

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
1. Вихідні дані для проектування .....	4
2. Інформаційний пошук.....	17
3. Попередня оцінка процесу течії пари в проточній частині турбіни .....	21
4. Оцінка регенеративних і теплофікаційних відборів пари .....	34
5. Розрахунок проточної частини турбіни .....	41
5.1. Розрахунок регулюючого ступеня .....	52
5.2. Розрахунок нерегульованих ступенів.....	65
6. Оцінка отриманих результатів .....	111
Список літератури .....	115



## **ВСТУП**

В одноциліндрових парових турбінах усі ступені згруповані в одному корпусі (циліндрі). Оскільки одноциліндрові турбіни рідко виконують двопотоковими (винятком з відомих конструкцій можуть служити турбіни атомних криголамів типу "Арктика"), їх максимальна потужність багато в чому обмежена тими ж факторами, що і гранична потужність однопотокових турбін (див., наприклад, [12, с. 141–144]). У даний час одноциліндровими випускають турбіни потужністю, що, як правило, не перевищує 50...80 МВт.

Даний діапазон потужності визначає широкі можливості функціонального призначення таких турбін. Одноциліндрові турбіни можуть використовуватися як енергетичні – для приводу електричного генератора, включеного в енергосистему, і відпуску тепла великим споживачам, наприклад, житловим районам, містам і под. Одноциліндрову конструкцію мають практично всі промислові турбіни, призначені для обслуговування промислового підприємства, наприклад, металургійного, текстильного, хімічного та ін. Такі турбіни використовуються для приводу механізмів (компресорів для хімічної промисловості, нагнітачів коксового газу, вентиляторів котлів для спалювання газу і мазуту тощо), а також можуть працювати на місцеву електричну мережу. Одноциліндрові турбіни знаходять застосування і як суднові – для забезпечення руху судна та його енергопостачання.

## 1. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ

При конструюванні і розрахунку проточної частини парових турбін зазвичай задають такі величини:

- 1) тип турбіни за характером теплового процесу;
- 2) номінальна потужність турбоагрегату  $N_e$ ;
- 3) початкові параметри пари перед турбіною (тиск  $p_0$  і температура  $t_0$ );
- 4) параметри пари (тиск  $p_{п.п}$  і температура  $t_{п.п}$ ) після проміжного перегріву (якщо є проміжний перегрів пари);
- 5) тиск відпрацьованої пари  $p_k$ ;
- 6) температура живильної води на виході із системи регенерації  $t_{ж.в}$ ;
- 7) параметри (тиск і витрата) регульованих відборів пари (на виробничі потреби та (або) опалення);
- 8) частота обертання ротора турбіни  $n$ .

За **характером теплового процесу** розрізняють парові турбіни:

- конденсаційні;
- теплофікаційні;
- спеціального призначення.

**Конденсаційні турбіни** служать для перетворення максимумно можливої частини тепла пари в механічну роботу (тобто генерують тільки механічну енергію). Ці турбіни працюють з випуском відпрацьованої пари в конденсатор, де

підтримується глибокий вакуум. У поєднанні з генераторами змінного електричного струму турбіни цього типу є в даний час основним обладнанням теплових і атомних електростанцій.

Згідно із чинними в даний час стандартами конденсаційним турбінам присвоюється при маркуванні літера "К".

**Теплофікаційні турбіни** призначені для спільного генерування механічної і теплової енергії. Теплова енергія віддається споживачеві з проміжних або останніх ступенів турбіни у вигляді пари і служить для виробничих потреб та (або) опалення.

Теплофікаційні турбіни мають кілька різновидів:

**1) тип Р – турбіни з протитиском.**

У таких турбінах уся відпрацьована пара йде на теплофікацію. Розширення пари в турбінах зазвичай ведеться до більшого тиску, ніж атмосферний (від 0,12 до 0,50 МПа, а іноді і вище), що дозволяє використовувати пару у відповідних теплообмінниках для виробничих або побутових потреб (опалення, варіння, сушіння тощо). Сталість тиску відпрацьованої пари у цих турбінах підтримується за допомогою спеціальних регуляторів тиску;

**2) тип П – турбіни з виробничим відбором пари;**

**3) тип Т – турбіни з опалювальним відбором пари.**

Турбіни типів П і Т мають регульовані відбори частини пари з проміжних ступенів, відповідно, на виробничі потреби та опалення. Решта ж пари, відпрацювавши в турбіні, йде в конденсатор. Тиск пари, яка відбирається від цих турбін, підтримується в певних межах за допомогою спеціальних регуляторів тиску;

**4) тип ПТ – турбіни з виробничим і опалювальним відборами пари.** У таких турбінах реалізовані водночас два регульовані відбори пари, відповідно, на виробничі потреби та опалення;

5) **тип ПР – турбіни з протитиском і виробничим відбором пари;**

6) **тип ТР – турбіни з протитиском і опалювальним відбором пари;**

7) **тип ПТР – турбіни з виробничим, опалювальним відборами пари і протитиском.** У турбінах типу ПР, ТР і ПТР частина пари відводиться з одного або декількох проміжних ступенів для потреб виробництва та (або) опалення, а відпрацьована пара також направляєється на теплофікацію (як правило, опалення);

8) **тип КТ – турбіни конденсаційні з нерегульованим відбором пари на опалення.**

Необхідно відзначити, що теплофікаційні турбіни крім регульованих відборів пари зазвичай мають ще й нерегульовані відбори для регенерації.

До турбін спеціального призначення можуть бути віднесені:

1) **турбіни м'ятої пари**, які використовують для отримання механічної енергії відпрацьовану пару парових молотів, пресів і поршневих машин; тиск цієї пари зазвичай дещо вищий від атмосферного;

2) **турбіни двох і трьох тисків**, що використовують пару, яка надходить від різних джерел. Наприклад, свіжа пара надходить у перші ступені турбіни, а відпрацьована пара парових молотів, поршневих машин і под. – у проміжні ступені. Турбіни даного типу також часто працюють у складі парогазових установок;

3) **передвключені турбіни.** Це турбіни з високим протитиском – 1,5...3,0 МПа. Пара після них використовується для роботи в іншій турбіні. Передвключені турбіни зазвичай працюють при високих параметрах свіжої пари (6...22 МПа)

і застосовуються у стаціонарній енергетиці для надбудови<sup>1</sup> електростанцій середніх параметрів з метою підвищення економічності їх роботи;

4) **післявключені турбіни** застосовуються при модернізації енергоблоків, заснованих на використанні турбін з протитиском. Оскільки внаслідок ряду причин відпрацьована пара з протитиском перестала знаходити застосування для виробничих потреб, то її направляють на післявключені турбіни для виробництва електроенергії.

**Номінальною потужністю турбоагрегату** називають ту найбільшу потужність, яка може розвиватися електричним генератором (для турбіни, що приводить в обертання механізми, заміряється на її вихідному фланці) протягом практично будь-якого відрізка часу не тільки при номінальних параметрах пари, але і при їх відхиленні від номінальних, вказаних у технічних умовах на постачання турбоагрегату (при зниженні початкового тиску, погіршенні вакууму тощо).

Поряд з номінальною потужністю для парових турбін використовують також поняття **максимальної потужності**, яка перевищує номінальну потужність при відхиленні параметрів пари від номінальних значень (наприклад, при поглибленні вакууму, підвищенні тиску перед турбіною в допустимих межах) та відключенні відборів пари (регенеративних і теплофікаційних).

Як **початкові параметри пари** беруть її тиск і температуру перед стопорним клапаном турбіни. Тиск пари за котлом вищий від тиску перед стопорним клапаном на величину гідравлічних втрат у паропроводі між котлом і турбіною.

---

<sup>1</sup> Під **надбудовою електростанції** розуміють установлення на ній котлів високого, надвисокого або надкритичного тисків і передвключених турбін як блока високого тиску на базі існуючої станції середнього тиску.

Температура пари за котлом також вища від температури перед стопорним клапаном унаслідок втрат теплоти від стінок паропроводу в навколишнє середовище.

Задання початкових параметрів пари повинно проводитися у відповідності до діючих нормативних документів. Так, наприклад, згідно з розробленим ОАО "Всероссийский теплотехнический институт" у 2008 р. стандартом СТО 702388424.27.040.004–2008 "Паротурбінні установки. Умови поставки. Норми і вимоги" при виборі потужності й параметрів пари для розроблюваних і реновації відпрацювавших свій ресурс паротурбінних установок (ПТУ) російським компаніям слід керуватися типовим рядом, наведеним у табл. 1, оскільки він за своїми параметрами близький до модельного ряду паротурбінних установок, які вже освоєні вітчизняними і закордонними фірмами або знаходяться у стадії розробки [11, с. 7].

Таблиця 1. Типовий ряд потужностей та параметрів пари

Потужність турбіни, МВт	Тиск свіжої пари, МПа	Температура свіжої пари, °С	Температура проміжного перегріву пари, °С
<b>ПТУ малої потужності</b>			
6...50	2,9; 3,4; 8,8	435; 535	–
<b>Неблочні ПТУ</b>			
50...185	12,8	535	–
<b>Блочні ПТУ</b>			
100...185	12,8	535...560	–
180...250	12,8; 23,5	540...580	540...580
300...1200	23,5...30,0	540...600	540...620

Згідно із чинним у Російській Федерації стандартом ГОСТ 24278–89 "Установки турбінні парові стаціонарні для приводу електричних генераторів ТЕС. Загальні технічні вимоги" (дата останньої зміни 20.07.2010) при виборі параметрів стаціонарних установок з паровими турбінами потужністю

50...1600 МВт, з номінальною частотою обертання 3000 об/хв, призначених для приводу генераторів теплових електростанцій, що працюють на органічному паливі, допускається приймати [1, с. 4]:

– потужність турбіни і тиск свіжої пари, зазначені в табл. 2, з відхиленням  $\pm 5\%$ ;

– температури свіжої пари і проміжного перегріву пари, зазначені в табл. 2, з відхиленням  $\pm 8\text{ }^\circ\text{C}$  при температурі до  $535\text{ }^\circ\text{C}$ , а при більш високих температурах  $\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ .

У табл. 2 значення параметрів, що в дужках, допускаються під час виготовлення турбін на вимогу замовника.

**Параметри пари після проміжного перегріву** вказують зазвичай за станом перед відсічними клапанами групи ступенів середнього тиску. Тиск проміжного перегріву вибирають на основі економічних розрахунків за мінімумом витрат на вироблення корисної енергії. Необхідно відзначити, що для характерного для одноциліндрових турбін діапазону потужності застосування проміжного перегріву пари вважається економічно недоцільним (див. табл. 1 і 2).

**Таблиця 2. Параметри установок з паровими турбінами**

Потужність турбіни, МВт	Тиск свіжої пари, МПа	Температура свіжої пари, $^\circ\text{C}$	Температура проміжного перегріву пари, $^\circ\text{C}$
50...100	(9,0); 12,8	(500; 520; 535);	–
100...185	12,8;	555	–
180...215	(16,2; 18,0)	(520; 535; 560);	(520; 535; 560); 540;
160...225 <sup>2</sup>	17,0	540; 560	565
250	(16,2); 23,5	(520; 535);	(520; 535); 540; 560
300...600	(16,2; 18,0);	540; 560	
800...1600	23,5	540; 560	540; 560

<sup>2</sup> Значення потужності турбіни і тиску свіжої пари уточнюються при проєктуванні.

**Тиском відпрацьованої пари** називають тиск у вихідному перерізі випускного патрубку турбіни. Вибір кінцевого тиску пари в турбінах є завданням оптимізації і визначається він на основі техніко-економічних розрахунків за мінімумом витрат на вироблення корисної енергії.

До стаціонарних установок, як правило, не ставлять жорстких вимог щодо маси і габаритів, а тому їх намагаються проектувати з максимальною ефективністю. Тиск і температура конденсації пари в таких випадках повинні забезпечити необхідний температурний напір у конденсаторі між парою та охолоджуючою водою. Для сучасних великих парових турбін при існуючих системах водопостачання температура конденсації пари береться не менше 26...29 °С, що відповідає тиску конденсації 3,5...4,0 кПа [12, с. 21].

Для паротурбінних установок транспортних суден величина кінцевого тиску пари, як правило, береться в інтервалі 4,5...6,0 кПа (відповідає температурі конденсації 31...36 °С); для установок кораблів військово-морського флоту і легких суден, де масогабаритні показники мають більш пріоритетне значення порівняно з економічними, – в інтервалі значень 12...20 кПа (температура конденсації 49...60 °С); для установок підводних апаратів – 25...30 кПа (65...69 °С) [3, с. 20].

У табл. 3 як приклад наведені значення кінцевого тиску пари для деяких одноциліндрових конденсаційних турбін і турбін з конденсацією виробництва ОАО "Калужский турбинный завод" [4].

Для турбін з протитиском тиск відпрацьованої пари визначається залежно від потреб об'єкта енергопостачання. Конкретні значення цього параметра для турбін, що серійно випускаються підприємством ОАО "Калужский турбинный завод", наведені в табл. 4 [4].

**Таблиця 3. Параметри конденсаційних турбін і турбін з конденсацією ОАО "Калужский турбинный завод"**

Марка турбіни	Номінальна потужність, МВт	Абсолютний тиск пари за турбіною, кПа	
		на номінальному режимі	на конденсаційному режимі <sup>3</sup>
К-20-6,1Т	20,0	10,5	–
К-12-4,2	12,0	9,8	–
К-7,5-6,4	7,5	10,6	–
К-6-3,4	6,0	9,95	–
К-6-1,6У	6,0	9,8	–
К-6-1,6	6,0	10,4	–
К-2,5-3,4	2,6	10,0	–
К-4,9-4,4Р	4,9	12,0	–
К-37-3,4	37,0	15,0	–
ПТ-25/30-8,8/1,0-1	25,0	3,5	8,2
ПТ-30/35-3,4/1,0	30,0	3,7	13,2
ПТ-27/35-3,9/1,7	29,3	4,7	19,1
ПТ-29/35-2,9/1,0	29,0	9,1	29,2
ПТ-25-3,4/0,6	25,0	3,5	31,0
ПТ-12/13-3,4/1,0-1	12,5	3,5	6,1
П-25-3,4/0,6	18,2	6,1	9,6
П-6-3,4/1,0	6,0	4,3	5,0
П-6-3,4/0,5-1	6,0	3,5	5,0
П-6-1,2/0,5	6,0	6,0	7,0

<sup>3</sup> Для теплофіксаційних турбін.