

О. К. МОРАЧКОВСЬКИЙ, В. В. ДМИТРИК, О. П. УСАТИЙ,
Б. П. ЗАЙЦЕВ, В. Ю. СКУЛЬСЬКИЙ, М. М. ГРИШИН, Ю. Г. ПАЩЕНКО,
О. Г. КАНТОР, О. В. КОНОВАЛЕНКО

СТВОРЕННЯ РОТОРІВ ТУРБІН ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ

монографія

Харків
2018

Рецензенти:

О. Л. Шубенко, д-р техн. наук, професор, член кореспондент НАН України, лауреат державної премії України в галузі науки і техніки. Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного Національної академії наук України

В. П. Суботович, д-р техн. наук, професор, лауреат державної премії України в галузі науки і техніки. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**О. К. Морачковський, В. В. Дмитрик, О. П. Усатий, Б. П. Зайцев, В. Ю. Скульський,
М. М. Гришин, Ю. Г. Пашенко, О. Г. Кантор, О. В. Коноваленко**

Створення роторів турбін великої потужності: монографія / О. К. Морачковський, С11 В. В. Дмитрик, О. П. Усатий, Б. П. Зайцев, В. Ю. Скульський, М. М. Гришин, Ю. Г. Пашенко, О. Г. Кантор, О. В. Коноваленко – Харків: ФОП Панов А.М., 2018. – 225 с.

ISBN 978-617-7722-77-8

Монографія присвячена вирішенню важливої науково-технічної проблеми, пов'язаної зі створенням роторів парових турбін для заміни і модернізації їх в турбоагрегатах ТЕС і АЕС, що виробили свій ресурс. Реалізація поставленого завдання базується на комплексі наукових досліджень, спрямованих на оптимізацію проточної частини осевих турбін, зокрема, елементів роторів парових турбін - робочих лопаток, а також на комплексі науково-технічних розробок, що забезпечують динаміку і міцність роторів.

Особливу увагу приділено створенню зварних роторів циліндрів низького тиску, показані їх переваги перед роторами інших типів. Грунтуючись на досвіді проектування, виготовлення і експлуатації роторів різних типів, обґрунтовано рішення про застосування в суміщеному циліндрі середнього і низького тисків турбіни нового покоління К-325-23.5 зварюваного ротора з різних матеріалів.

Значне місце у вирішенні проблеми займають матеріали по розробці методики прогнозування безпеки ТЕС або АЕС при гіпотетичному руйнуванні зварного ротора турбіни і в зв'язку з цим запропоновані методи підвищення конструктивної міцності кореня зварного шва вузлів зварних роторів.

На базі новітніх наукових і конструкторських розробок авторами створені і освоєні в виробництві та експлуатації зварні ротори турбіни нового покоління К-325-23.5, К-310-23.5, К-320-23.5 для ТЕС і в турбінах потужністю 100... 1100 МВт для АЕС.

Монографія може бути корисною для науково-технічних працівників організацій енергетичного профілю, експлуатаційного персоналу ТЕС, ТЕЦ та АЕС, аспірантів та студентів енергетичних спеціальностей.

УДК 621.165

ISBN 978-617-7722-77-8

©О. К. Морачковський, В. В. Дмитрик,
О. П. Усатий, Б. П. Зайцев,
В. Ю. Скульський, М. М. Гришин,
Ю. Г. Пашенко, О. Г. Кантор,
О. В. Коноваленко, 2018

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	7
1 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЙОГО ПОТЕНЦІАЛУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТРАТЕГІЇ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2035 р.....	11
1.1 Характеристика та технічний стан турбінного устаткування на теплових і атомних електростанціях	11
1.2 Питання створення нових і модернізації енергоблоків що експлуатуються.....	13
2 ПАРОВІ ТУРБИНИ ВИРОБНИЦТВА АТ «ТУРБОАТОМ».....	20
3 ТИПИ РОТОРІВ ПАРОВИХ ТУРБІН, ВИКОРИСТОВУВАНІ МАТЕРІАЛИ, ПЕРЕВАГИ ЗВАРНИХ РОТОРІВ.....	23
4 МЕТОДОЛОГІЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНО ДОСКОНАЛОГО ОБЛОПАЧЕННЯ РОТОРІВ ПАРОВИХ ТУРБІН.....	31
4.1 Математичне моделювання.....	33
4.1.1 Одномірна математична модель турбінного ступеня.....	33
4.1.2 Математична модель одновимірної течії робочого тіла в багатоступеневій проточній частині.....	36
4.1.3 Математична модель вісесиметричної течії реального робочого тіла в проточній частині багатоступеневої осьової турбіни.....	38
4.2 Розробка єдиного інтегрованого інформаційного простору підсистеми оптимізації проточної частини парових турбін.....	42
4.3 Розробка методів оптимізації.....	46
4.4 Опис контуру турбінних профілів за допомогою ВіАгс-кривих.....	53
4.5 Оптимізація робочих решіток ротора з використанням геометричних критеріїв якості обводів профілю і каналу.....	62
5 КОНСТРУЮВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗВАРНИХ РОТОРІВ ПАРОВИХ ТУРБІН.....	76
6 НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РОЗРОБКИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ І ДИНАМІКИ РОТОРА.....	85
6.1 Розробка методики розрахунку на міцність роторів від відцентрових сил при обертанні в осесиметричній і тривимірній постановках.....	86

6.2 Вільні і вимушені коливання окремих і багатопрогонових роторів на пружно-демпферних опорах.....	89
6.3 Крутильні коливання валу турбіни при раптовому короткому замиканні генератора. Розробка розрахункової моделі.....	95
6.4 Розрахунок динаміки системи турбоагрегат-фундамент-основа енергоблоків при сейсмічних збудженнях	106
6.5 Коливання й напруженість ротора парової турбіни з дефектом у вигляді поперечної тріщини.....	119
7 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ РОТОРІВ.....	132
7.1 Конструкторсько - технологічне проектування роторів.....	133
7.2 Технологія зварювання. Застосовуване обладнання.....	136
7.3 Перспективи розвитку.....	168
8 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ БЕЗПЕКИ АЕС АБО ТЕС ПРИ ГІПОТЕТИЧНОМУ РУЙНУВАННІ РОТОРУ ТУРБІНИ.....	170
9 МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ЗВАРНОГО РОТОРУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТУРБІН ТЕС І АЕС.....	196
9.1 Оцінка опірності роторів крихким руйнуванням.....	196
9.2 Розробка методів підвищення конструктивної міцності кореня зварного шва вузлів зварних роторів.....	201
ВИСНОВКИ.....	210
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	212