

ЗМІСТ

1. Особливості конструкції багаточиліндрових турбін	3
2. Вихідні дані для проектування	21
3. Інформаційний пошук	28
4. Попереднє оцінювання процесу течії пари в проточній частині турбіни	34
5. Побудова процесу течії пари в турбіні на $h-s$ -діаграмі	47
6. Оцінювання регенеративних і теплофікаційних відборів пари ...	59
7. Розрахунок проточної частини циліндра високого тиску	67
7.1. Розрахунок регулюючого ступеня	74
7.2. Розрахунок нерегульованих ступенів	85
8. Розрахунок проточної частини циліндра середнього тиску	107
9. Розрахунок проточної частини циліндра низького тиску	128
10. Оцінювання отриманих результатів	151
Список літератури	156

1. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОЦИЛІНДРОВИХ ТУРБІН

У багатоступінчастих парових турбінах значної потужності ступені прийнято групувати в окремі корпуси (циліндри), кожен з яких має свій ротор, опори, зовнішній корпус, підвідні та відвідні патрубки і т. п. (рис. 1 та 2).

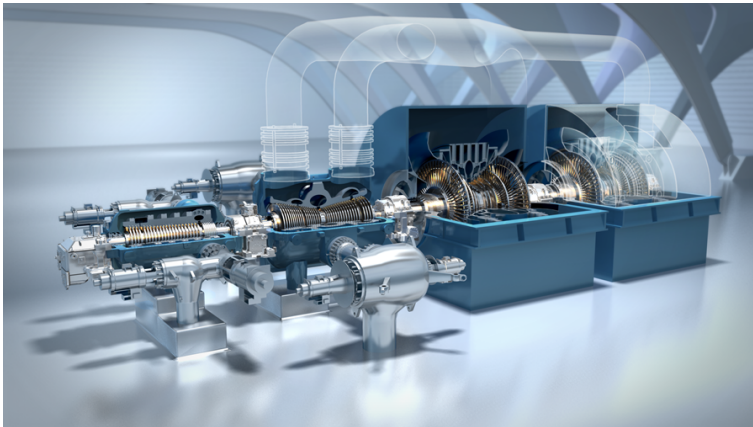


Рис. 1. Одновальна чотирициліндрова турбіна STF 60 компанії "Alstom S.A."

Чим більшою є потужність, яка генерується турбіною, тим на більшу кількість окремих циліндрів її доцільно розбивати.

У даний час одноциліндровими випускають турбіни потужністю, що звичайно не перевищує 50...80 МВт.

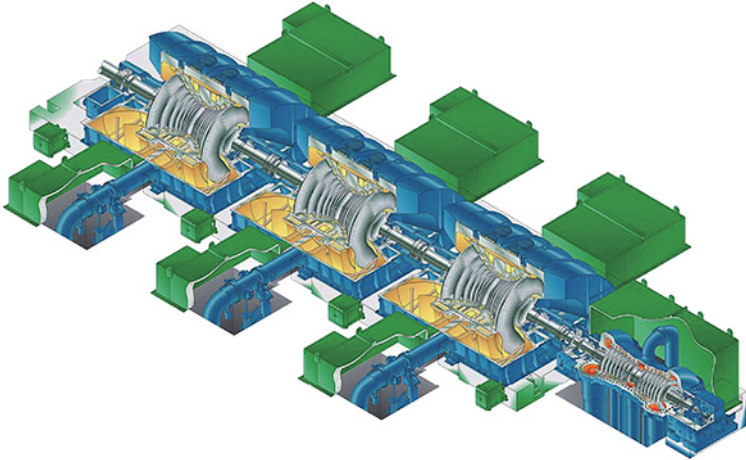


Рис. 2. Схема чотирициліндрової турбіни компанії "Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd."

Діапазон потужності стаціонарних багатоциліндрових турбін зумовлює їх використання головним чином для приводу генераторів електричного струму.

У порівнянні з одноциліндровими турбінами, багатоциліндрові турбіни, як правило, є більш довгими, важкими, дорогими та більш складними у виготовленні й експлуатації, проте мають також і ряд **переваг**.

1) Ці турбіни дозволяють забезпечити оптимальну довжину лопаток усіх ступенів.

Конструкція ступенів турбіни та розміри деталей її проточної частини в значній мірі залежать від об'ємної витрати пари. Від перших ступенів турбіни до останніх питомий об'єм пари значно зростає. Так, наприклад, при параметрах пари на вході 23,5 МПа та 540 °С питомий об'єм пари у 2500 разів

менший від питомого об'єму пари за останнім ступенем турбіни при тиску на виході 3,4 кПа [11, с. 139]. Це означає, що якщо розташувати всі ступені турбіни на одному діаметрі в один потік, то довжина лопаток останнього ступеня буде в 2500 разів перевищувати довжину лопаток першого ступеня.

З одного боку, надзвичайно малі довжини лопаток перших ступенів спричинять у них високі втрати – кінцеві – від витоків крізь радіальні зазори облопачування та ін., тобто призведуть до низьких ККД цих ступенів і всієї проточної частини. З іншого боку, значна довжина лопаток останніх ступенів спричинить труднощі технологічного та міцнісного характеру, оскільки навантаження від відцентрових сил та вібраційні навантаження пропорційні довжині лопаток.

Розміщення проточної частини в кількох корпусах (циліндрах) дає можливість збільшити довжину лопаток перших ступенів турбіни шляхом розташування їх на відносно меншому діаметрі та зменшити довжину лопаток останніх ступенів розташуванням їх на відносно більшому діаметрі.

Зниженню довжини лопаток групи ступенів низького тиску також значною мірою сприяє поділ руху пари на декілька паралельних потоків. Конструктивно це можна забезпечити, по-перше, застосуванням двопотокової схеми в окремих циліндрах; по-друге, паралельним включенням кількох циліндрів. На практиці часто поєднують обидва варіанти.

2) Багатоциліндрові турбіни внаслідок розташування більшої кількості опор дозволяють підвищити жорсткість валопроводу.

У турбінах великої потужності перероблюється значний теплоперепад. Для його раціонального використання потрібно багато ступенів. При цьому, якщо виконати турбіну в одному корпусі (циліндрі), то буде потрібно мати дуже довгий ротор з великою відстанню між опорними підшипниками. Ротор турбіни буде гнучким, і його вібраційні

характеристики будуть незадовільними. При розташуванні турбіни в окремих корпусах ротор кожного циліндра має помірну довжину і спирається на свої підшипники.

Труднощі із забезпеченням нормального вібраційного стану довгого валопроводу є причиною того, що одновальну парову турбіну, яка складалась би більше ніж із п'яти циліндрів, виготовити в даний час не вдається [11, с. 144].

3) У багатоциліндрових турбінах зручніше організоване відведення пари на проміжний перегрів та зворотне її підведення до турбіни.

Як зазначається в [10, с. 57], до багатоциліндрової конструкції природним шляхом приводить і використання проміжного перегріву пари, коли пара виводиться з турбіни в котел і потім повертається в турбіну. Конструктивно це простіше здійснити при розділених групах ступенів високого і середнього тисків.

Багатоциліндрові парові турбіни за **числом валів** поділяються на такі:

- одновальні;
- багатовальні.

В одновальних турбінах вали всіх циліндрів з'єднані між собою в одне механічне ціле і лежать на одній прямій. Між окремими валами можуть знаходитися зубчасті передачі (редуктори), що дещо зміщує лінії вала, але не змінює класифікаційної ознаки. Одновальна турбіна приводить у дію один споживач (електрогенератор).

Багатовальні турбіни являють собою агрегати, що складаються з двох або трьох паралельно розташованих одновальних циліндрів, пов'язаних спільністю теплового процесу. Число механізмів, які приводяться багатовальною турбіною, може дорівнювати числу окремих валів.

Стаціонарні багатоциліндрові турбіни виконуються в даний час, як правило, одновальними (т. зв. **tandem-compound turbine**) (рис. 3).

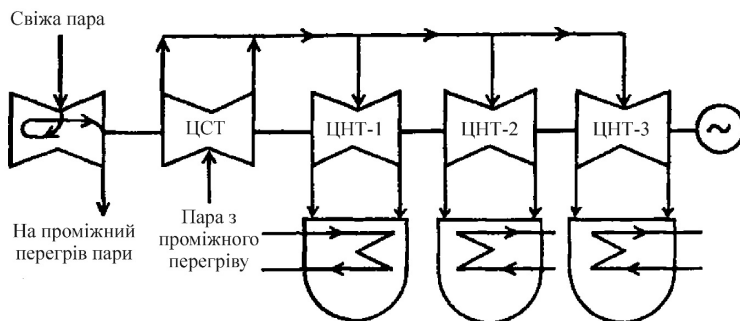


Рис. 3. Схема одновальної п'ятициліндрової турбіни з трьома циліндрами низького тиску

Число циліндрів таких турбін становить від двох до чотирьох і лише в окремих конструкціях досягає п'яти. За рухом пари є можливим послідовне проходження не більше трьох окремих циліндрів, які мають відповідно назви "циліндр високого тиску" (ЦВТ), "циліндр середнього тиску" (ЦСТ) та "циліндр низького тиску" (ЦНТ)¹.

З метою зменшення довжини лопаток ступенів, які працюють в області низького тиску, до складу турбін можуть бути включені два-три паралельно працюючих ЦНТ.

Можливі схеми включення окремих циліндрів показані на рис. 4.

¹ Термін "циліндр", який застосовується до окремих корпусів парових турбін, історично успадкований ними від парових машин. У 1804 р. англійський інженер Артур Вульф запропонував першу складену (компаундну) парову машину т. зв. "подвійного розширення", в якій пара з котла надходила спочатку в циліндр високого тиску, а потім, відпрацювавши в ньому, в циліндр (або циліндри) низького тиску. Така конструкція надалі набула повсюдного поширення і згодом була доопрацьована до "потрійного розширення" додаванням циліндра середнього тиску.

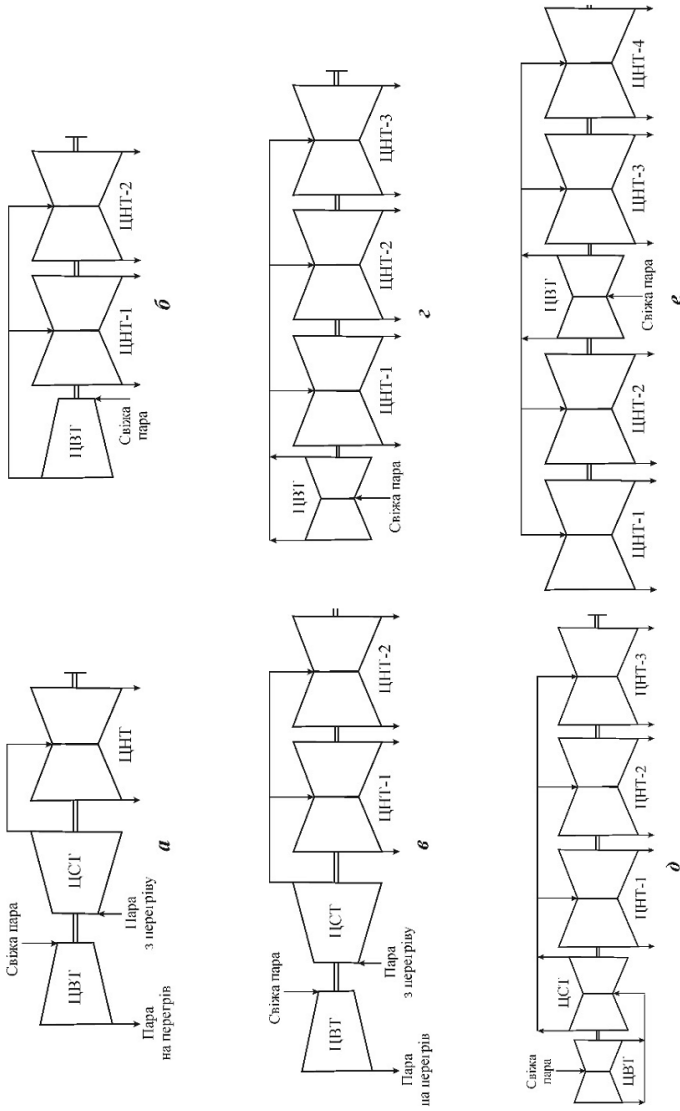


Рис. 4. Схеми одновальних багатопциліндрових турбін [8, с. 189–190]:
a – К-200-130 "ЛМЗ"; *б* – К-220-44 ПАТ "Турбоатом"; *в* – К-500-130 "ЛМЗ"; *г* – К-1000-60/1500-2 ПАТ "Турбоатом"; *д* – К-1000-60/1500-1 ПАТ "Турбоатом"; *е* – К-1000-60/3000 "ЛМЗ"

У табл. 1 наведенi характеристики одновальних турбiн великої потужності рiзних фiрм-виробникiв, на рис. 5–9 – компонування та зовнiшній вигляд багатociлiндрових парових турбiн компанії "Siemens AG" [2, 15, 17].

Таблиця 1. Характеристики парових турбiн великої потужності

Марка турбiни	Потужність, МВт	Максимальні початкові параметри пари		Число цилiндрiв
		Тиск, МПа	Температура, °С	
ОАО "Силовые машины" ("ЛМЗ")				
К-100-90-7	100	8,82	535	2 (ЦВТ + ЦНТ)
К-210-130-8	210	12,8	535	3 (ЦВТ + ЦСТ + ЦНТ)
К-300-240-3	300	23,5	540	3 (ЦВТ + ЦСТ + ЦНТ)
К-500-240-4	500	23,5	540	4 (ЦВТ + ЦСТ + 2 ЦНТ)
К-800-240-5	800	23,5	540	5 (ЦВТ + ЦСТ + 3 ЦНТ)
К-1000-60/3000	1030	5,88	274	5 (ЦВТ + 4 ЦНТ)
К-1200-240-3	1200	23,5	540	5 (ЦВТ + ЦСТ + 3 ЦНТ)
ПАТ "Турбоатом"				
К-160-130	160	12,8	565	3 (ЦВТ + ЦСТ + ЦНТ)
К-220-44-3	220	4,31	255	3 (ЦВТ + 2 ЦНТ)
К-300-240	300	23,5	560	3 (ЦВТ + ЦСТ + ЦНТ)
К-540-240-2	500	23,5	540	4 (ЦВТ + ЦСТ + 2 ЦНТ)
К-750-65/3000	800	6,37	280	5 (ЦВТ + 4 ЦНТ)
К-1000-60/1500-1	1040	5,88	274	5 (ЦВТ + ЦСТ + 3 ЦНТ)
К-1000-60/1500-2	1025	5,88	274	4 (ЦВТ + 3 ЦНТ)
"Alstom S.A."				
MT	60...100	12,0...14,0	540...565	1
STF 15S	120...175	12,0...17,5	535...565	2 (ЦВТ + ЦНТ)
STF 25	210...275	14,0...17,5	535...540	2 (ЦВТ + ЦНТ)
STF 40	300...400	16,5...17,5	535...540	3 (ЦВТ + ЦСТ + ЦНТ)
STF 60	600...730	16,5...17,5	535...540	4 (ЦВТ + ЦСТ + 2 ЦНТ)
STF 100	700...1000	27,5	600	5 (ЦВТ + ЦСТ + 3 ЦНТ)
"Siemens AG"				
SST-600	50...150	16,5	565	1
SST-900	70...250	16,5	585	1
SST-3000	90...250	17,7	565	2 (ЦВТ + ЦНТ)
SST-4000	100...380	10,5	565	2 (ЦВТ + ЦНТ)
SST-5000	200...500	17,7...26,0	600	2 (ЦВТ + ЦНТ)
SST-6000	300...1200	33,0	610	4 (ЦВТ + ЦСТ + 2 ЦНТ)
SST-9000	1000...1900	8,0	310	4 (ЦВТ + 3 ЦНТ)

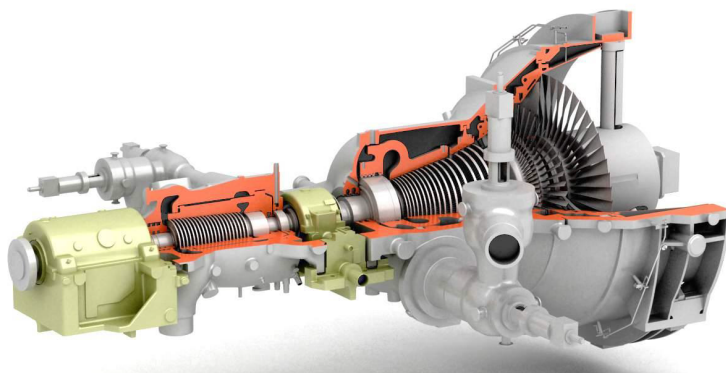


Рис. 5. Двоциліндрова парова турбіна SST-3000
компанії "Siemens AG"