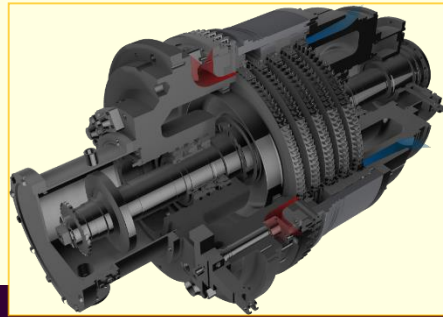




**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ» (НТУ «ХПІ»)
ПрАТ «ТУРБОГАЗ»
Корпорація «Український центр сертифікації
та експертизи авіаційної техніки»**



**Створення високотехнологічних
автономних турбодетандерних
електричних станцій задля
енергобезпеки та
енергонезалежності України**

**На здобуття Національної премії України імені Бориса Патона
2024**

Автори розробки

Ткачук Микола Анатолійович, д.т.н., проф., завідувач кафедри ТММ і САПР НТУ «ХПІ»

Львов Геннадій Іванович, д.т.н., проф., професор кафедри ММІОІ «ХПІ»

Кравченко Сергій Олександрович, д.т.н., пр. н. с. кафедри ДГЕУ НТУ «ХПІ»

Моїсеєв Сергій Вікторович – заступник Голови Наглядової Ради ПрАТ «ТУРБОГАЗ»

Новіков Максим Костянтинівич – заступник Голови Правління, головний інженер ПрАТ «ТУРБОГАЗ»

Бурняшев Аркадій Васильович – заступник головного інженера з концептуальних рішень та перспективних розробок ПрАТ «ТУРБОГАЗ»

Паккі Гліб Вікторович – начальник розрахунково-конструкторського відділу ПрАТ «ТУРБОГАЗ»

Подрєза Сергій Михайлович - д.ек.н., проф., голови ради директорів корпорації «Український центр сертифікації та експертизи авіаційної техніки»

Актуальність проблеми

3

Проблема забезпечення національної безпеки та енергонезалежності на тепер є однією із наймасштабніших та невідкладних для України.

Один із шляхів її вирішення – створення та використання автономних турбодетандерних електричних станцій (ЕдЕС) у газотранспортній системі країни, що складає зміст роботи.

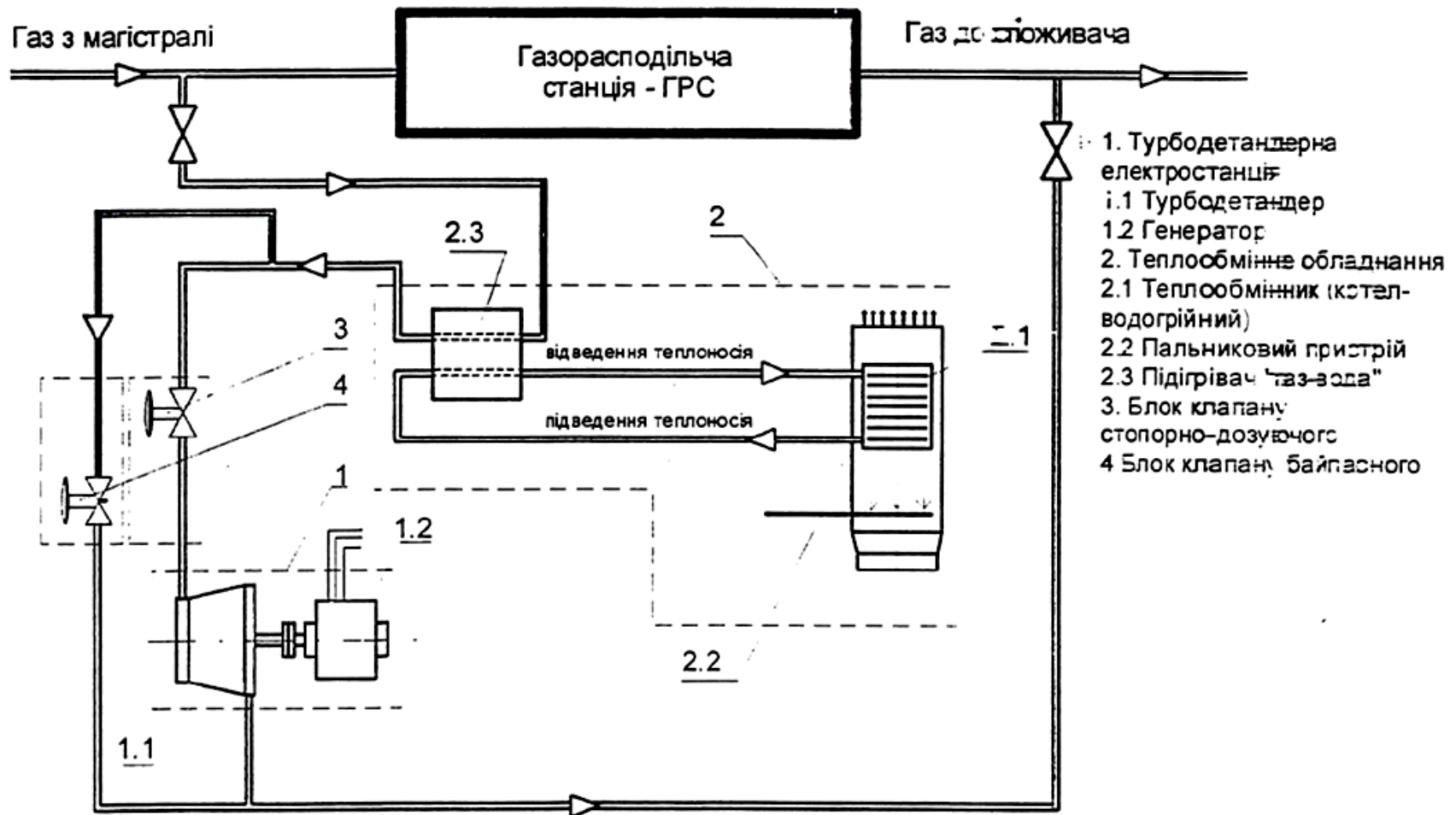
Мета роботи

4

Мета – створення та впровадження у практику високотехнологічних автономних турбодетандерних електричних станцій (ТдЕС) у газотранспортній системі України із технічними характеристиками, що визначають світовий рівень, задля забезпечення енергоефективності, ресурсу та енергонезалежності країни.

Базова технологічна схема ТДЕС

5



Базові підходи та складові

6

Генерування потужності шляхом утилізації енергії стисненого газу, що не використовується під час редукування на побутових газорозподільних пунктах (ГРП) і промислових газорозподільних станціях (ГРС), уможлиблює триєдиний ефект:

1. Корисне використання надлишкового тиску газу шляхом заміни дроселюючих пристроїв на турбодетандери для приводу електрогенераторів дає можливість отримати в Україні значну кількість електричної енергії, тобто – підвищити енергоефективність.

Базові підходи та складові

7

2. Проривні прогресивні проєктно-технологічні рішення ТдЕС дають можливість підвищувати у 1,25-1,5 рази ресурс, надійність та ККД, визначаючи їх світовий рівень.

3. З огляду на проблему національної безпеки в силу автономності ТдЕС забезпечують енергобезпеку та енергонезалежність країни.

За принципом функціонування ТдЕС диверсифікують джерела енергопостачання та видачі енергії автономному споживачу або в загальну електромережу.

Наукова новизна роботи

8

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній на основі створеного теоретико-множинного підходу розроблені методологічні основи створення нових засобів генерування електроенергії у вигляді автономних ТдЕС із технічними характеристиками, які визначають світовий рівень такого типу обладнання, а також концепція, методи та засоби обґрунтування їх прогресивних проєктно-технологічних рішень.

Компоненти наукової новизни роботи

1. Високоєфективні проєктні рішення сформовані шляхом фундаментальних та прикладних досліджень та аналізу робочих процесів.

2. Задля обґрунтування проривних технологічних рішень установлені закономірності впливу мікроструктури макроелементів ТдЕС на нові фізичні наноефекти при дискретному й континуальному їх зміцненні.

3. Синтезовані прогресивні технічні рішення у просторі варійованих проєктних та технологічних параметрів ТдЕС як унікального цілісного об'єкта.

Практична цінність роботи

10

1. Робота спрямована на вирішення проблеми забезпечення енергетичної ефективності та безпеки країни.
2. Наявність автономних ТдЕС у газотранспортній системі України у розрізі енергетичної незалежності та безпеки є вирішальним фактором, особливо у сучасних умовах ризиків та пошкоджень інфраструктурних об'єктів.
3. Важливим чинником є технічна та економічна ефективність світового рівня, досягнута у вітчизняних ТдЕС на практиці на базі розроблених науково обґрунтованих рекомендацій.

Практична цінність роботи

11

4. Робота безпосередньо сприяє зміцненню національної безпеки в аспекті забезпечення автономного електроживлення об'єктів критичної інфраструктури.

5. Розроблення і впровадження нових ТдЕС здійснено ПрАТ «ТУРБОГАЗ» - одним із п'ятірки світових фірм-лідерів - із формуванням світового рівня досягнень такого класу турбодетандерних установок, із використанням найсучасніших матеріалів, зі створенням проривних технологій та авторських науково-практичних розробок.

Практична цінність роботи

12

6. Автономні турбодетандерні електростанції та технології особливо актуальні у період різкого зростання вартості електричної енергії та в умовах уразливої централізованої системи енергопостачання.

7. Саме натеper як ніколи нагальною є потреба у принципово нових автономних джерелах електроенергії як чинника стійкості енергопостачання.

Ідеї та етапи роботи

1. На етапі розробки – перейти від послідовно-лінійного процесу до паралельного на основі розширеного параметричного моделювання.
2. На етапі досліджень робочого процесу – поєднання моделей процесів газодинаміки, тепломасопереносу та енергогенерування.
3. На етапі підготовки виробництва – розробити нові проєктно-технологічні варіанти для підвищення ТХ ТдЕС поєднанням прогресивних конструктивних і технологічних рішень.
4. На етапі виробництва – впровадити та організувати серійне виробництво ТдЕС.

Теоретичні розробки: загальні підходи

14

Теоретико-множинний підхід до генерування моделей фізико-механічних процесів і станів складних та надскладних механічних систем: TX об'єктів T описуються за допомогою множини узагальнених параметрів P :

Задача аналізу:

$$T = T(P)$$

Задача синтезу:

$$P = P(T)$$

Формалізація задач оптимізації проєктно-технологічних рішень:

$$P^{**} : T(P^{**}) \rightarrow \max$$

Крайова задача:

$$L_M(u_M, P_M, f, t) = 0$$

$$2\varepsilon_{ij} = u_{i,j} + u_{j,i};$$

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{ij} \varepsilon_{kl};$$

$$\sigma_{ij,j} + \bar{f}_i = 0,$$

Теоретичні розробки: варіаційні підходи та спряження розв'язків

15

$$U_M = \bigcup_s u_{M_i}^{(s)},$$

$$P_M = \bigcup_s p_M^{(s)}, F_M = \bigcup_s f_M^{(s)}.$$

$$u_i|_{S_u} = g_i(\mathbf{r})$$

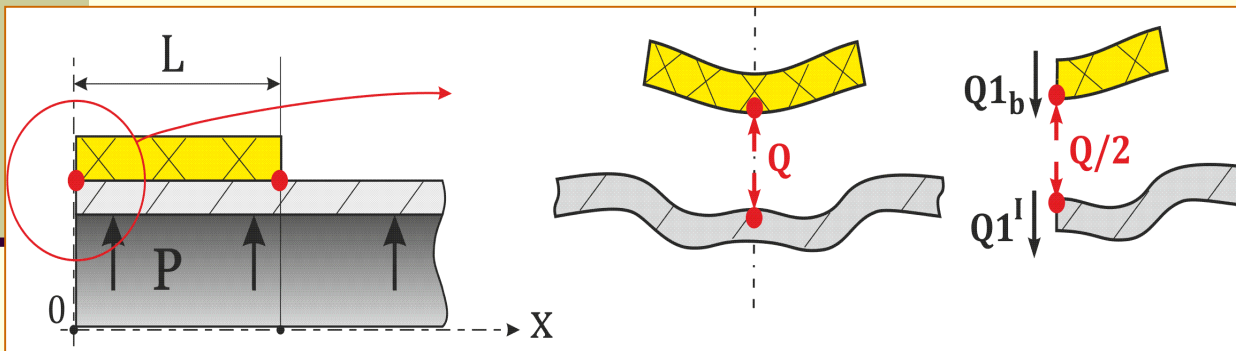
$$\sigma_i|_{S_\sigma} = \bar{f}_i(\mathbf{r}),$$

$$(\bar{L}_M u_M, v_M) = (f_M, v_M), \quad \forall v_M,$$

$$I(u_M) = 1/2(Lu_M, u_M) - (f_M, u_M) \rightarrow \min.$$

$$(u_v^p + u_v^q)|_{S_c} \leq \delta(\mathbf{r}),$$

$$(\bar{L}_M u_M, v_M - u_M) \geq (f_M, v_M - u_M), \quad \forall v_M \in G,$$



$$\frac{d^4 W}{dx^4} + 4\beta^4 W = \frac{1}{D} p_3$$

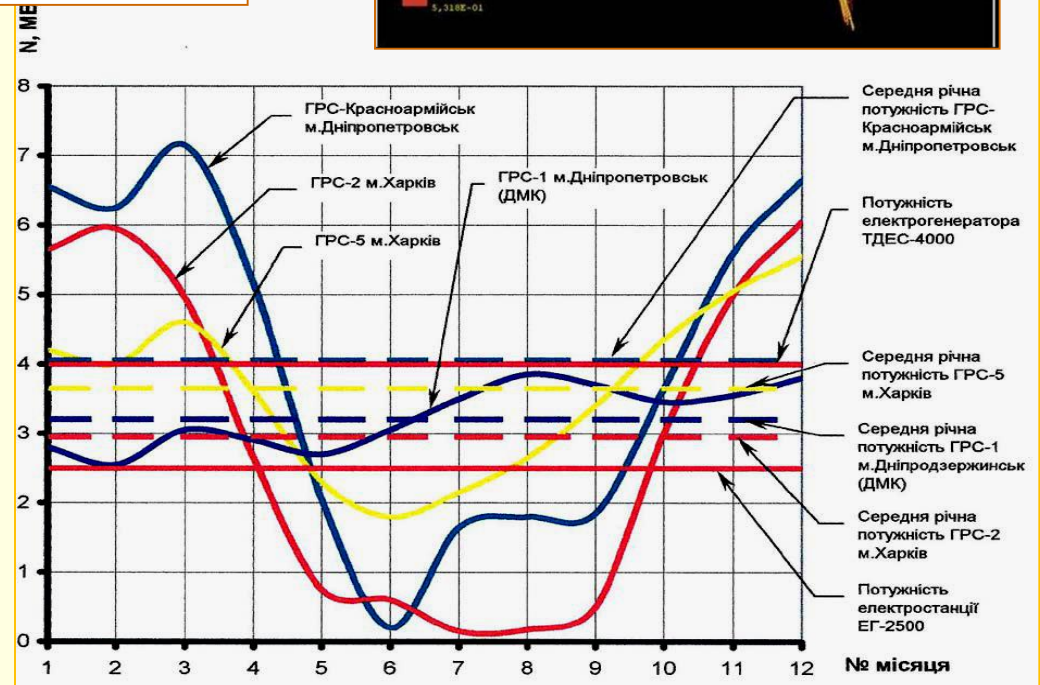
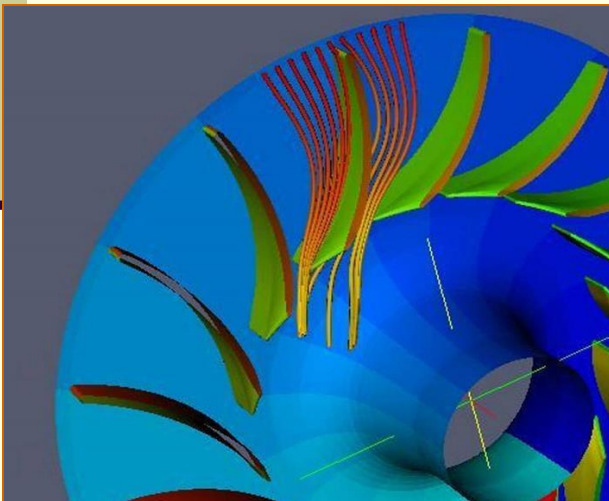
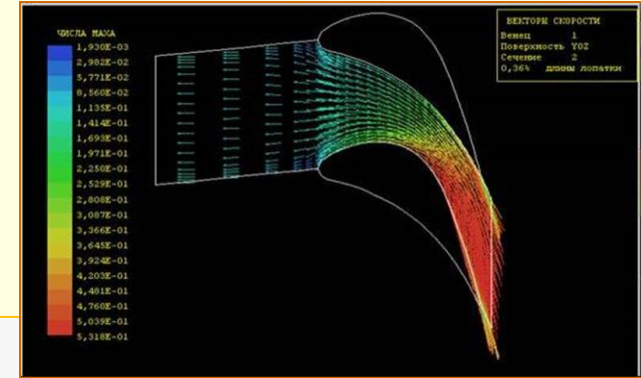
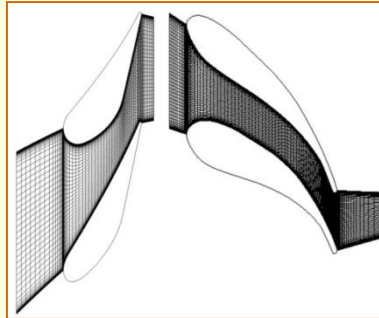
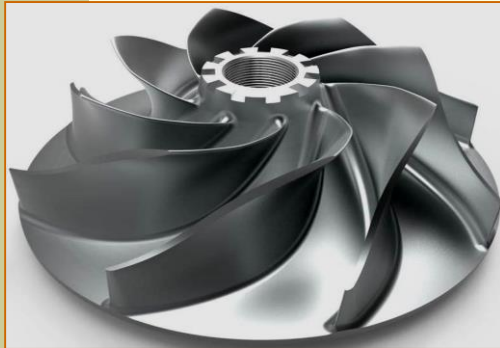
$$4\beta^4 = \frac{Eh}{R^2 D}$$

$$W^I = e^{-\beta x} (c_1 \cos(\beta x) + c_2 \sin(\beta x)) + e^{\beta x} (c_3 \cos(\beta x) + c_4 \sin(\beta x)) + P/4\beta^4 D$$

$$W^{II} = e^{-\beta x} (c_5 \cos(\beta x) + c_6 \sin(\beta x)) + P/4\beta^4 D$$

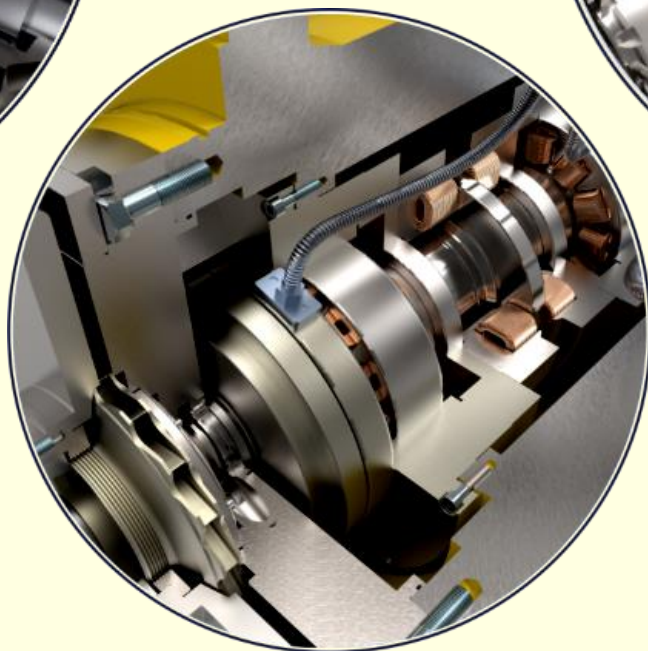
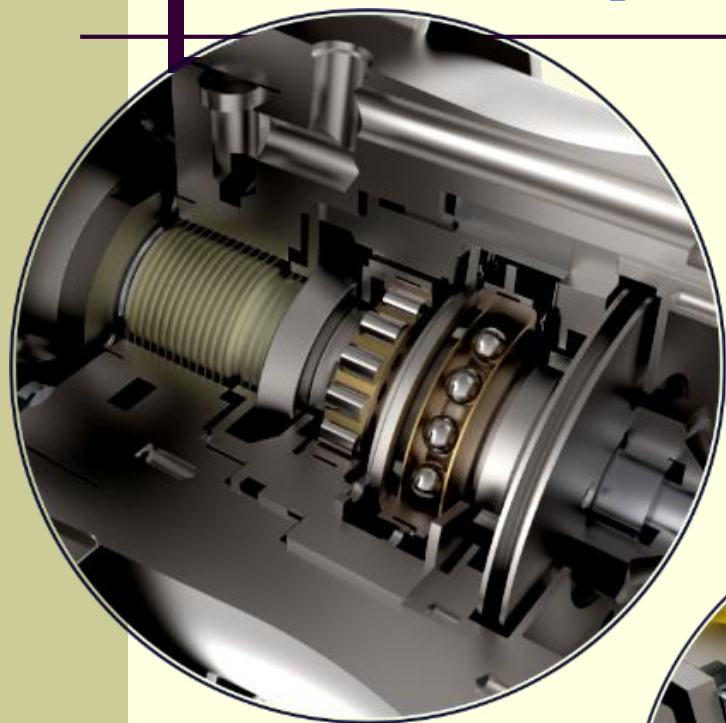
Робочий процес: підвищений на 25% ресурс та ККД за детандером – 86%

16



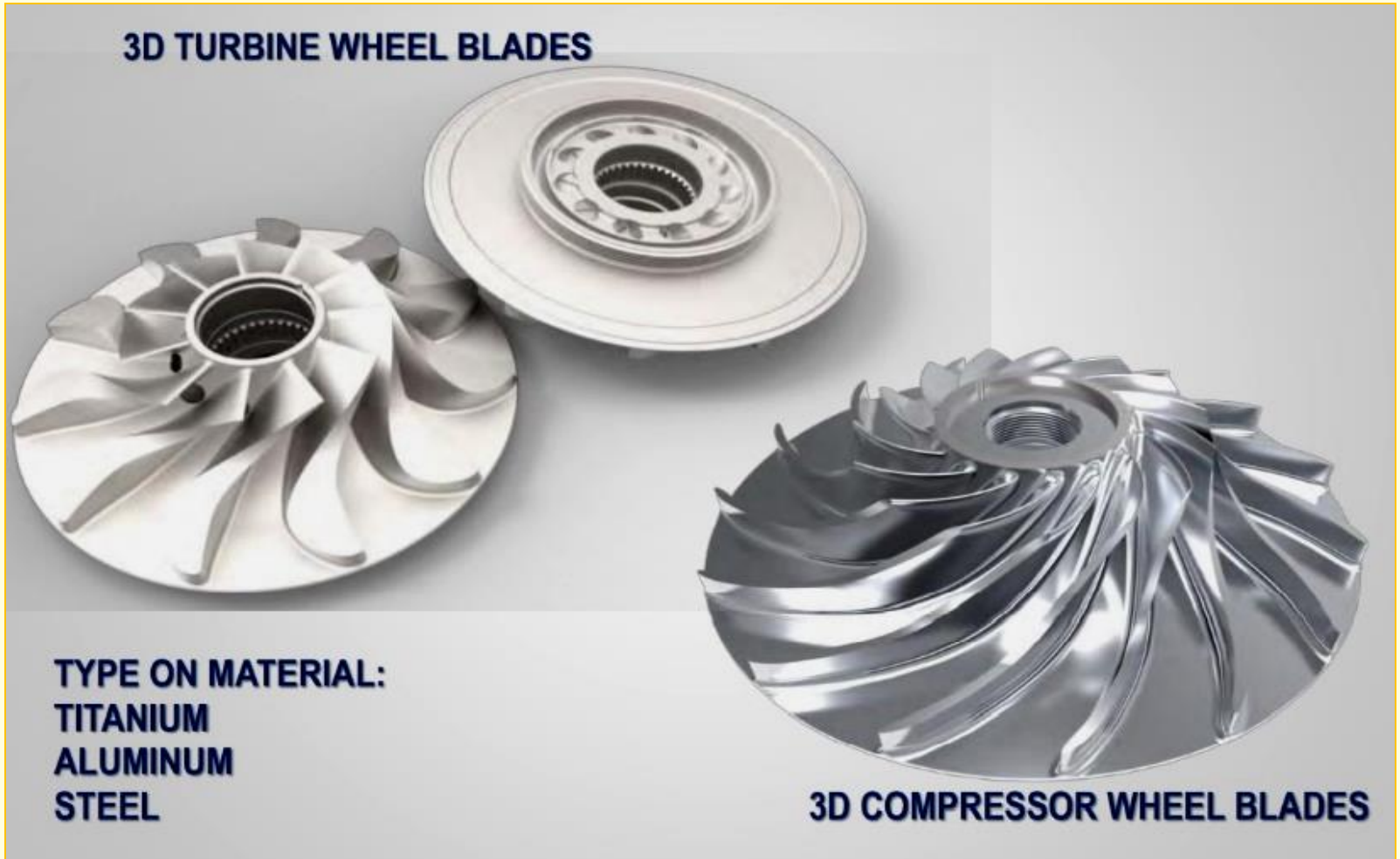
Прогресивні конструктивні рішення ТДЕС

17



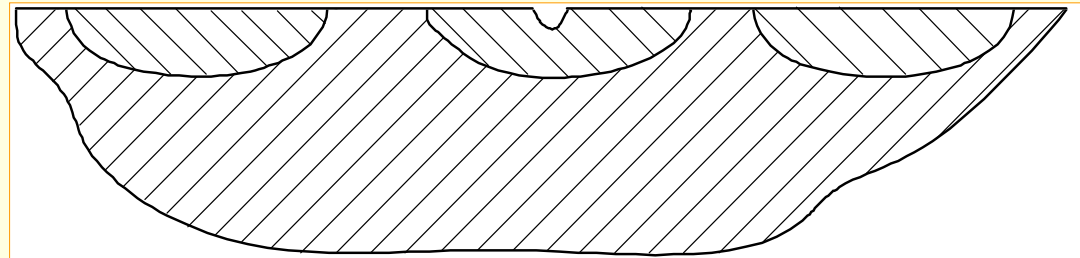
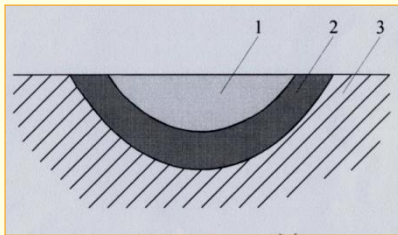
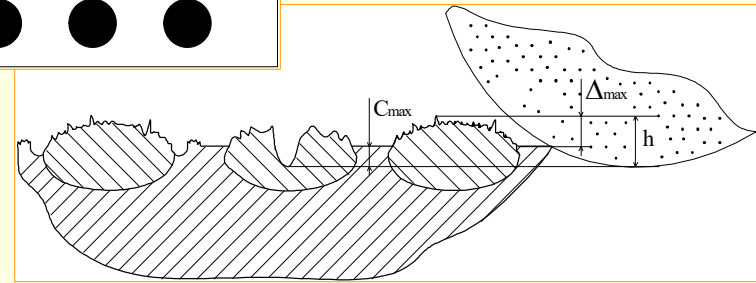
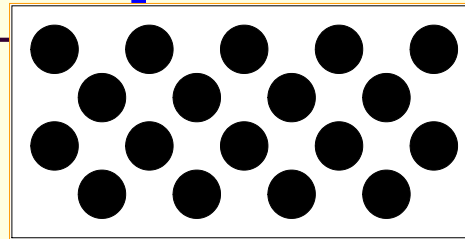
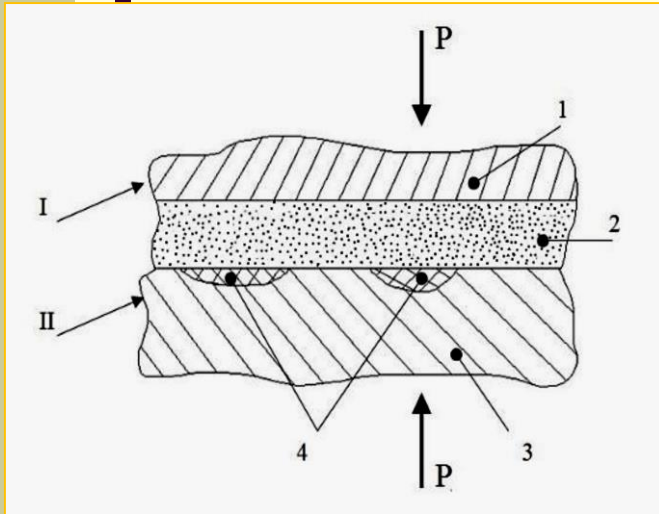
Прогресивні конструктивні рішення елементів ТдЕС

18



Проривні технологічні розробки

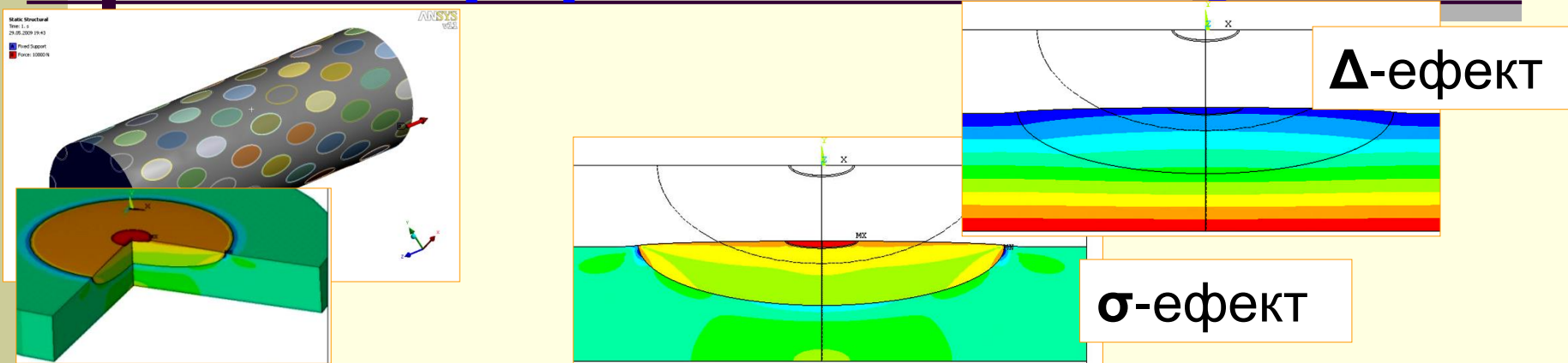
19



Для усунення недоліків замість традиційного континуального створено та застосовано дискретно-континуальне зміцнення

Результати чисельного моделювання напружено-деформованого стану

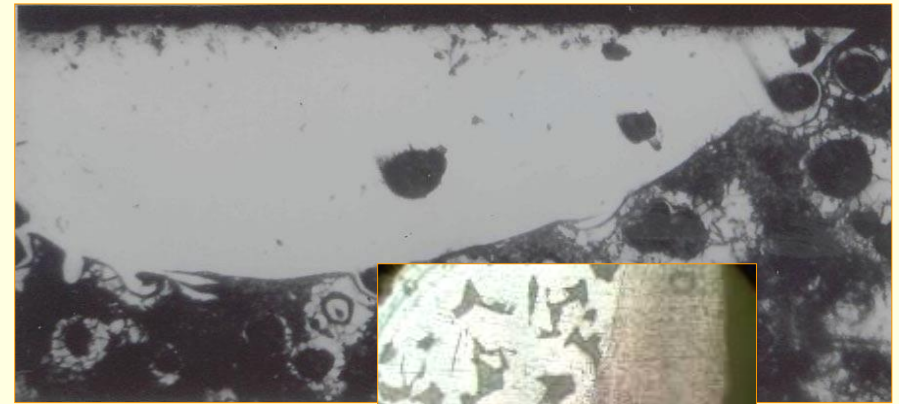
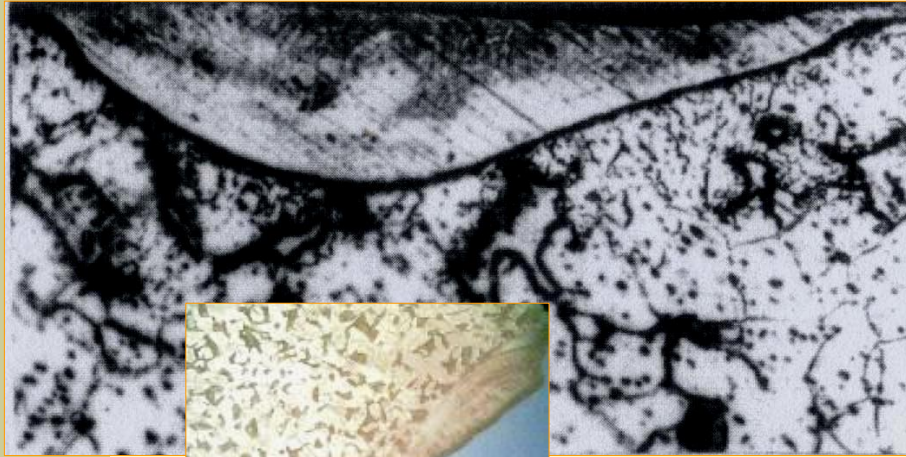
20



Установлено: при навантаженні контактним тиском поверхня деталі набуває хвилястого профілю. Це – Δ-ефект. σ-ефект полягає у підвищенні міцності за рахунок зміщення високих напружень у зони дискретного зміцнення. У результаті – одночасне зростання ресурсу, міцності та ККД.

Результати лабораторних досліджень

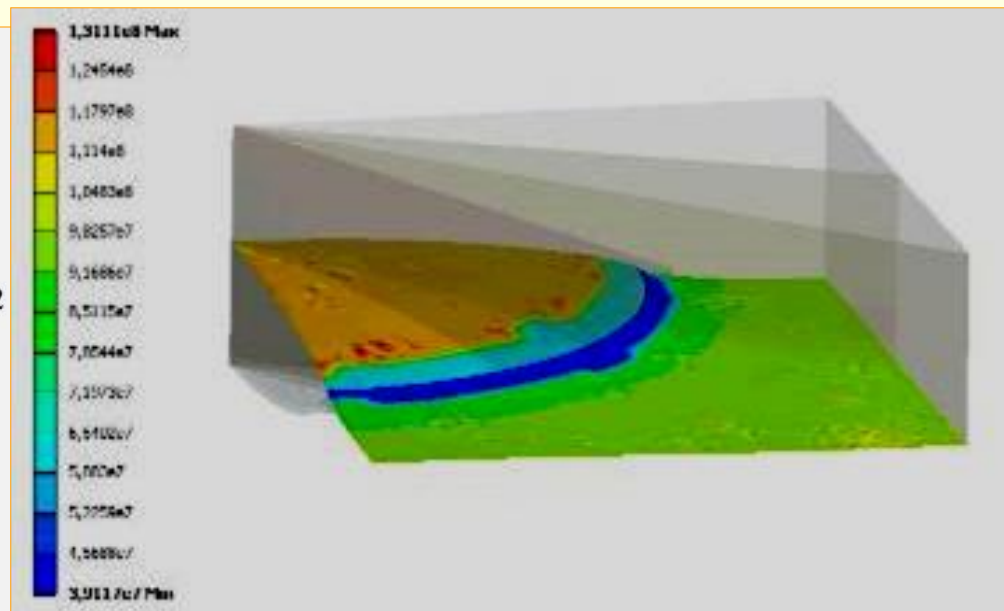
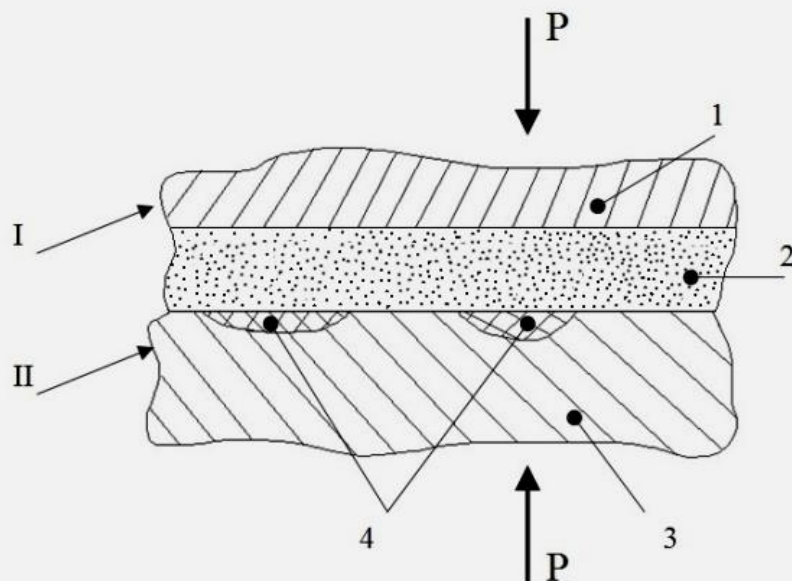
21



Металографічний аналіз зразків після дискретно-континуального зміцнення засвідчив, що в поверхневому шарі дослідних зразків чітко виявляється зміцнена зона.

Ефективність зміцнення: підвищення ресурсу та ККД – 25-50%

22

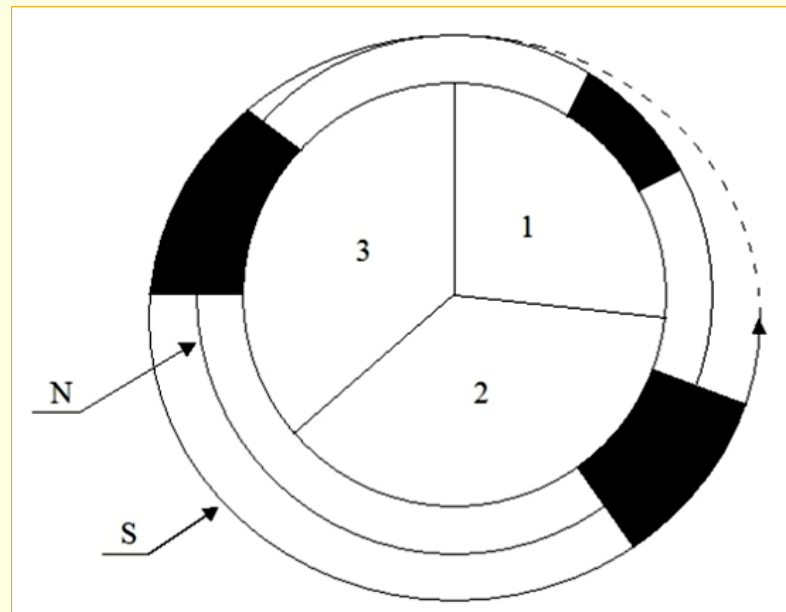
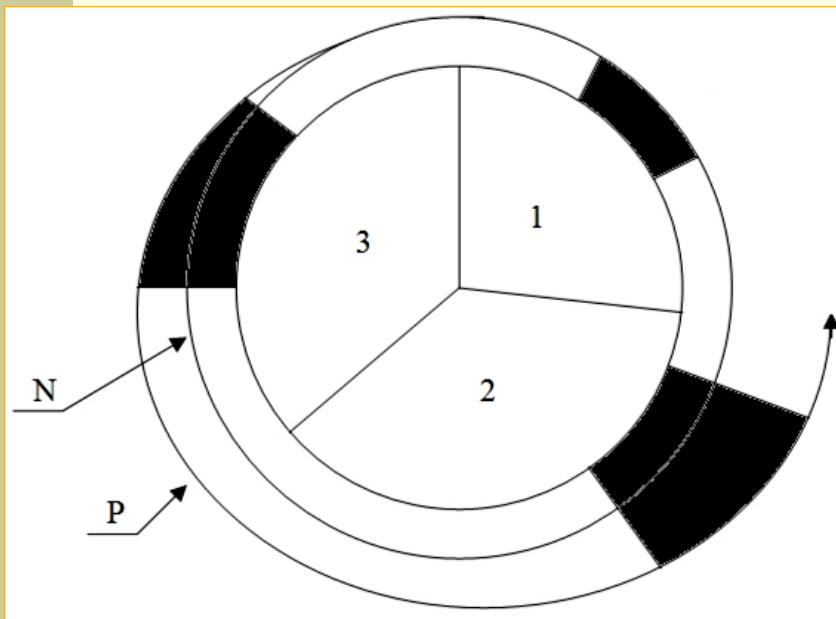


Деталі I, II оброблені
методами корундування та
дискретного зміцнення

Розподіл контактного
тиску у сполученні
деталей

Ефективність зміцнення: підвищення ресурсу та ККД – 25-50%

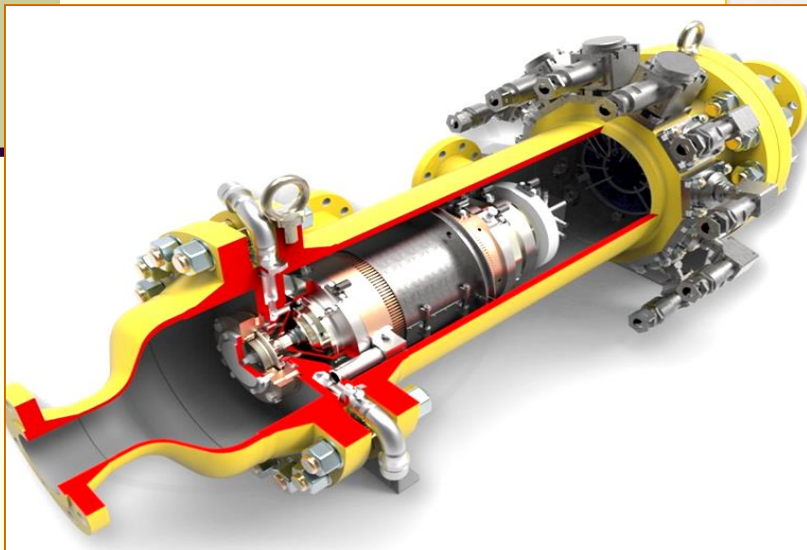
23



Механізми прогресуючого (зліва) розвитку процесів контакту, тертя і зношування (1,2,3) - за традиційними технологіями - та їхньої стабілізації (справа) – за умови застосування створених технологій

Впровадження ТдЕС на різних об'єктах: виробництво

24



Впровадження на різних об'єктах: Україна

25



Впровадження на різних об'єктах за кордоном: Узбекистан

26



Економічна ефективність

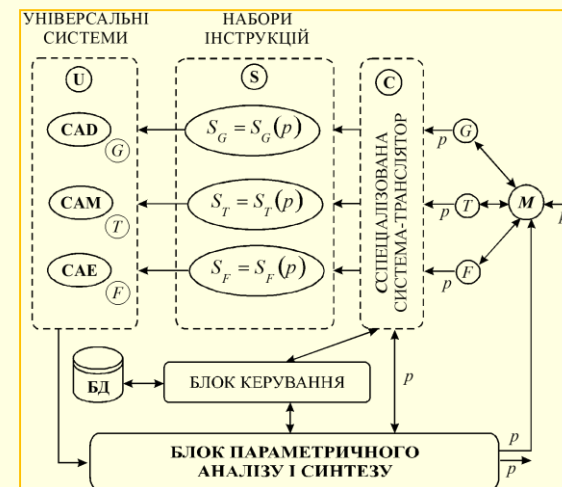
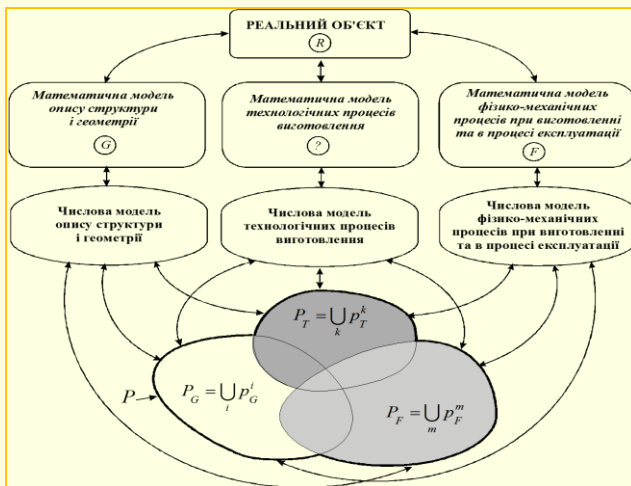
27

Техніко-економічний ефект від упровадження автономних ТдЕС у газотранспортній системі України зумовлений досягненням рівня 160 МВт генерованих потужностей із щорічним виробництвом понад 1,4 млрд. кВт*год електроенергії та складає 1,5 млрд. грн. на рік. Принциповою є вирішальна роль ТдЕС саме у *критичних ситуаціях*.

Загальний річний обсяг вироблення електроенергії становить 671,93 млн. кВт*год.

Оприлюднення результатів

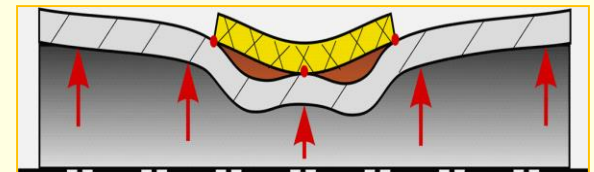
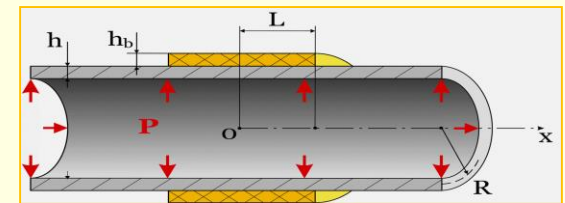
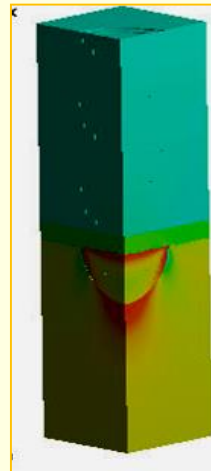
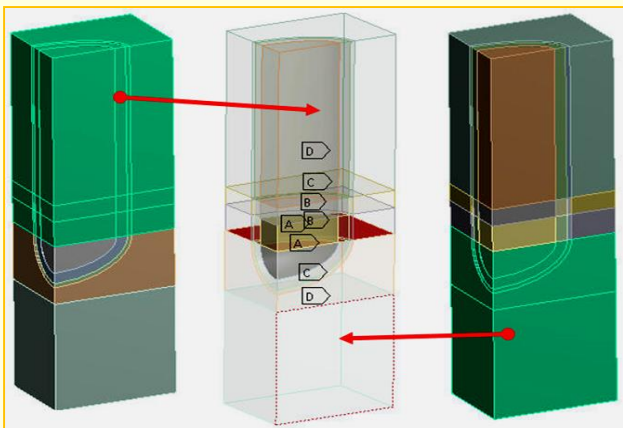
За результатами роботи *опубліковано* понад 230 наукових праць (25 – у Scopus-виданнях), у т.ч. - понад 10 монографій та підручників, 7 розділів у монографіях, отримано понад 30 авторських свідоцтв та патентів.



Оприлюднення результатів

29

Інформація про роботу міститься у 40 виступах на конференціях, у 3-х публікаціях у газетах і журналах та у 2-х показах по телебаченню.
Виконано 12 НДДКР, а також 14 господарських договорів та міжнародних грантів.

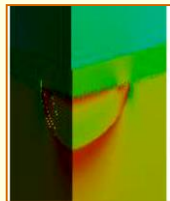


Соціально-економічне значення результатів

30

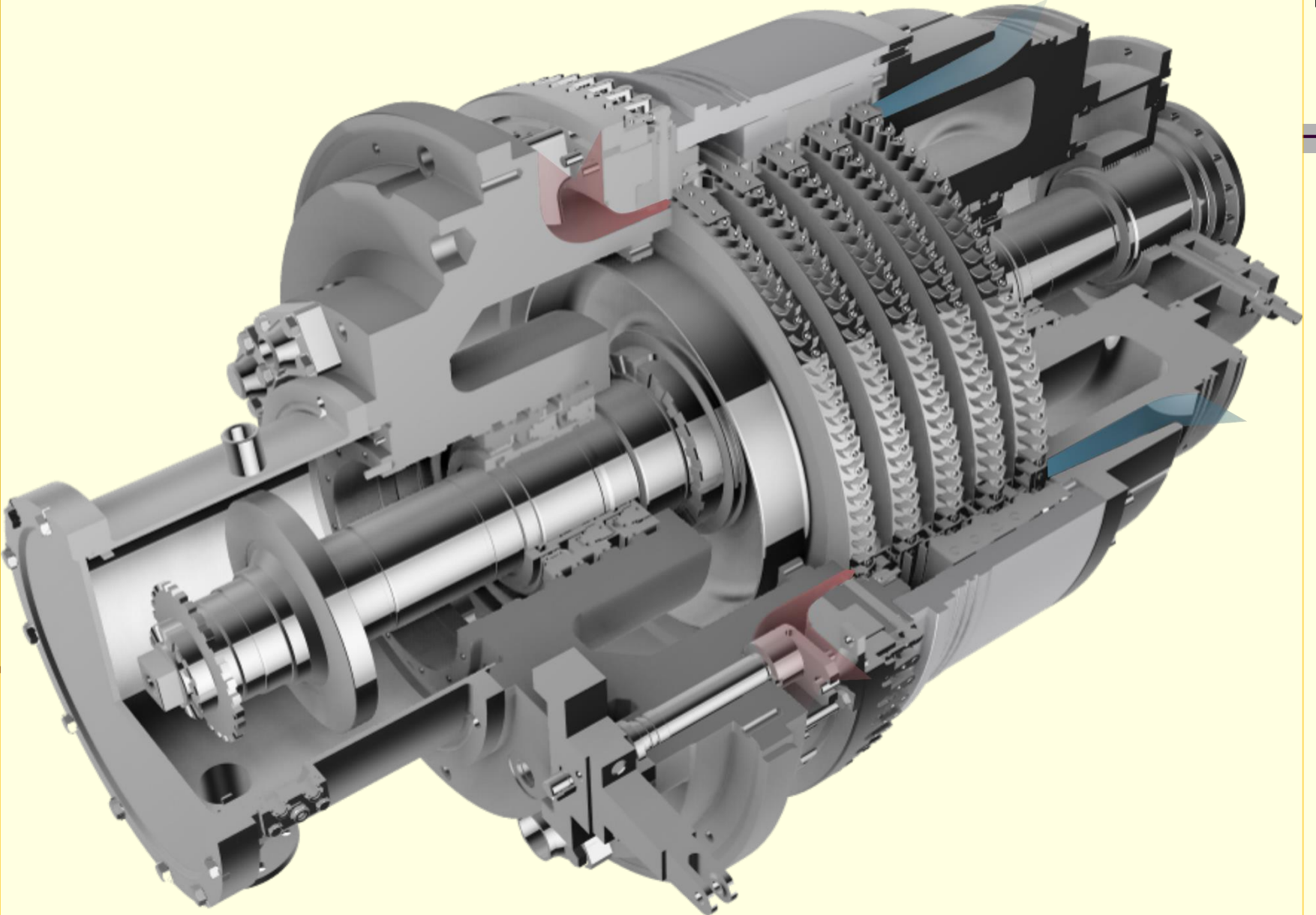
Турбодетандерні установки розроблені, досліджені, виготовлені та впроваджені силами ПрАТ «ТУРБОГАЗ» при науковому супроводі НТУ «ХПІ» на 22-х об'єктах в Україні та за кордоном (Сєвєродонецьк, Солоха, Запоріжжя, Дніпро тощо) зі споживанням енергії автономно або із видачею у загальну електромережу.

У підсумку впровадження проривних технічних рішень дає можливість визначати створені турбодетандерні установки як економічні високотехнологічні унікальні вироби, що визначають світовий рівень у цій галузі.

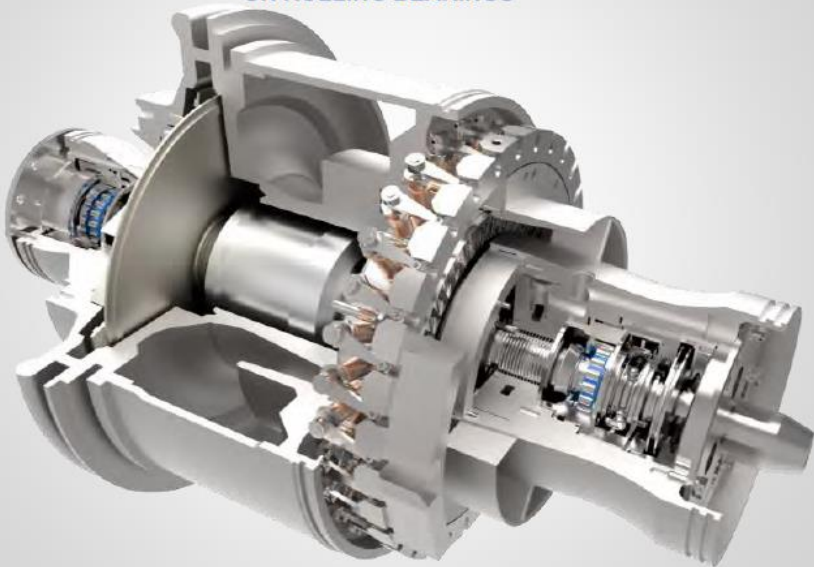


Дякуємо за увагу!

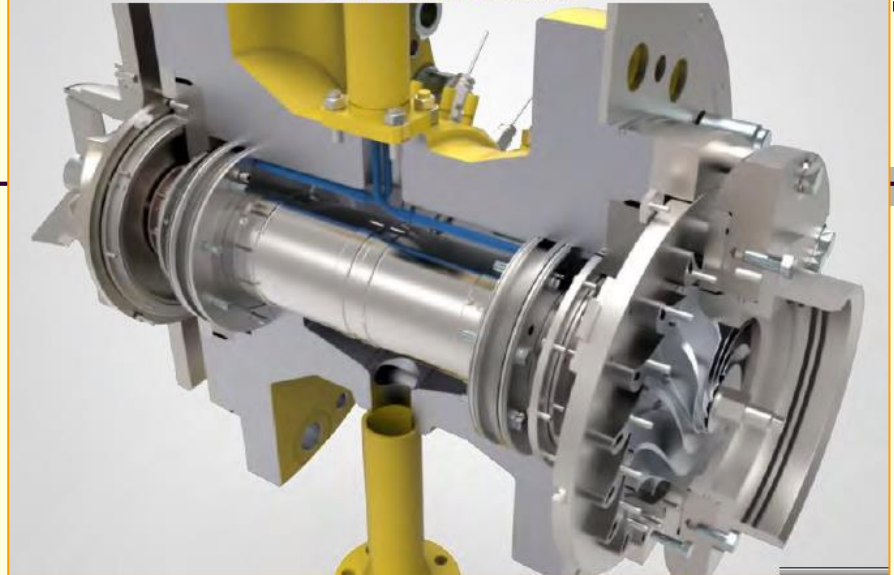




**EXPANDER-COMPRESSOR UNIT
ON ROLLING BEARINGS**



**EXPANDER-COMPRESSOR UNIT
ON SLEEVE BEARINGS**



**EXPANDER-COMPRESSOR UNIT
ON ACTIVE MAGNETIC BEARINGS**

