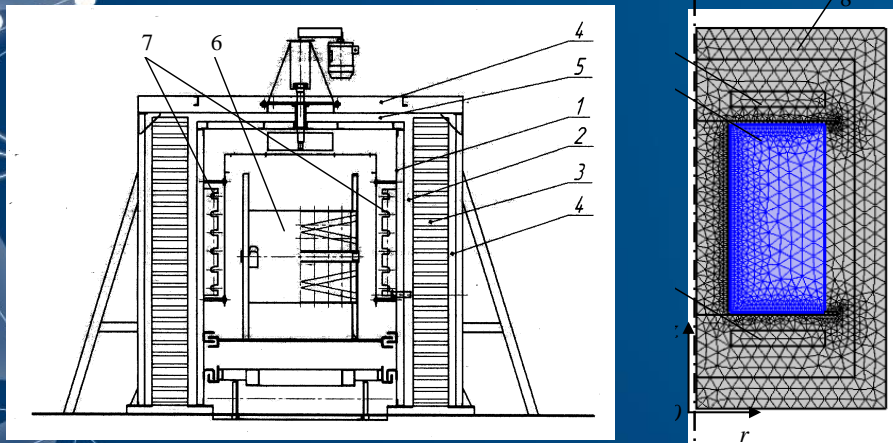


Перетворення і стабілізація параметрів електромагнітної енергії

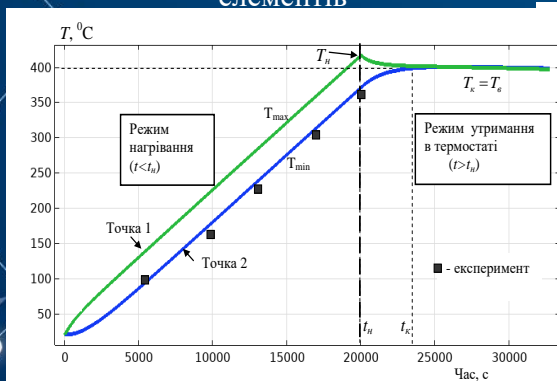
Вперше на основі розвитку методу багатомасштабного моделювання процесів градієнтної електротермообробки намотаної на барабан алюмінієвої жили кабелів розроблено математичну модель і методику визначення оптимальних режимів і конструкцій реалізації цієї обробки у промисловій лінії ПАТ "Завод Південкабель" (м. Харків), що забезпечило серійний випуск силових кабелів з алюмінієвою жилою підвищеної гнучкості та стійкості до зовнішніх впливів, зокрема до її подовження на 28-32% без мікротріщин і розривів. Така продукція необхідна для скорочення термінів відновлення АЕС, ТЕС, ГЕС, електростанцій, ТЕЦ і кабельних ЛЕП всіх об'єктів критичної інфраструктури України. Розпочато активний експорт таких кабелів в Швецію, Норвегію, Данію, Естонію, Латвію і Литву, що підвищує позитивний імідж України, як промислово розвиненої країни.

(чл.-кор. НАН України Щерба А.А., д.т.н. Подольцев

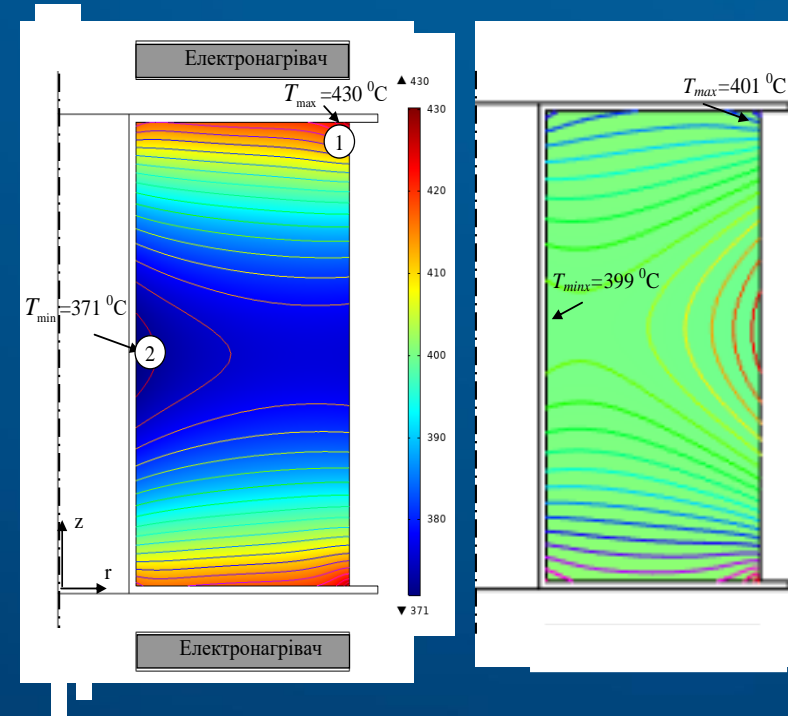
О.Д.)



Електрична піч заводу "Південкабель" для "відпалювання" алюмінієвих жил та комп'ютерна модель для розрахунку теплового процесу методом скінченних елементів



Змінення у часі температури жили у двох просторових точках перерізу барабану, де розташовані датчики температури

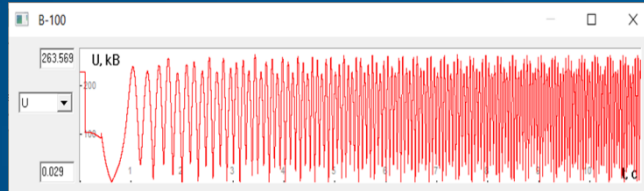
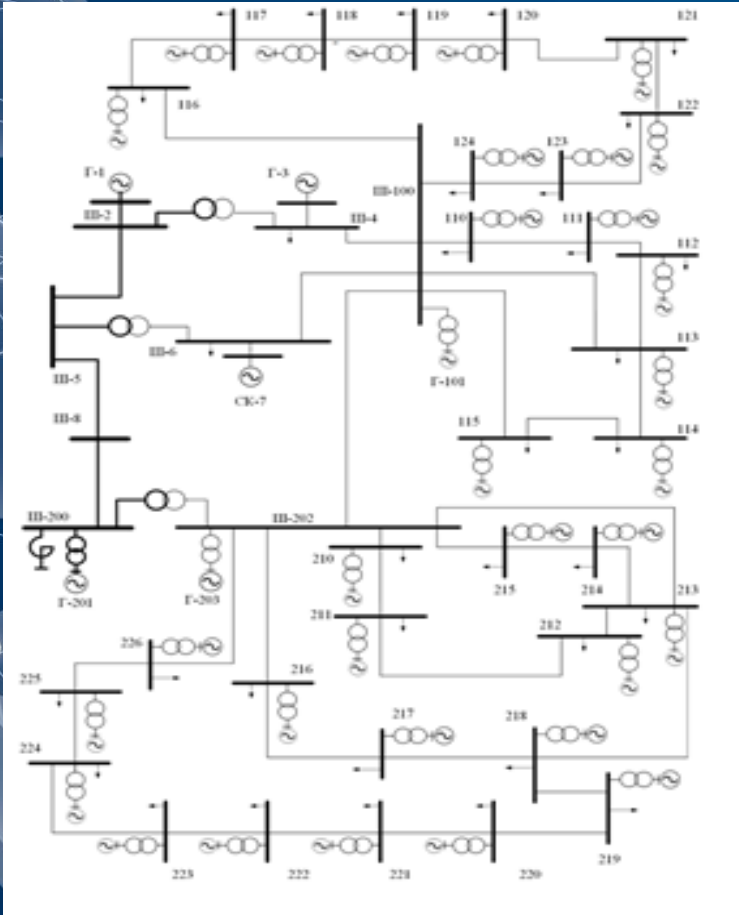


Розподіл температури в перерізі барабану із алюмінієвою жилою наприкінці режиму нагрівання та в режимі термостата
Цикл термообробки = 1+5 годин

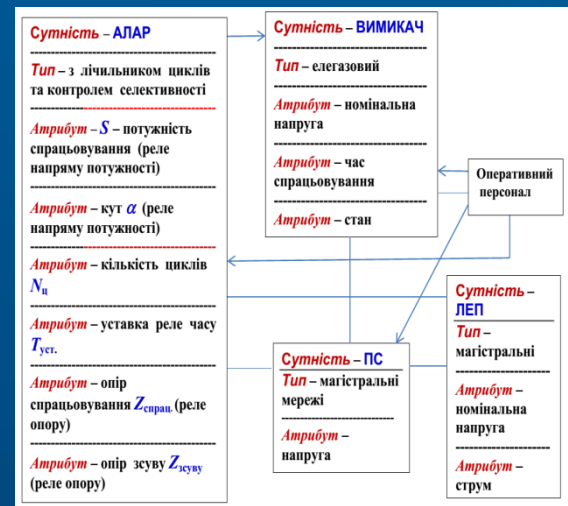
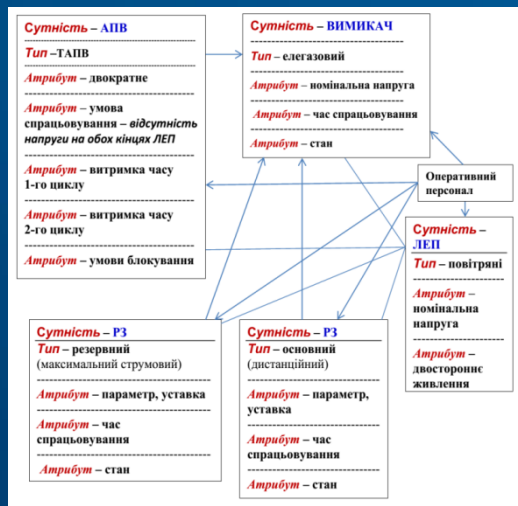
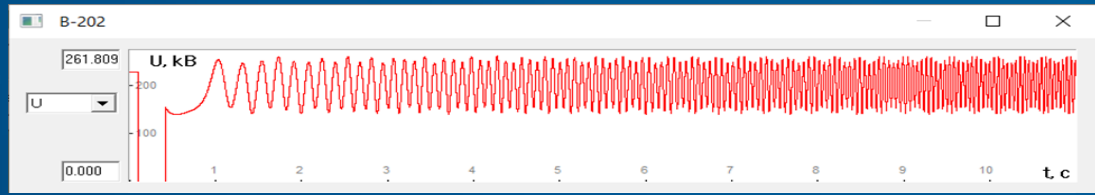


Режими електроенергетичних систем і об'єктів та керування ними

Розроблено моделі релейного захисту та автоматики, алгоритми їхнього функціонування та засоби налаштування для вирішення комплексної проблеми унеможливлення виникнення системних аварій в об'єднаній енергосистемі України



Протокол
T= 0.10 с
Увілк. 3-ф. к.з. у вузлі 202 (В-202)
T= 0.23 с
Викл. 3-ф. к.з. у вузлі 202 (В-202)
T= 6.60 с ЕЛ. ЦЕНТР ХИТАНЬ: вітка (123-124) 123 - 124
Упоч = 52 кВ (кут = 181.4 град) Укін = 35 кВ (кут = 1.3 град)
T= 6.61 с ЕЛ. ЦЕНТР ХИТАНЬ: вітка (116-117) 116 - 117
Упоч = 30 кВ (кут = -1.8 град) Укін = 56 кВ (кут = 178.3 град)



МОДЕЛЬ ЕЕС
Об'єкти з РЗА

Модельовані параметри аварійних перехідних процесів в ЕЕС

Блок моделювання РЗА

Бібліотека моделей РЗА

ФУНКЦІОНУВАННЯ ОЕС



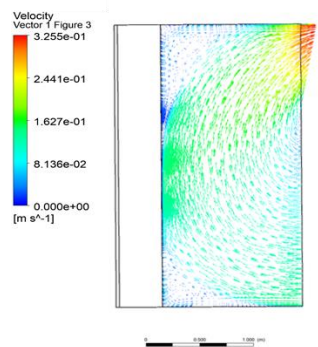
Вперше запропоновано **напрями підвищення ефективності функціонування ОЕС** на базі нової структури **надвеликої електротеплової системи** шляхом електрифікації тепlopостачання з використанням енергії автономних відновлюваних джерел. Основна ідея полягає у використанні первинної енергії ВЕС та СЕС виключно у системах централізованого тепlopостачання з електричними теплогенераторами у вигляді електрокотлів великої потужності. Згідно зроблених оцінок термін окупності капіталу такої системи становить до одного року. Це дає змогу вирішити проблему **стабілізації частоти** в об'єднаній енергосистемі, забезпечити високу **рентабельність** систем централізованого тепlopостачання та гарантувати **фінансову стабільність** функціонування енергоринку України (*акад. НАН України М.М. Кулик, чл.-кор. НАН України В.П. Бабак, А.О. Запорожець*)

Методика неруйнівного контролю



Розвинуто методологію дослідження повітропроникності будівель та мікроклімату приміщень. Зокрема, удосконалено: алгоритм розрахунку теплових втрат будівлі із врахуванням інфільтраційних тепловтрат багатошарових стінових конструкцій, уточнено коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній і зовнішній поверхнях від зміни гідродинамічних і теплових характеристик повітряного середовища; метод контролю теплового опору із застосуванням CFD моделі сегмента конструкції оболонки будівлі. Це дозволило знизити вплив інструментальних факторів на процес дослідження з урахуванням кондуктивного та конвективно-радіаційного теплообміну (чл.-кор. НАН України В.П. Бабак, О.Л. Декуша, А.О. Запорожець, С.І. Ковтун)

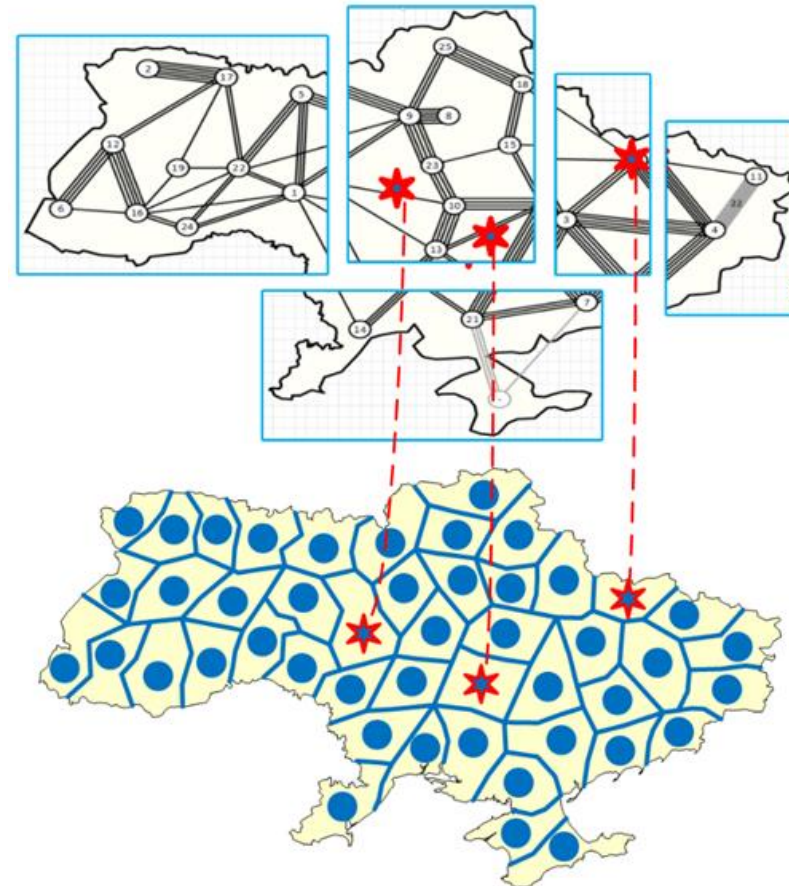
CFD модель сегмента конструкції оболонки будівлі



Поля швидкостей в центральній перетині

МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ, ЩО РОЗВИВАЮТЬСЯ В УМОВАХ МІЛІТАРНИХ ЗАГРОЗ

Розроблено математичні моделі локальних електромереж з власними потужностями виробництва, зберігання, розподілу та постачання електроенергії в обсягах, що є достатніми для забезпечення життєвих потреб домогосподарств. Моделі забезпечують вирішення задач довгострокового планування сталого розвитку генеруючих потужностей територіальних громад (як в умовах мирного часу, так і в умовах терористичних та мілітарних загроз).



РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРЕЛІКУ, МЕТОДИКИ ОБРОБЛЕННЯ ДЛЯ ПУБЛІКАЦІЙ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ПРО КІБЕРІНЦИДЕНТИ/КІБЕРАТАКИ

На замовлення Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України в рамках виконання задачі 3.19 Національної стратегії кібербезпеки України розроблено та передано на затвердження проект документу «Методика збору статистичних даних щодо кібератак, кіберінцидентів та заходів протидії за сферами відповідальності основних суб'єктів національної системи кібербезпеки» та дорожню карту з її впровадження.

Оцінка: результати схвалено науково-технічною радою Держспецзв'язку. Інститут відзначено Подякою Держспецзв'язку.

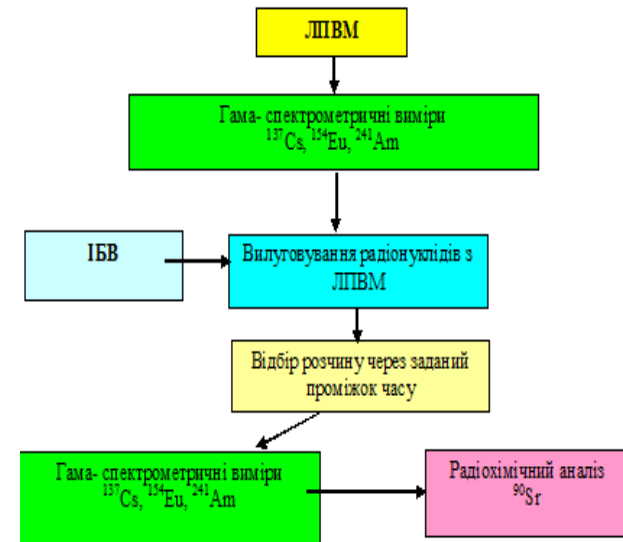
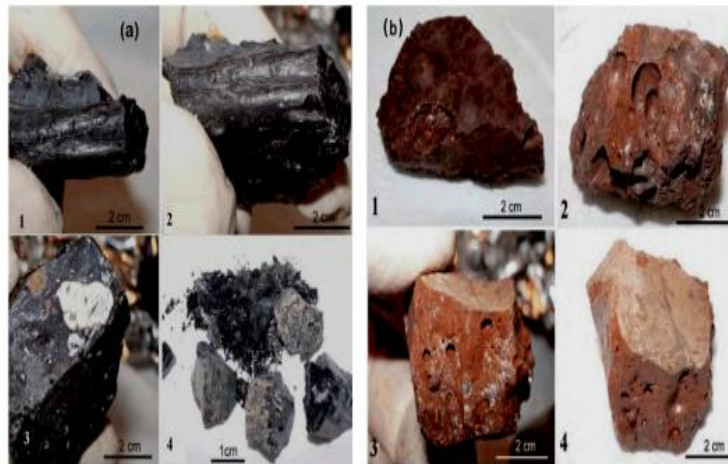


Найбільш вагомі фундаментальні наукові результати ІПБ АЕС 2023 р.

Виконано експериментальні дослідження та комп'ютерне моделювання фізико-хімічних процесів у лавоподібних паливовмісних матеріалах об'єкту «Укриття» Чорнобильської АЕС.

- Модернізовано модель еволюції структури лавоподібних паливовмісних матеріалів (ЛПВМ).
- Підготовлено пропозиції щодо актуалізації чинної «Стратегії перетворення об'єкта «Укриття» з метою конкретизації завдань для реалізації на етапі виконання підготовчих і основних робіт з вилучення паливовмісних матеріалів (ПВМ) і подальшого поводження з ними.
- Сформульовано основні напрямки і завдання з науково-технічного супроводу на всіх етапах діяльності з поводження з ПВМ, трансформації об'єкта «Укриття» і досягнення ним кінцевого безпечного стану.
- Вдосконалену модель еволюції структури лавоподібних ПВМ і прогнозування їхньої майбутньої поведінки впроваджено у ДСП «ЧАЕС» (Акт впровадження від 15.11.2023).

Зовнішній вигляд ЛПВМ



Принципова схема вивчення вилуговування радіонуклідів з ЛПВМ

Найбільш вагомі наукові прикладні результати ІШБ АЕС 2023 р.

Розроблено та досліджено нові композитні матеріали для атомної енергетики на основі важкого бетону і базальт-борної фібри з покращеними захисними властивостями від радіаційного випромінювання.

- Розроблено та досліджено нові композитні матеріали для атомної енергетики на основі важкого бетону і базальт-борної фібри з покращеними захисними властивостями від радіаційного випромінювання.
- Розроблено промислову технологію створення базальт-борної фібри – матеріалу для армування бетону, що буде покращувати його механічні характеристики, зменшувати рівень мікротріщин та, як наслідок, збільшувати довговічність й значно покращувати захисні характеристики бетону від нейтронного випромінювання.
- Розроблено нейтронно-фізичні моделі радіаційного захисту для сучасних енергетичних реакторів та контейнерів для зберігання відпрацьованого ядерного палива Централізованому сховищі відпрацьованого ядерного палива.
- Науково обґрунтовані рекомендації зі створення нового композитного матеріалу з покращеним рівнем захисту від гамма та нейтронного випромінювання впроваджено у ДП НАЕК «Енергоатом» (Акт впровадження від 25.12.2023).



Контейнери зберігання відпрацьованого ядерного палива



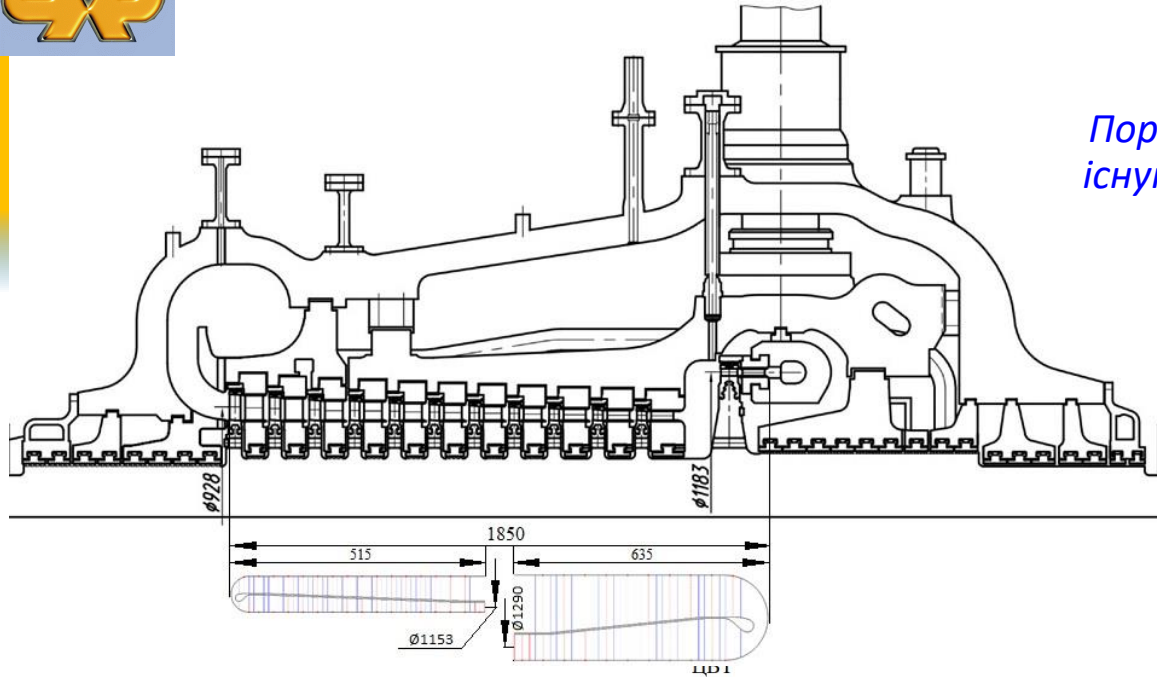
Випробування радіаційно-захисного бетону на міцність



ВИСОКОЕФЕКТИВНА ПАРОВА ТУРБІНА З УЛЬТРА-СУПЕРКРИТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПАРИ ДЛЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС УКРАЇНИ

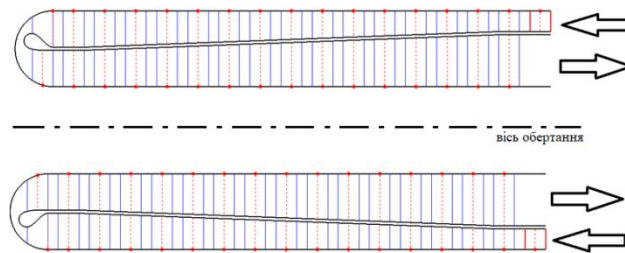


Грант НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки 2022-2023 рр.

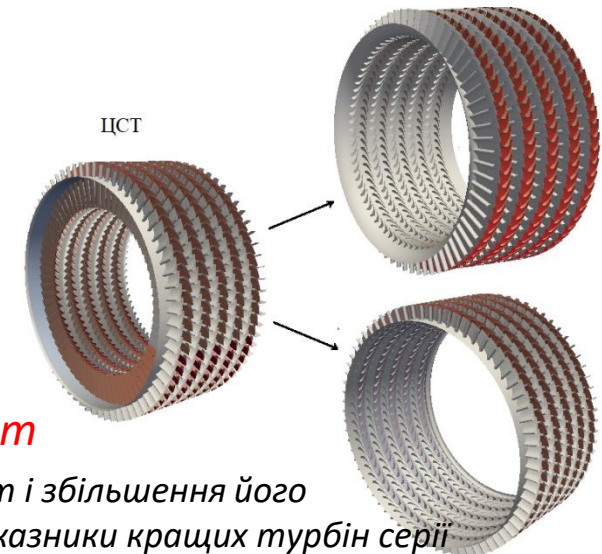


Порівняння геометричних розмірів існуючого ЦВТ з новими ЦВТ та ЦСТ

Повздовжній меридіональний переріз нового ЦВТ та ізометрія додаткових ступенів ЦСТ



ККД енергоблоку 49,2%

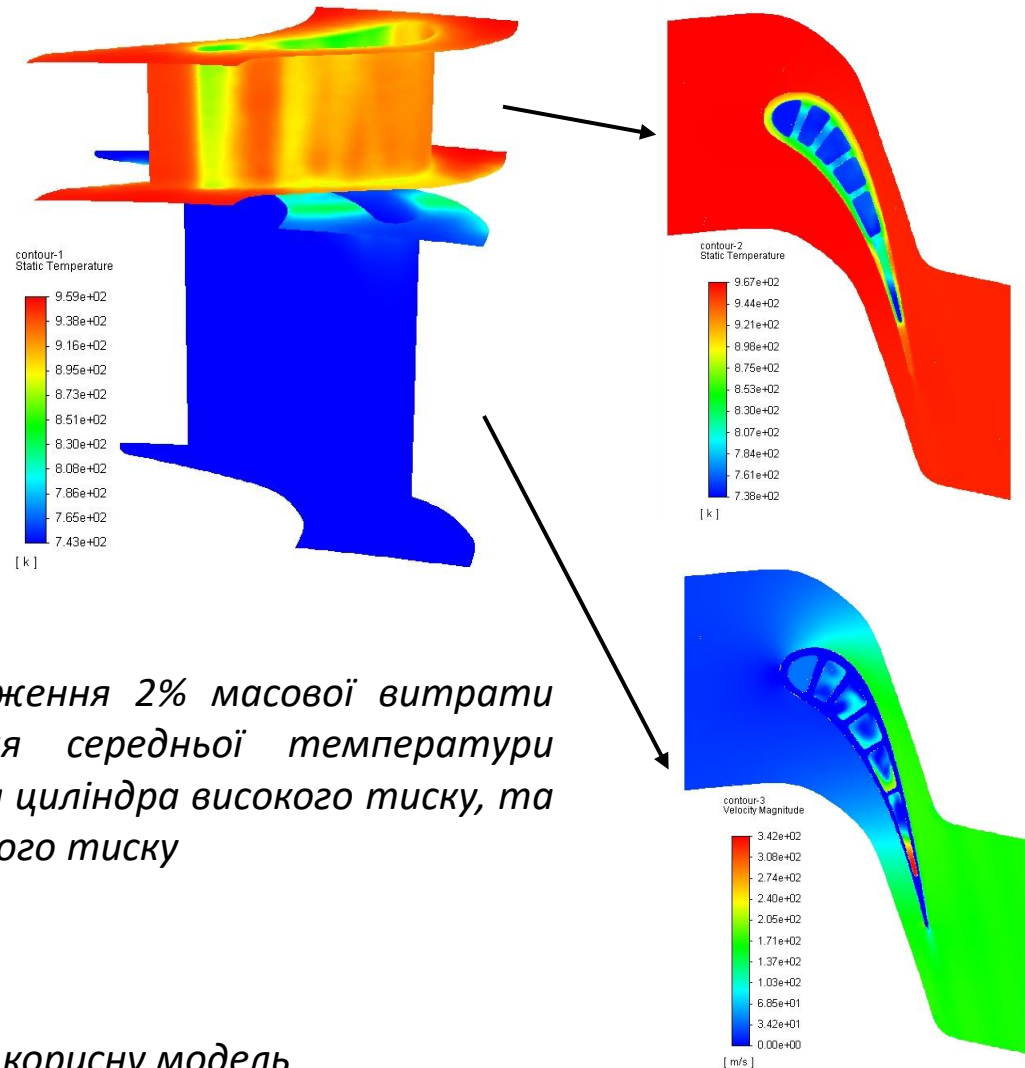
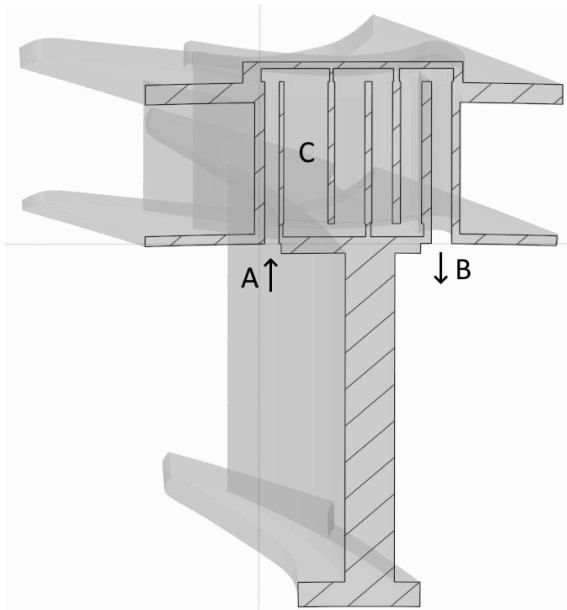


Приріст потужності +80,64 МВт

У результаті забезпечено приріст потужності енергоблоку на 80,64 МВт і збільшення його термічного ККД до рівня 49,2 %, що на понад 5 % перевищує аналогічні показники кращих турбін серії К-300 (Русанов Р. А., Дегтярьов К. Г., Пальков І. А., Пальков С. А., Крютченко Д. В.).



Конфігурація охолоджувальних каналів в лопатці першого ступеня



При використанні для охолодження 2% масової витрати пари досягається зменшення середньої температури поверхні лопатки на $62,2^{\circ}\text{C}$ для циліндра високого тиску, та на $40,4^{\circ}\text{C}$ для циліндра середнього тиску

**подано заявку на патент на корисну модель*

Моделювання енергобалансу локальної системи з ВДЕ



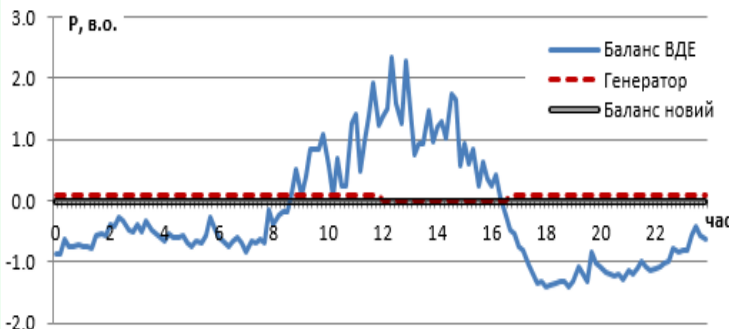
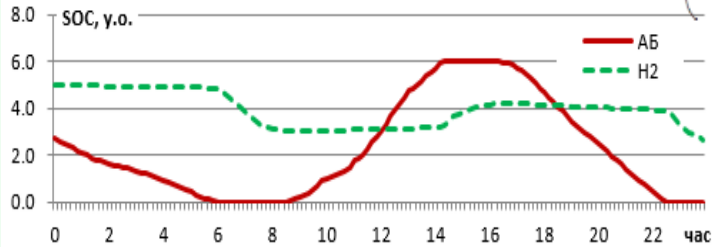
Алгоритм балансування потужностей

Стохастична природа генерації і споживання:

$$V(t) = P_W(t) + P_S(t) - P_U(t) \pm P_A(t) + P_G(t) - P_{El}(t) + P_{FC}(t)$$

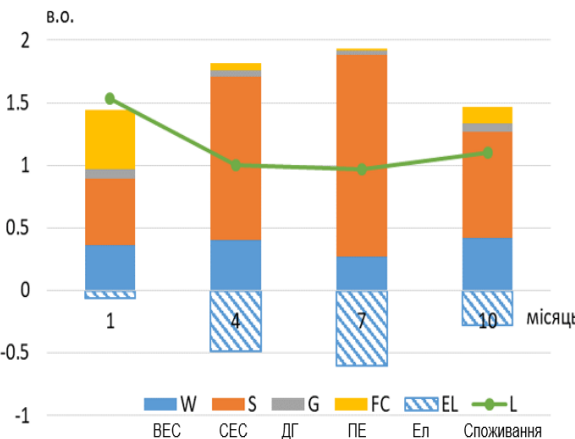
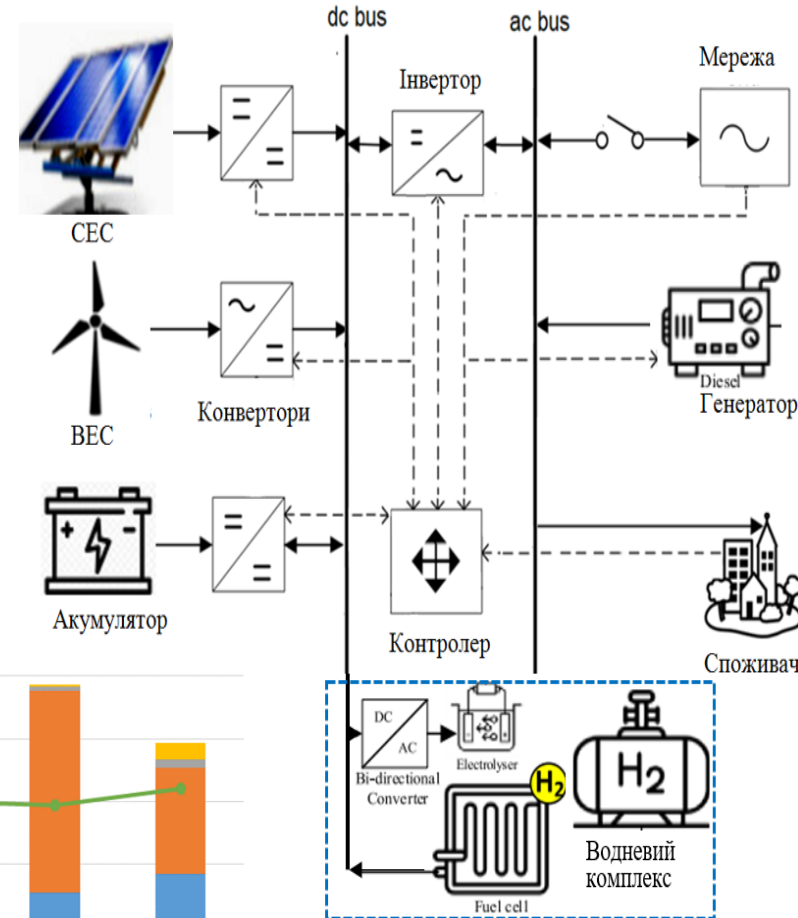
$$P(t_k) = P(t_{k-1}) \cdot e^{-\beta \Delta t} + \frac{\sigma_v}{\sqrt{2\beta}} \sqrt{1 - e^{-2\beta \Delta t}} \cdot \varepsilon$$

$$C_A(t) = C_A(t - \Delta t)(1 - \xi) + \left(P_S(t) + P_W(t) - \frac{P_U(t)}{\eta_{inv}} \right) \Delta t \cdot \eta_{bat}$$



Приклад добового балансування

Загальний вигляд гібридної енергосистеми



Помісячний баланс потужності

Використання енергії відновлюваних джерел для опріснення морської води

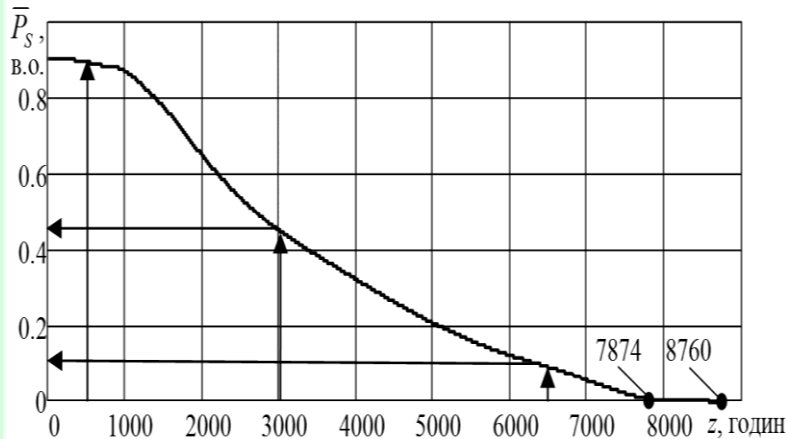
Визначено середньорічне значенням швидкості вітру на висоті 100 м над прибережною та офшорною територіями Азово-Чорноморського регіону України в околі 7.5 м/с та диференційну щільність імовірнісного розподілу швидкостей вітру, **отримано** кількісні оцінки імовірнісної річної забезпеченості різних рівнів генерування потужності та обсягів виробництва електроенергії вітроелектростанціями (ВЕС) в регіоні.

Диференційна щільність розподілу:

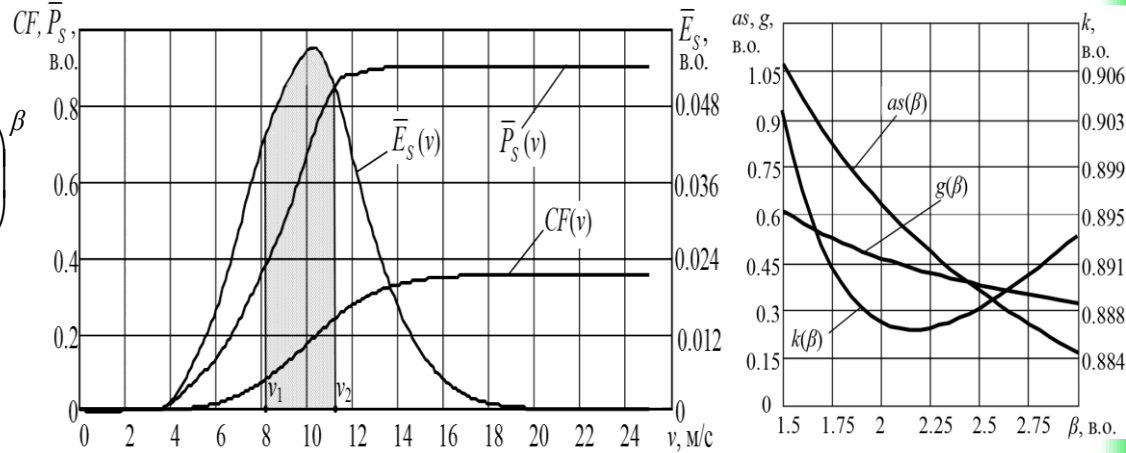
$$f(v) = f_{w2}(v, \alpha, \beta) = (\beta/\alpha^\beta) \cdot v^{\beta-1} \cdot \exp\left(-\frac{v}{\alpha}\right)^\beta$$

$$g(\beta) = \left[\Gamma(1 + 2/\beta) - \{ \Gamma(1 + 1/\beta) \}^2 \right]^{1/2}$$

де v - швидкість вітру, Γ - гамма функція



Імовірнісна річна забезпеченість потужності ВЕС



Впроваджено на державному підприємстві «ПІВДЕННЕ – альтернативні джерела»

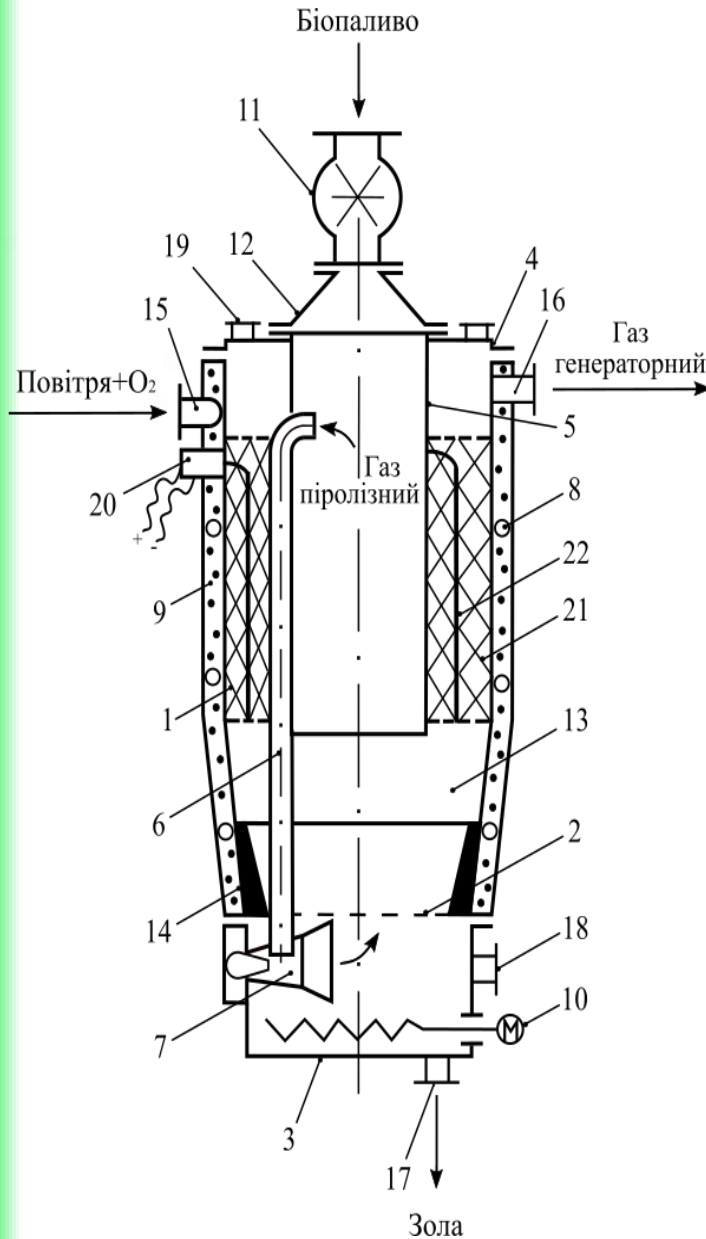
Держенергоефективності України при розробленні заходів із реалізації участі України в європейській програмі «2x40 GW Green Hydrogen Initiative», що спрямована на виробництво «зеленого» водню в Азово-Чорноморському регіоні України на рівні 1.65 млн. тонн на рік і потребуватиме споживання підготовленої прісної води в обсязі близько 24 млн. м³/рік.

Перетворення біомаси для заміщення викопного палива на існуючих об'єктах енергетики з метою декарбонізації економіки



ГАЗОГЕНЕРАТОР БЕЗСМОЛЬНОГО ГАЗУ

Розроблено нову конструкцію газогенератора на біопаливі, що дало змогу отримати безсмольний генераторний газ.

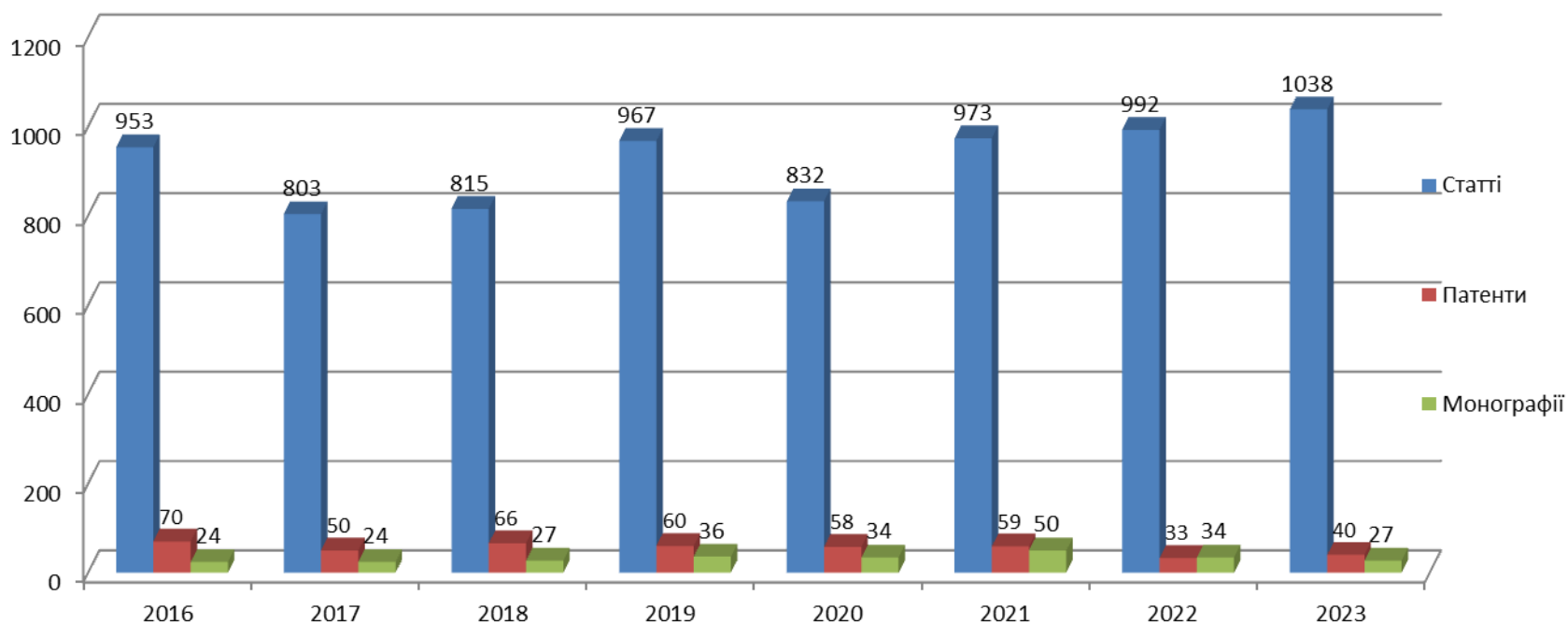


Процес виробництва безсмольного газу протікає у дві стадії: торефікація біопалива у камері піролізу за температури $300 \pm 20^\circ\text{C}$ та газифікація торефікованого біопалива сумішшю повітря дуття і піролізного газу, який засмоктується інжектором із камери піролізу. Частина смоли, що міститься у піролізному газі, згоряє на колосниковій решітці. Генераторний газ проходить через деревне вугілля, що розпечене до температури $800-1000^\circ\text{C}$ і повністю очищається від смоли в результаті її крекінгу на прості сполуки.

Отримано патент на корисну модель «Газогенератор безсмольного газу».

ВИДАВНИЧА ТА ВИНАХІДНИЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ

Фахівцями ВФТПЕ НАН України в 2023 р. опубліковано 1038 статті, з яких 780 входять до науково-метричних баз (біля 75%) (в 2022 р. опубліковано 992 статті, з яких 690 входять до науково-метричних баз (біля 70%); в 2021 р. опубліковано 973 статті, з яких 683 входять до науково-метричних баз (біля 70%); в 2020 р. опубліковано 832 статті, з яких 585 входять до науково-метричних баз (біля 70%); в 2019 р. опубліковано 967 статей, з яких 641 входе до науково-метричних баз (66%); в 2018 р. опубліковано 815 статей, з яких 570 входять до науково-метричних баз (68%); в 2017 році опубліковано 779 статей, 470 з яких входять до науково-метричних баз (60%), а в 2016 році - 924 статті, 510 з яких входять до науково-метричних баз (55%).



Захист дисертацій

**Фахівцями ВФТПЕ НАН України захищено
1 дисертаційну роботу на здобуття наукового
ступеня доктора наук**

**(в 2022 р. – 1; в 2021 р. – 10, 2020 р. – 9, 2019 р.
- 11, 2018 р. - 8, 2017 р. – 8)**

**та 13 на здобуття наукового ступеня
доктора філософії**

**(в 2022 р. – 0; в 2021 р. – 20, 2020 р. – 14, 2019 р.
- 25, 2018 р. - 15, 2017 р. - 22).**

A decorative graphic on the left side of the slide, consisting of a network of white lines connecting various white dots. Some of these dots are surrounded by semi-transparent, overlapping geometric shapes like triangles and polygons, creating a complex, crystalline or molecular structure.

Дякую за увагу!