Створення роторів парових турбін великої потужності

Мета і напрямки роботи

Метою роботи є створення та впровадження конструкцій надійних в експлуатації високоефективних роторів турбін великої потужності нового покоління, як готових закінчених виробів з високою науково-технічною і інноваційною складовою та високим рівнем конкурентоспроможності, які за рядом показників перевищують зарубіжні аналоги.

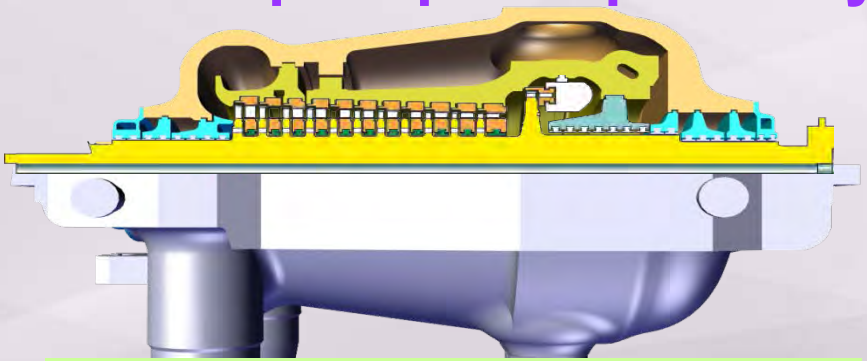
Реалізація цієї мети дозволила підняти рівень ефективності діючого паротурбінного обладнання на електростанціях України та розширила маневрені можливості роботи енергосистеми, підвищила надійність, безпеку, екологічні показники і зробила внесок у підвищення рівня енергонезалежності нашої держави.

Турбіны найбільших ТЕС і АЕС України

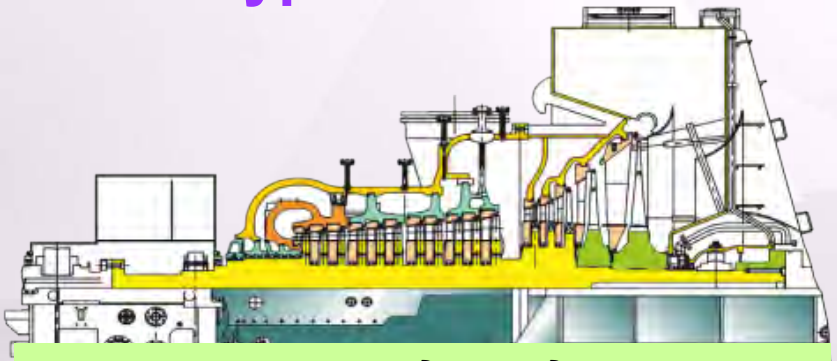
ТЕС	Номер блоку; Тип турбіни; Виробник		Введення в експлуатацію, рр
Слов'янська	3; Т-80-90; ЛМЗ	7; К-800; ЛМЗ	1967-1971
Кураховська	3-9; К-200; ЛМЗ		1969-1975
Луганська	8-15; К-200; ЛМЗ		1963-1969
Вуглегірська	1-4; К-300; АТ«ТА»	5-7; К-800; ЛМЗ	1972-1977
Трипільська	1-6; К-300; АТ«ТА»		1969-1972
Зміївська	1-6; К-200; ЛМЗ	7-10; К-300; АТ «ТА»	1960-1969
Запорізька	1-4; К-300; АТ«ТА»	5-7; К-800; ЛМЗ	1972-1977
Криворізька	1-10; К-300; АТ«ТА»		1965-1973
Придніпровська	1-4; К-160; АТ «ТА»	5-8; К-300; АТ «ТА»	1958-1965
Бурштинська	1-12; К-200; ЛМЗ		1965-1969
Ладижинська	1-6; К-300; АТ«ТА»		1970-1971
Добротвірська	4-6; К-100; АТ«ТА»	7-8; К-160; АТ «ТА»	1962-1964
Зуївська	1-4; К-300; АТ «ТА»		1982-2012
Старобешівська	4-13; К-200; ЛМЗ		1961-1967

АЕС	Номер блоку; Тип турбіни; Виробник		Введення в експлуатацію, рр
Южно-Українська	1-2; К-1000/1500; АТ «ТА»	3; К-1000/3000; ЛМЗ	1982-1989
Запорізька	1-5; К-1000/1500-2; АТ «ТА»	6; К-1100/1500-2М; АТ «ТА»	1984-1995
Рівненська	1-2; К-220-44; АТ «ТА»	3-4; К-1000/3000; ЛМЗ	1980-2004
Хмельницька	1-2; К-1000/3000; ЛМЗ		1987-2004

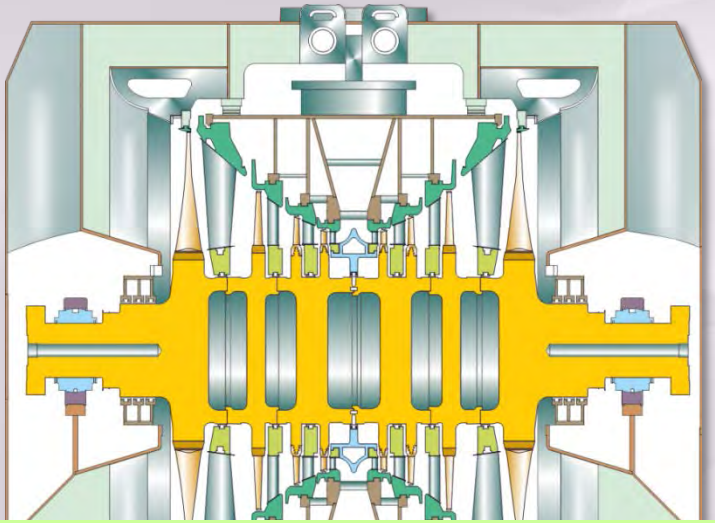
Типи роторів парових турбін АТ «Турбоатом»



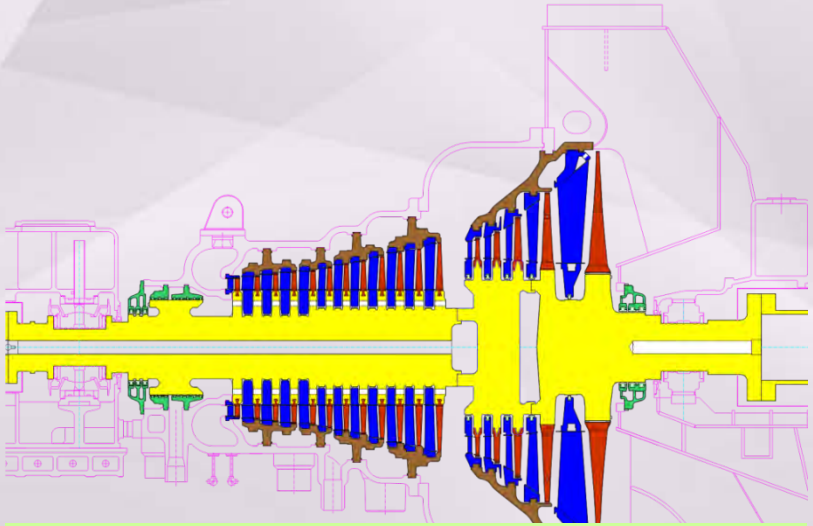
Цільноковані ротори. Складаються з валу і дисків, виготовлених з однієї поковки.



Ротори з насадними дисками. Є ступінчастими валами з насадженими одним або декількома дисками.

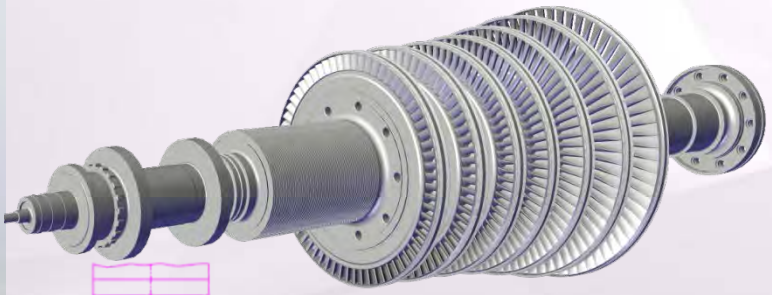


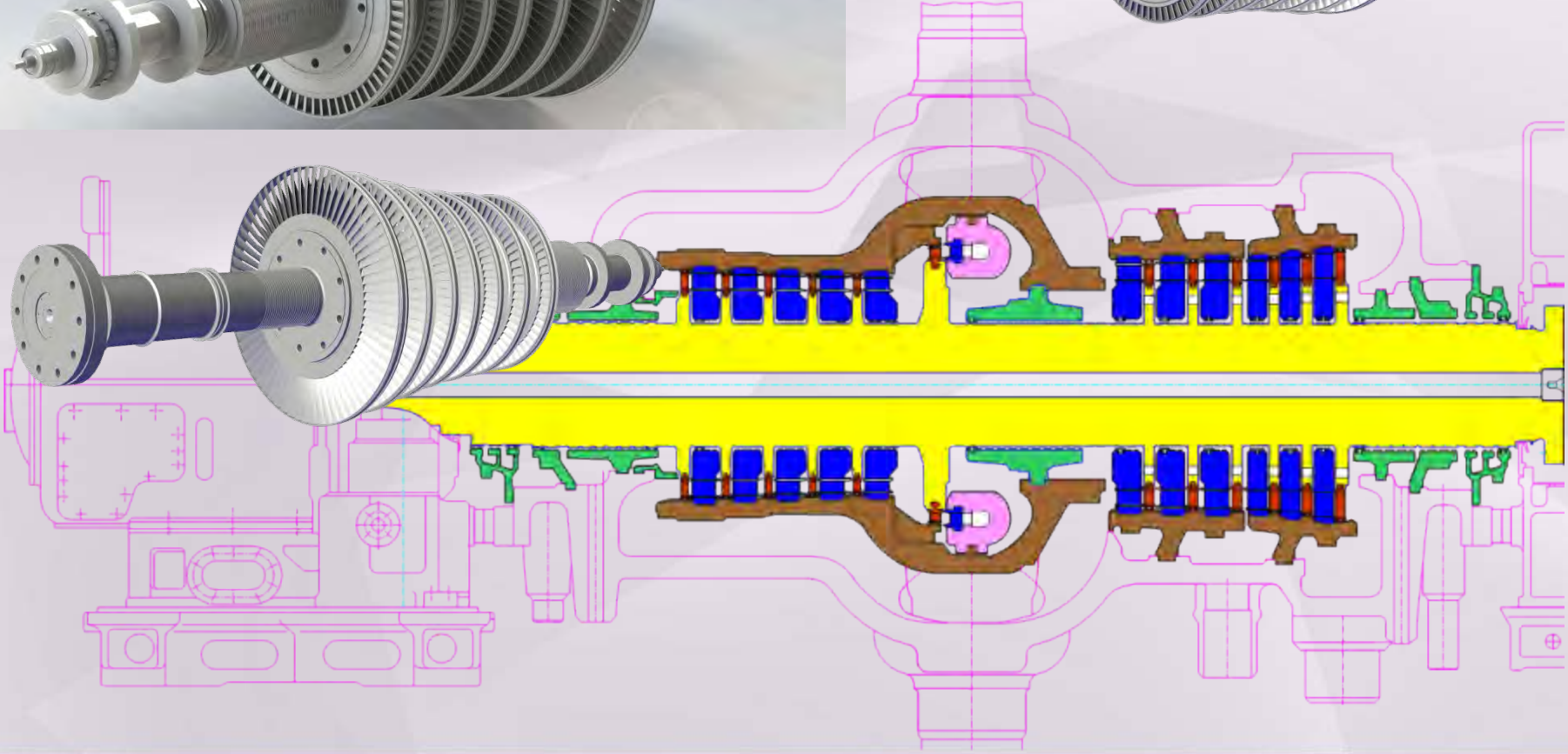
Зварні ротори. Збираються з окремих кованих дисків і хвостовиків, з'єднаних між собою циліндричними перемичками з зварними швами.



Комбіновані «композитні» зварні ротори з різних марок сталі.

Цільноковані ротори АТ «Турбоатом»

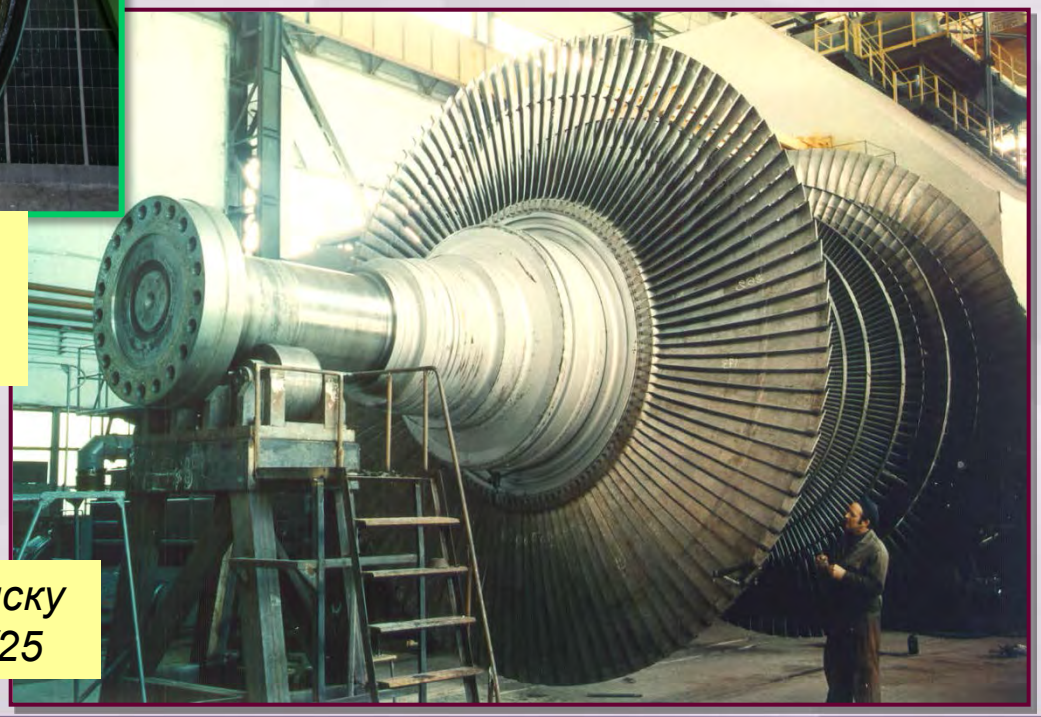




Зварно-ковані ротори АТ «Турбоатом»

Установка для динамічного балансування ротора в вакуумній камері.

Ротори низького тиску потужних парових турбін АТ “Турбоатом” традиційно зварюються з окремих кованих елементів, виконаних з високоякісних легованих сталей. Серійне виробництво зварних роторів було організовано на заводі в 1958 році для турбін К-160-130.

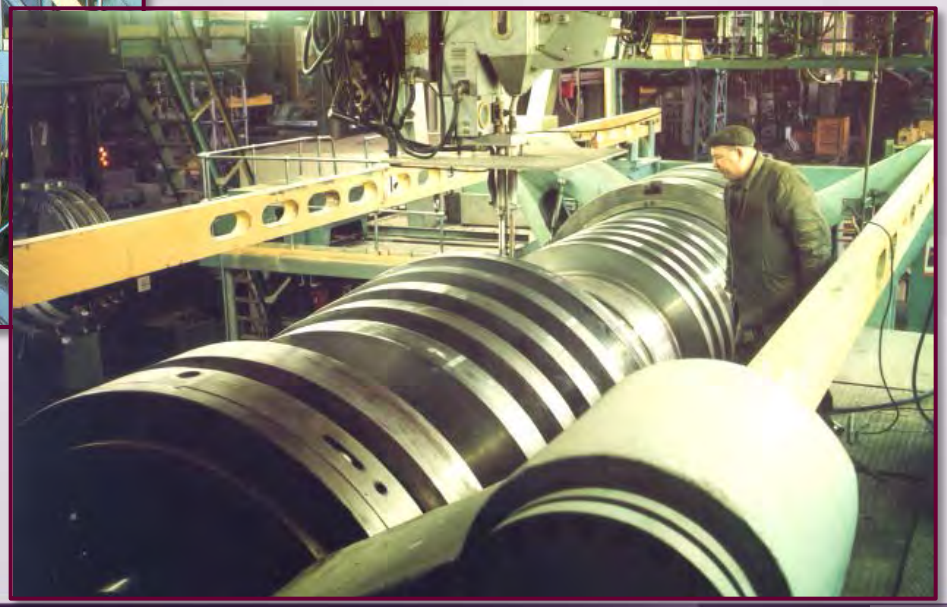


Ротор низького тиску турбіни К-1100-6.0/25

Зварно-ковані ротори АТ «Турбоатом»

Портал для зварювання роторів.

Для зварювання роторів були створені унікальні агрегати для автоматичного зварювання швів, що дозволяють зварювати ротори завдовжки 12,5 метрів, діаметром до 3 метрів і вагою до 200 тонн.

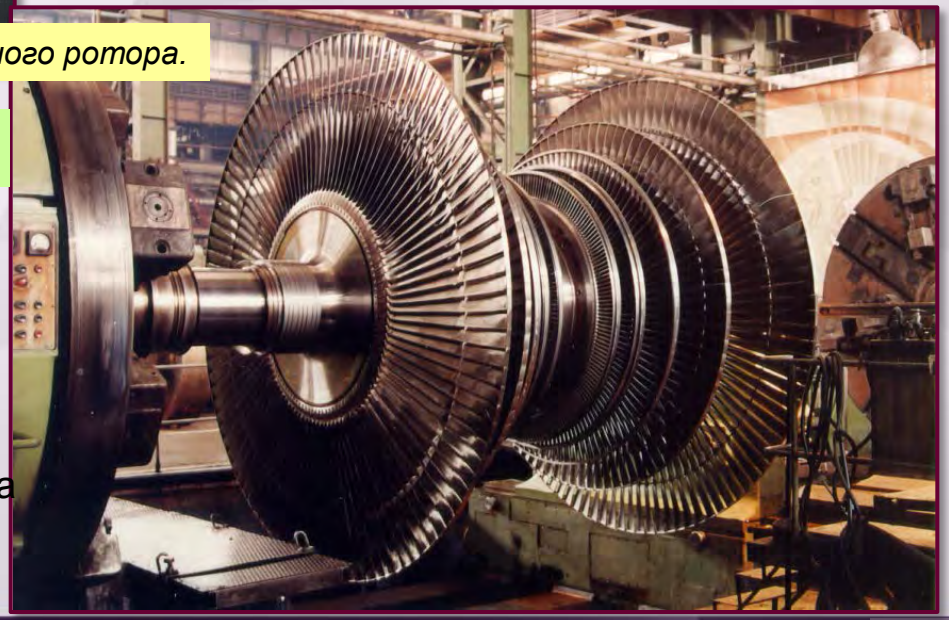


Зварно-ковані ротори АТ «Турбоатом»

Переваги зварних роторів

- Відсутність центрального отвору зумовлює знижену напруженість
- Великомасштабні конструкції виготовляються із зливків і поковок середнього розважування з регламентованими значеннями перехідної температури крихкості, що визначає їх високу експлуатаційну надійність
- Відсутність концентраторів напружень у вигляді фіксувальних шпонок, пазів забезпечує відсутність корозії під напруженням

Обробка зварного ротора.



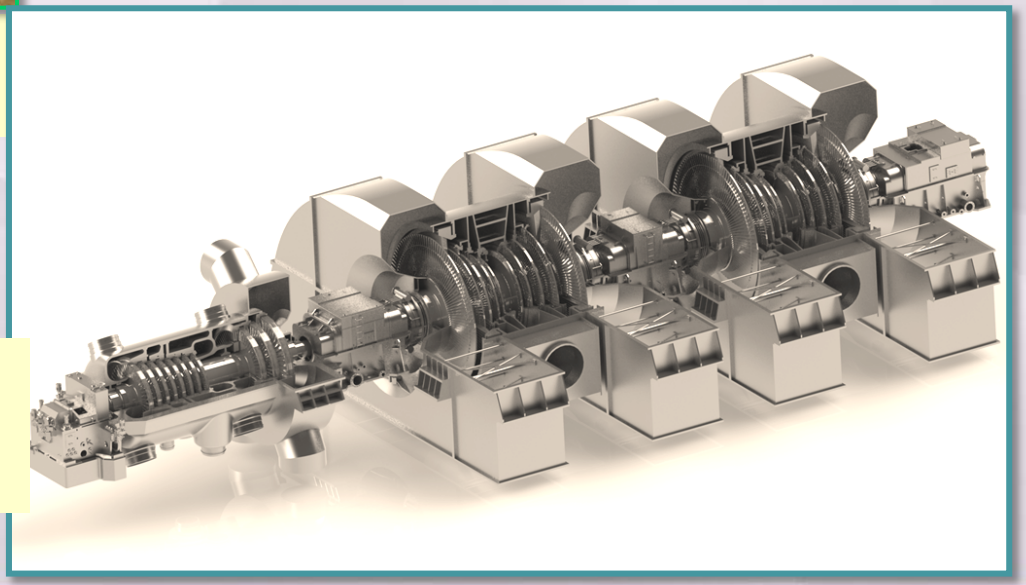
Додаткові переваги зварних роторів

- можливість виконання заготівок ротора діаметром близько 3 метрів;
істотне зниження ціни;
- підвищення надійності завдяки можливості 100% контролю поковок методом УЗД;
- багатократне зниження ймовірного коефіцієнта відбракування окремих заготівок в порівнянні з поковками цільнокованих роторів.

Зварно-ковані ротори АТ «Турбоатом»

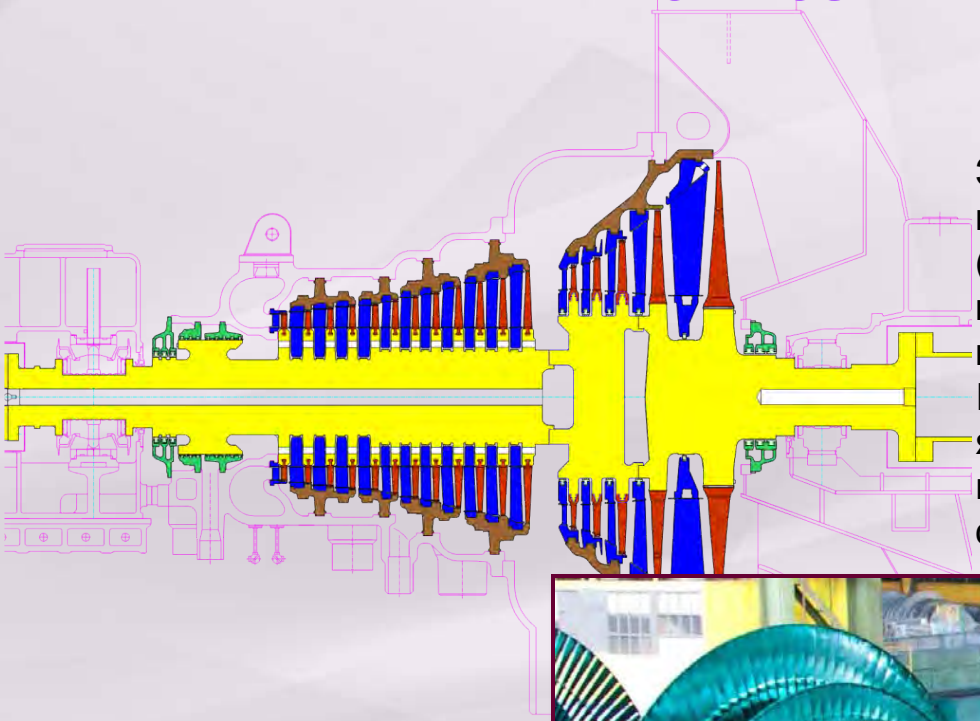
Підприємством виготовлено близько 550 зварних роторів.
Більше 70 турбін К-160-130 із зварними роторами вже виробили не лише розрахунковий ресурс 100 тис. годин, але і напрацювали понад 200 тис. годин.
Турбіни К-220-44 мають максимальне напрацювання близько 200 тисяч годин. На турбінах АЕС "Ловіїса" (Фінляндія), "Пакш" (Угорщина), "Козлодуй" (Болгарія), Мецаморська АЕС (Вірменія), та інших проведена модернізація проточної частини, після чого турбіни продовжують працювати.

Модернізація ЦНТ турбіни К-220-44-2 АЕС “Ловіїса”,Фінляндія

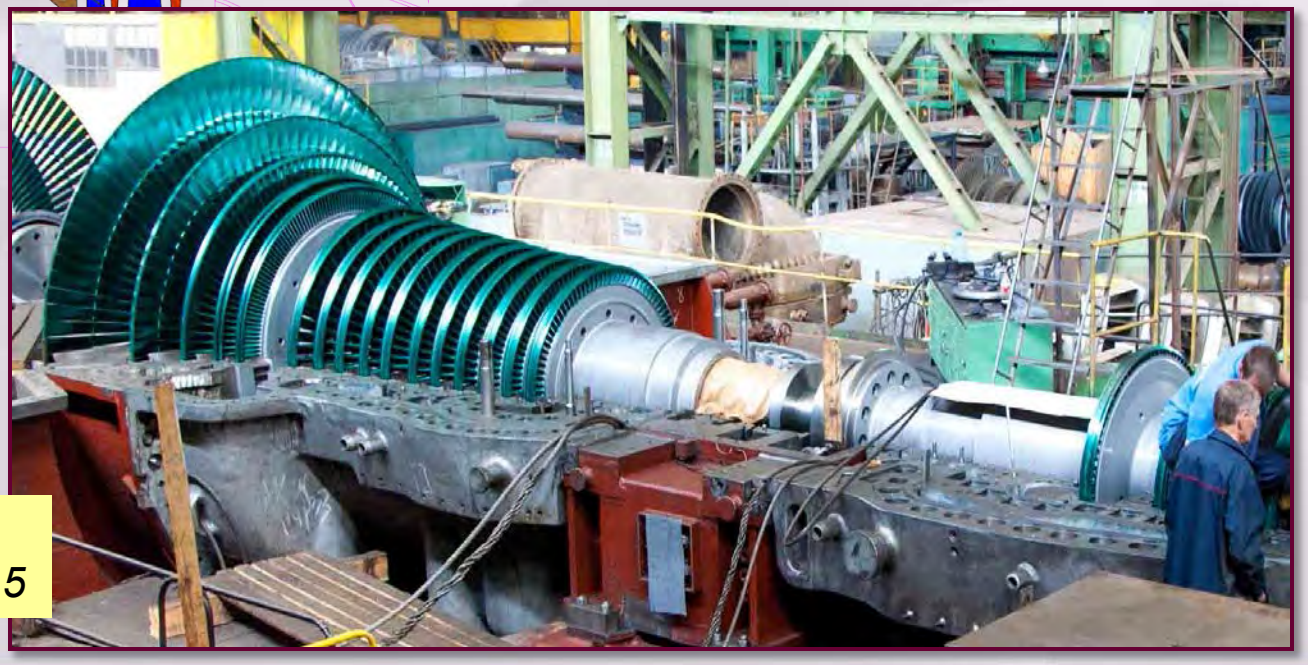


Циліндри парової турбіни К-1250-6,9/25 потужністю 1250 МВт із зварними роторами

Композитний ротор АТ «Турбоатом»



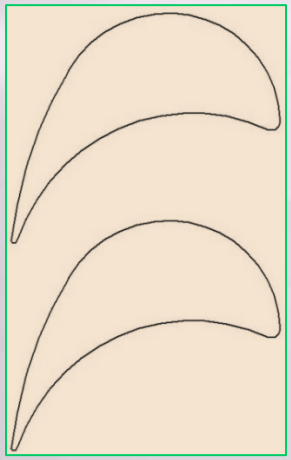
З 2012 р. АТ «Турбоатом» впровадив у виробництво виготовлення комбінованих ("композитних") зварних роторів з різних легованих конструкційних сталей з використанням програмних розрахункових комплексів НТУ ХПІ, ІПМаш НАН України. Для ЧСТ турбіни К-325-23,5, яка працює у високотемпературному режимі, використовується сталь ЭИ-415, а для ЧНТ – сталь 25Х2НМФА.



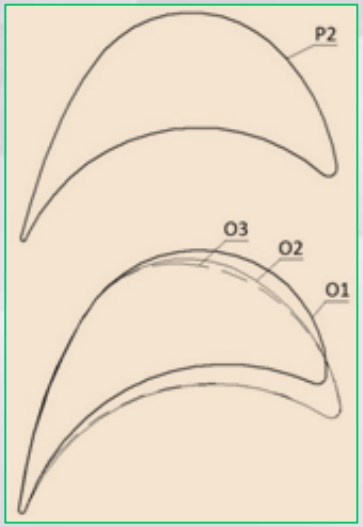
«Композитний» ротор ЦСНТ турбіни К-325-23,5

Методологія оптимального проектування роторів парових турбін

- *Математичне моделювання*
- *Розробка єдиного інтегрованого інформаційного простору підсистеми оптимізації проточної частини парових турбін*
- *Розробка методів оптимізації*
- *Опис контуру турбінних профілів за допомогою BiArc-кривих*
- *Оптимізація робочих решіток ротора з використанням геометричних критеріїв якості обводів профілю і каналу*



Фрагмент турбінної решітки оптимальних профілів *О1*.

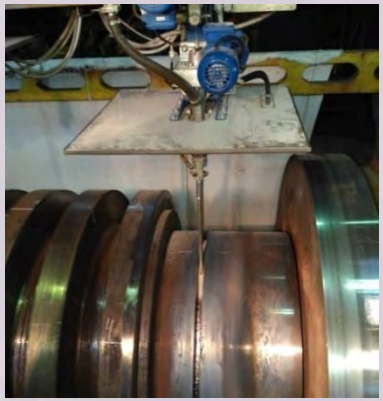


Форми обводів профілю Р2 і профілів *О1, О2, О3*, отриманих в результаті оптимізації турбінної решітки.

Науково-технічні розробки, що забезпечують динаміку і міцність роторів

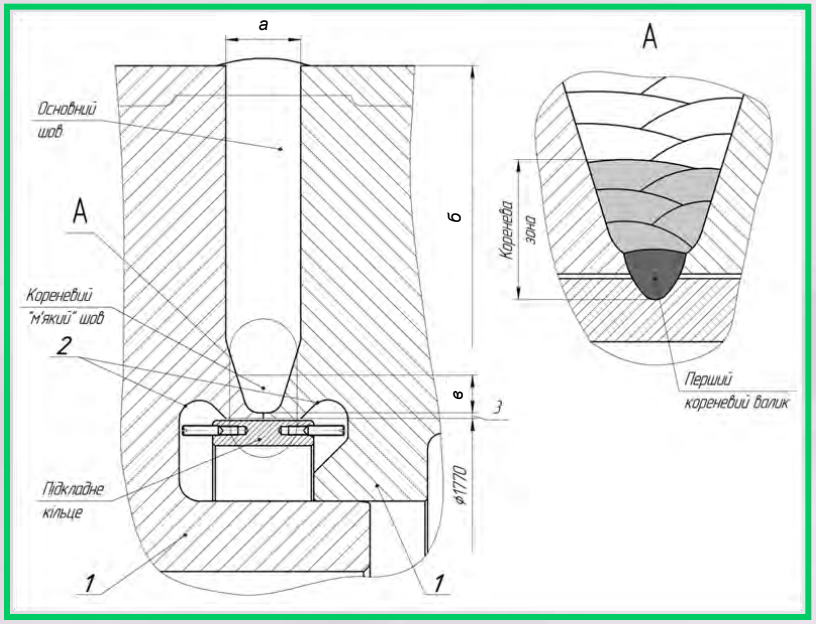
- Розробка методики розрахунку на міцність роторів від відцентрових сил при обертанні в осесиметричній і тривимірній постановках
- Вільні і вимушені коливання багатопролітних роторів на пружно-демпферних опорах
- Крутильні коливання валу турбіни при раптовому короткому замиканні генератора. Розробка розрахункової моделі
- Оцінка напруженого і вібраційного станів ротора парової турбіни за наявності дефекту
- Розробка методики розрахунку міцності елементів роторів при сейсмічній дії

Технологічні особливості складання під зварювання і зварювання роторів



Етапи збирання і зварювання роторів

Технологічні особливості складання під зварювання і зварювання роторів

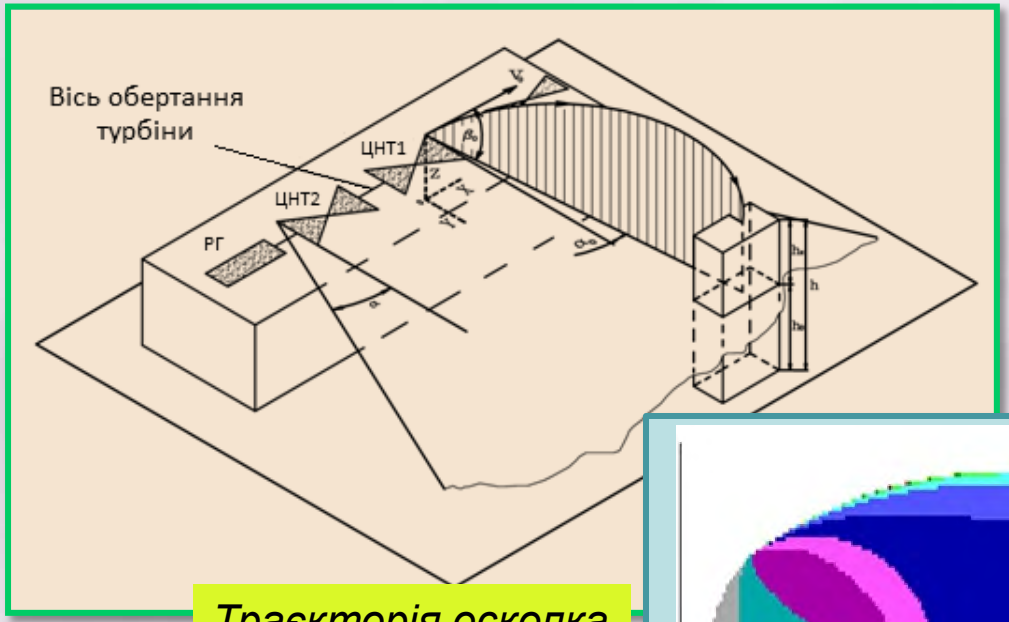


Конструктивне оформлення зварного з'єднання тихохідних роторів

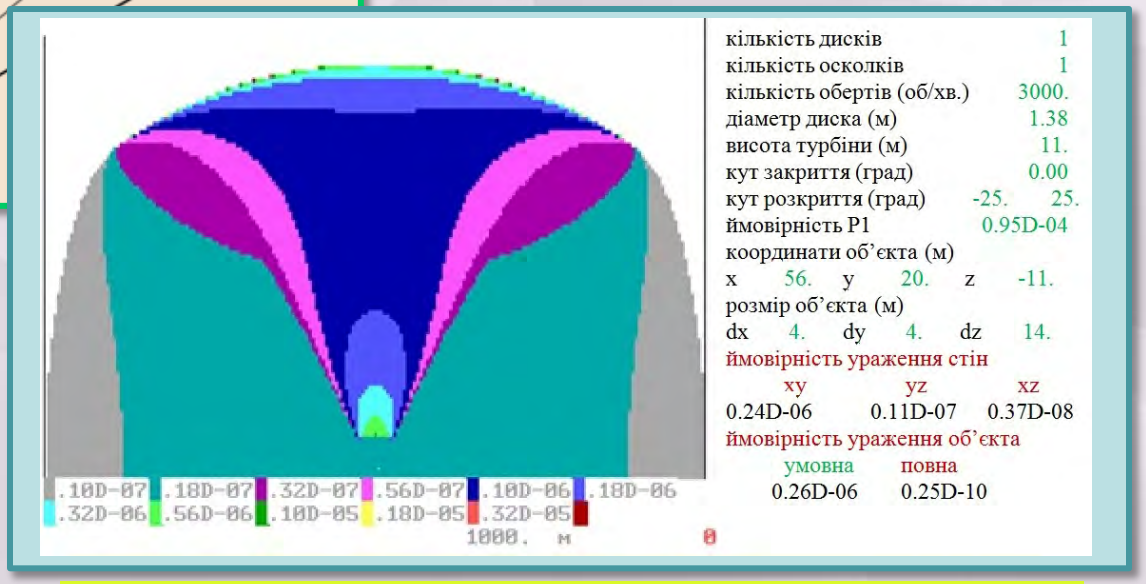
Поковки зварного ротора

Термооброблений ротор на черені печі

Розробка методики прогнозування безпеки АЕС або ТЕС

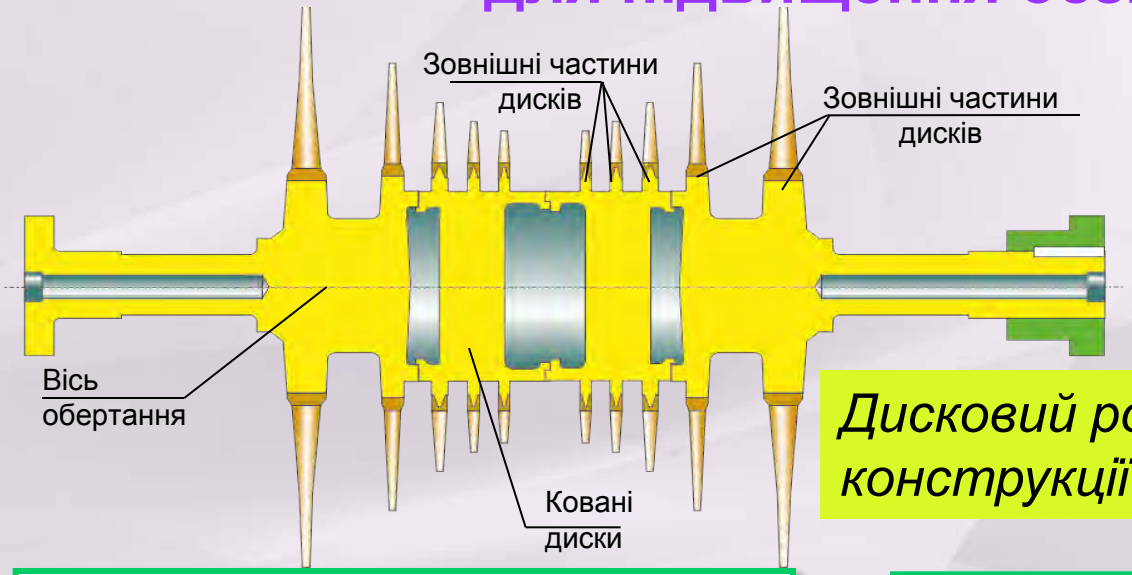


Траєкторія осколка

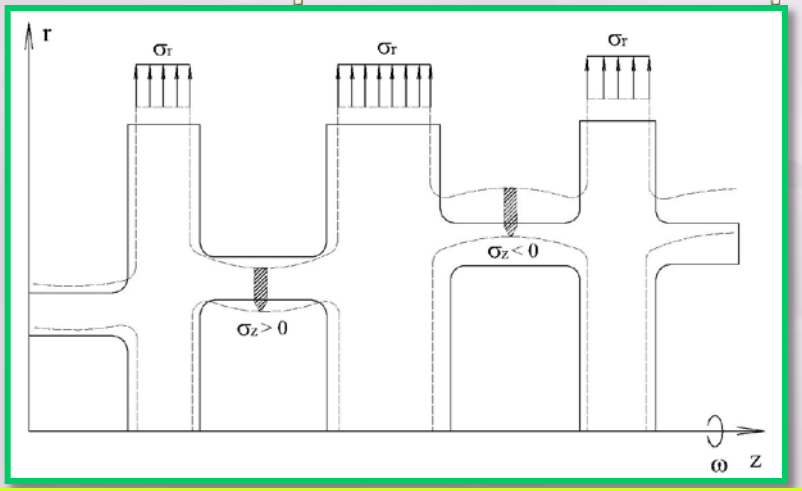


Щільність падіння осколків і ймовірність їх попадання у корпус реактора при обертанні ротора n=3000 об/хв

Методика проектування зварного ротору для підвищення безпеки турбін ТЕС і АЕС



Дисковий ротор зварної конструкції парової турбіни



Варіанти вигину перемичок зі зварним швом

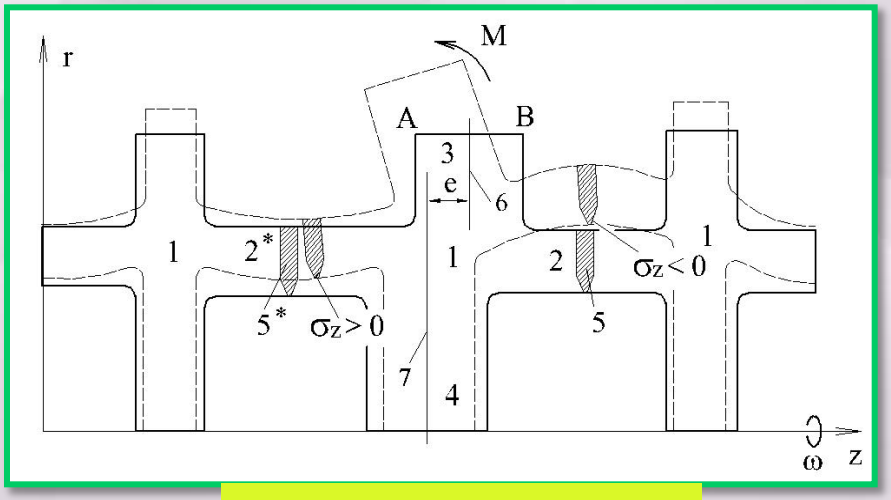
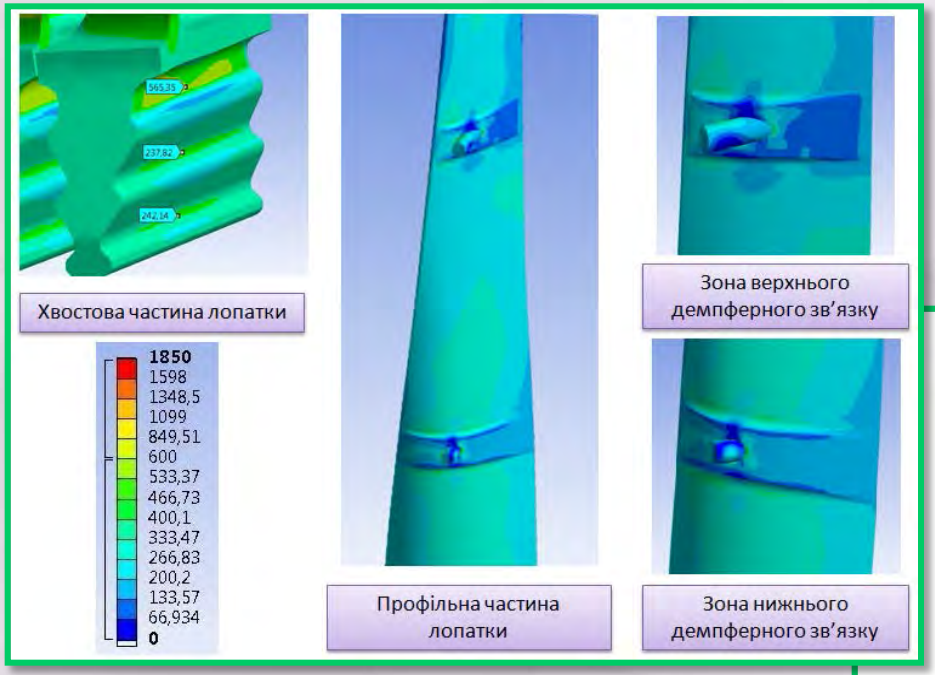
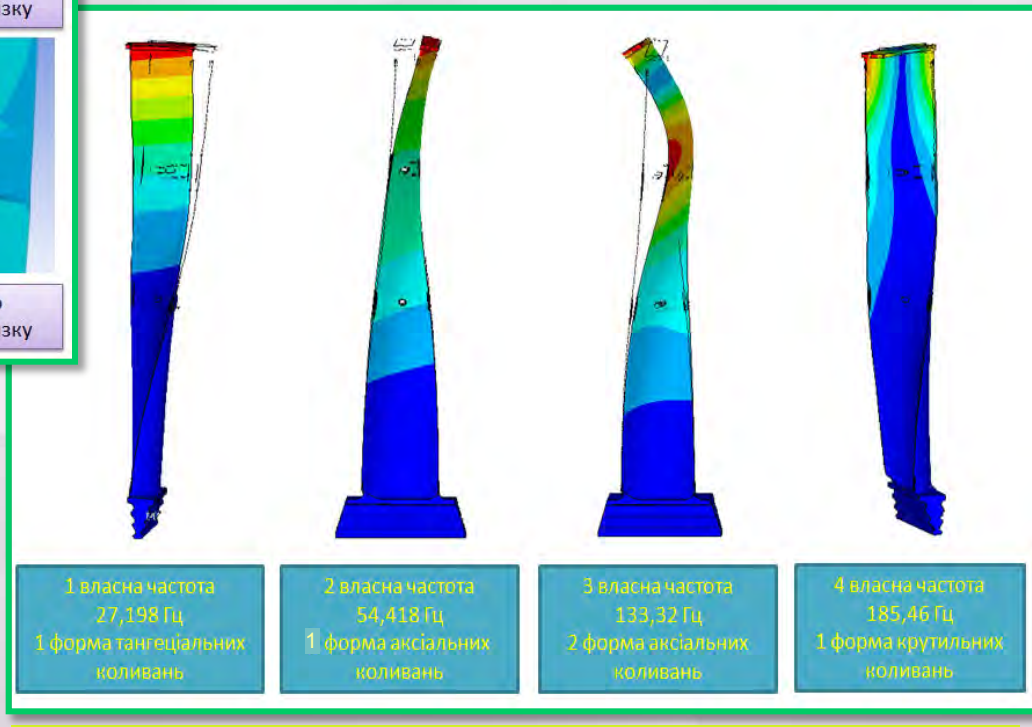


Схема вигину перемичок

Науково-технічні розробки для забезпечення міцності і динаміки роторів

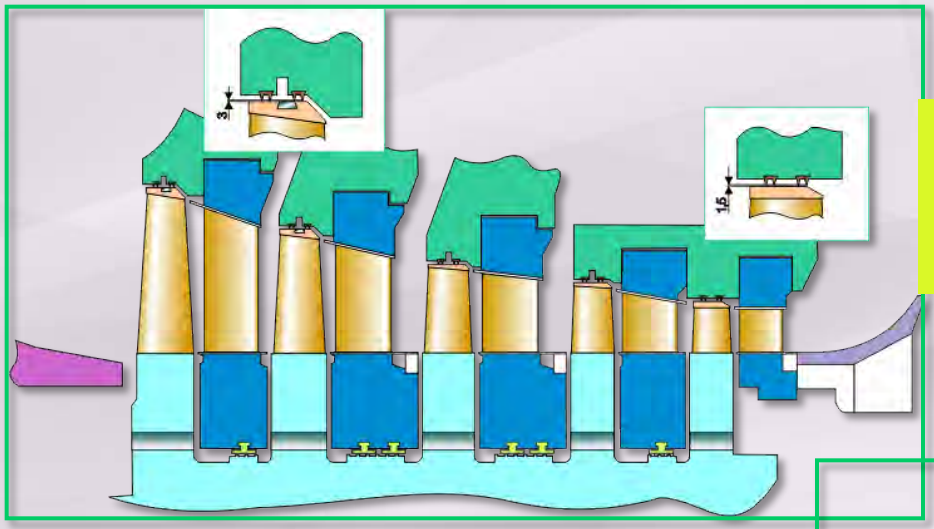


Напруження в лопатці від відцентрових сил

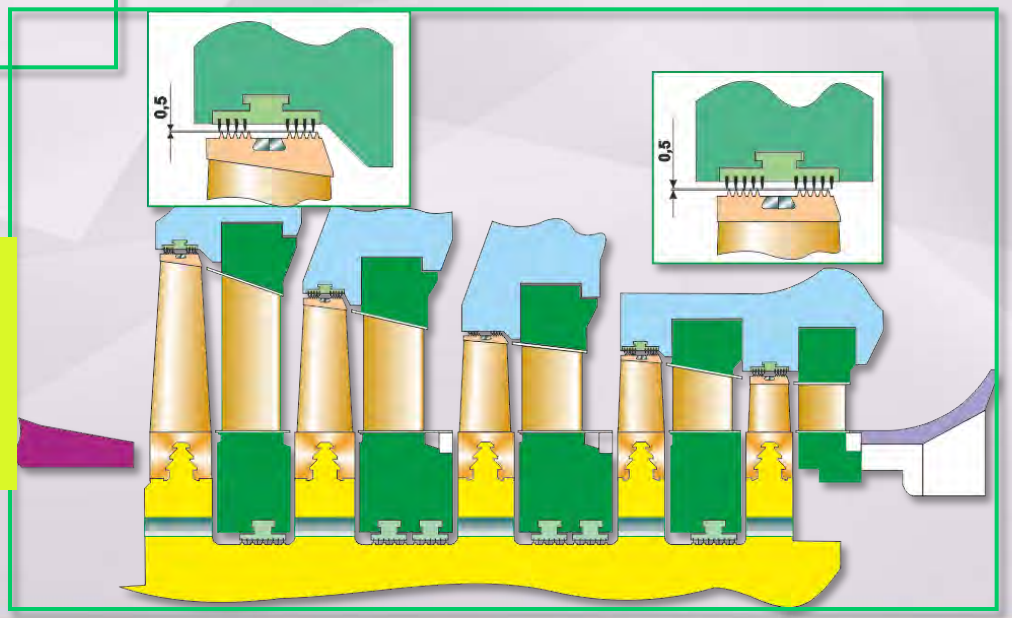


Вібраційні характеристики робочої лопатки

Розробка і постачання роторів та їх елементів для електростанцій України в рамках задач імпортозаміщення

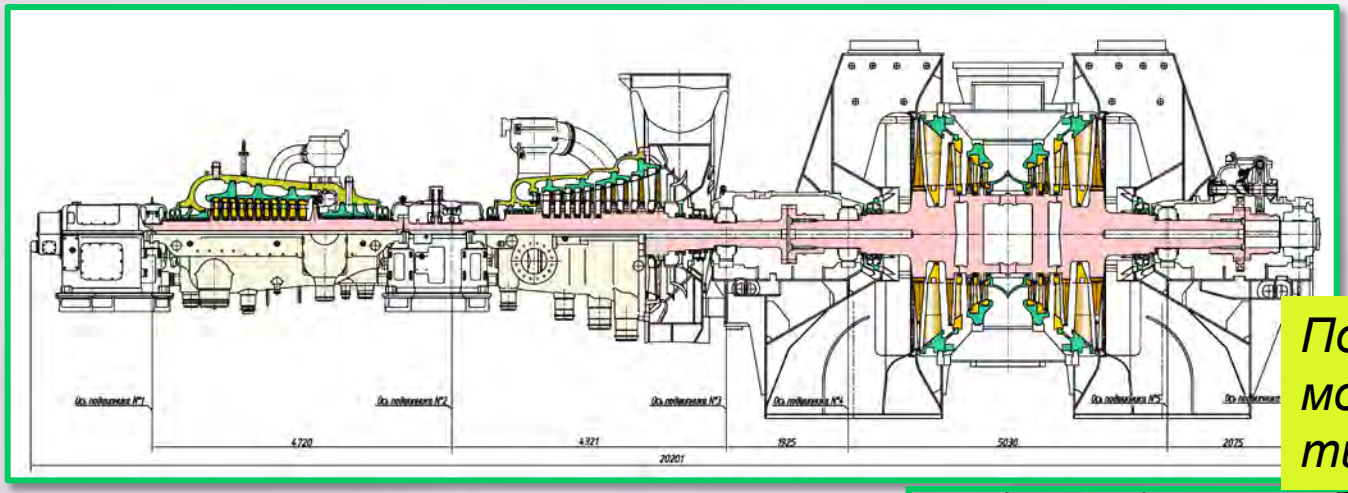


Немодернізована проточна частина ЦВТ турбіни К-1000-60/3000 з ротором виробництва ЛМЗ, Росія

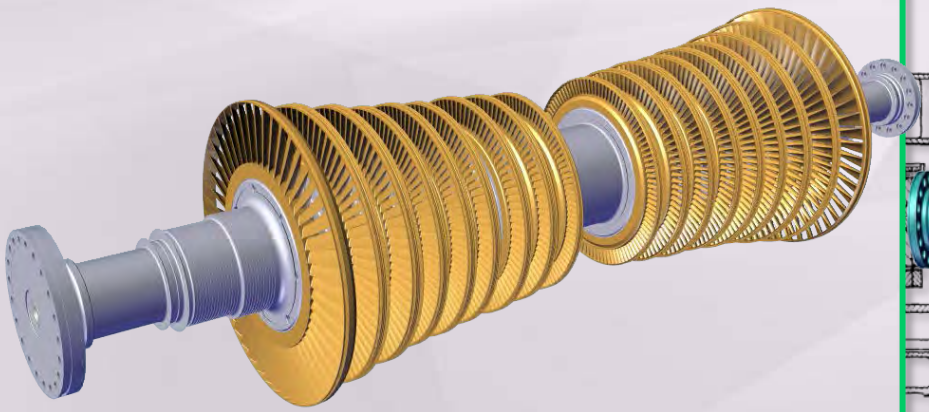


Модернізована в АТ «Турбоатом» проточна частина ЦВТ турбіни К-1000-60/3000 виробництва ЛМЗ, Росія з новим ротором

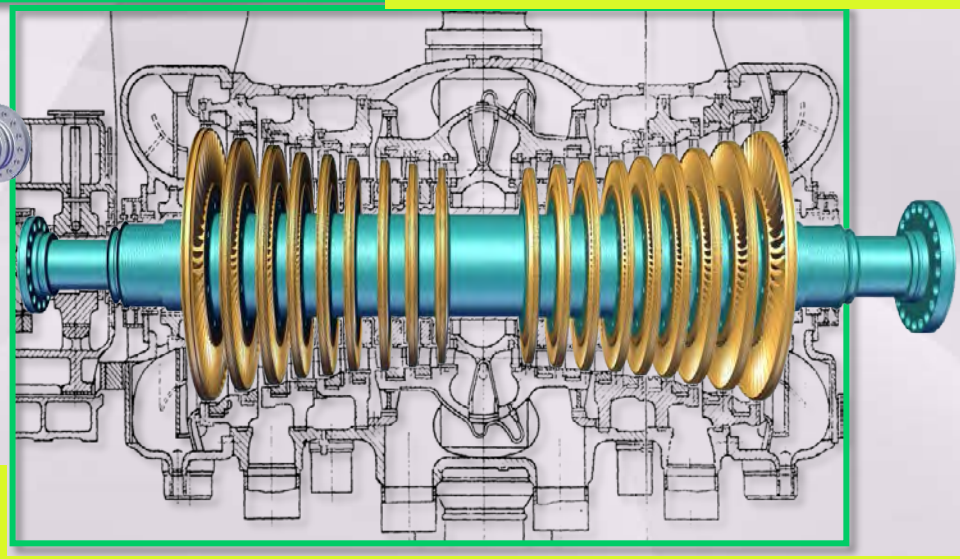
Розробка і постачання роторів та їх елементів для електростанцій України в рамках задач імпортозаміщення



Подовжній розріз модернізованої турбіни типу К-220-130

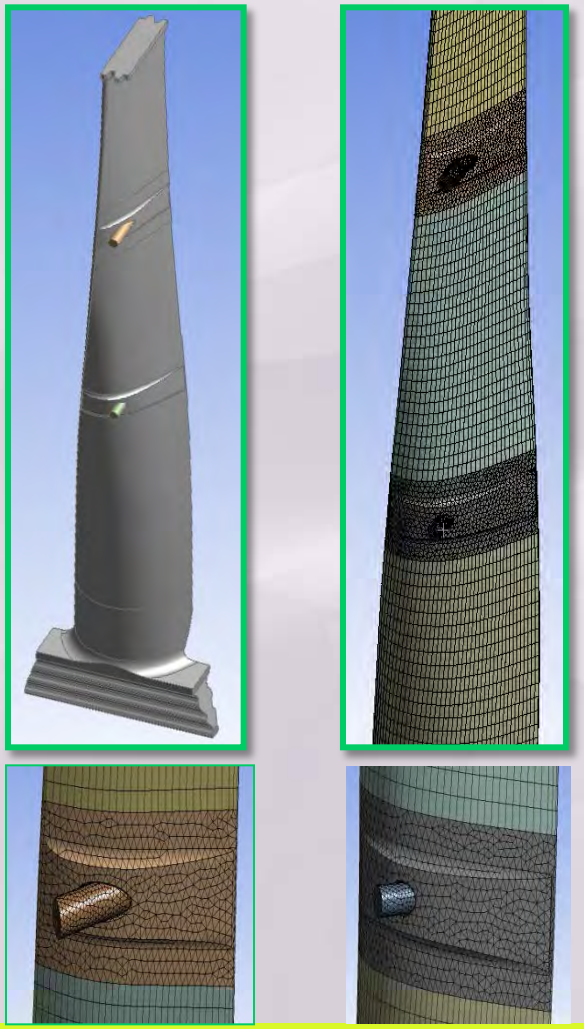


3D модель ротора середнього тиску модернізованої турбіни типа К-800-240-2



Циліндр середнього тиску турбіни К-800-240-2

Розробка і постачання роторів та їх елементів для електростанцій України в рамках задач імпортозаміщення



3D модель робочої лопатки з титанового сплаву і сітка скінчених елементів

Контрольна збірка робочих лопаток з титанового сплаву на технологічному диску

Ресурс лопатки останнього ступеня завдовжки 1200 мм ротора низького тиску :

- АТ «Турбоатом» – 160 тис. годин
- ЛМЗ, Росія – 100 тис. годин