

УДК 621.165

**УХУДШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЧНД ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ  
ТУРБИН НА МАЛОРАСХОДНЫХ РЕЖИМАХ  
DEGRADATION OF THE RELIABILITY OF OPERATION OF LPP HEAT-  
ING TURBINES IN LOW-FLOW MODES**

М. П. Кузьмич, А. Ю. Апанасевич, В. А. Вирко  
Научный руководитель – З. Б. Айдарова, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
pte@bntu.by

M. Kuzmich, A. Apanasevich, V. Virko  
Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** ухудшение надежности работы чнд теплофикационных турбин на малорасходных режимах.*

***Abstract:** deterioration of the reliability of the operation of CND heating turbines in low-flow modes.*

***Ключевые слова:** выхлопная часть, корневой вихрь, турбина, часть низкого давления.*

***Keywords:** exhaust part, root vortex, turbine, low pressure part.*

### **Введение**

Часть низкого давления теплофикационных турбин в течение отопительного периода обычно работает с минимальными вентиляционными пропусками пара в конденсатор –  $D_k^{\min}$ . В ряде случаев малорасходные режимы (МР) встречаются и в переходный осенне-весенний и даже летний период. На МР ЧНД существенно изменяется характер течения пара в ней, в частности, рабочий поток пара отрывается от корневых сечений ступеней, а его место у корня занимает обратный со стороны выхлопного патрубка поток, получивший название в литературе корневого вихря. Корневой вихрь захватывая последнюю ступень или несколько ступеней разворачиваясь смешивается с основным рабочим потоком пара в ЧНД. Смешение обоих потоков приводит к понижению общей температуры среды в ЧНД, что может классифицироваться как эффект самоохлаждения. В ряде случаев, при относительно коротких лопатках последних ступеней (турбина Т-110/120-130), самоохлаждение ЧНД обеспечивает допустимый температурный уровень выхлопа в широком диапазоне МР. Однако для большинства современных турбин самоохлаждения ЧНД недостаточно и приходится выполнять специальное охлаждение выхлопной части турбины. К таким турбинам относится уже турбина ПТ-60-130/13 с длиной последней рабочей лопатки 650 мм при среднем диаметре 2000 мм. На примере этой турбины проследим возможные границы изменения  $D_k^{\min}$  и остальных режимных характеристик, влияющих на охлаждение ЧНД (табл. 1).

Таблица 1 – Изменение основных режимных характеристик ЧНД турбины ПТ-60-130/13 при паспортной плотности поворотной диафрагмы (ПД) и расчетном вакууме в конденсаторе

Основные характеристики ЧНД и их размерность	Давление перед ПД, бар				
	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5
Пропуск пара, кг/с	2,1	3,5	5,2	7,0	8,7
КПД ЧНД, %	-180,0	-35,0	+10,0	+24,0	+35,0
Мощность ЧНД, кВт	-283	-157	+72	+366	+717

**Основная часть**

Анализ табл. 1, показывает, что в паспортном диапазоне изменения параметров в наибольшей степени изменяются КПД ЧНД и пропуск пара в него. В условиях эксплуатации эти отклонения могут быть еще более существенными, например, проводимые во время капитальных ремонтов уплотнения поворотной диафрагмы ЧНД уменьшают  $D_k^{min}$  в 5–6 раз, по сравнению с паспортными их значениями. В еще больших пределах изменяется КПД и мощность ЧНД, что приводит к разогреву выхлопной части турбины. Этот разогрев бывает столь значительным, что обгорает краска на выхлопном патрубке. Ощутимо ухудшаются и условия работы последних ступеней, а разогрев выхлопа может стать причиной горячей расцентровки турбины из-за деформации стула последнего подшипника. Надежность работы ЧНД, в таких случаях, требует решения комплекса вопросов: заданной плотности поворотной диафрагмы, охлаждения ЧНД и выхлопной части турбины, обеспечение надежности пускоостановочных режимов, а также режимов с глубокой ночной разгрузкой турбогенераторов. Важным здесь представляется анализ характера развития корневого отрыва в функции величины относительного объемного пропуска пара по состоянию его за последней ступенью –  $GV_k$  (рис. 1).

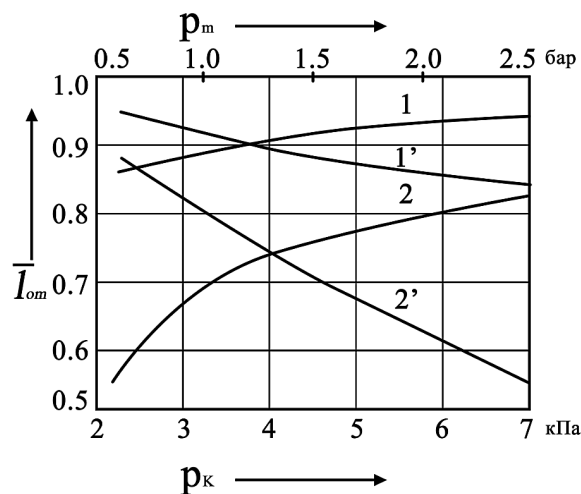


Рисунок 1 – Зависимость величины зоны корневого отрыва в последней ступени турбины ПТ-60-130/13 (ст. № 5) МТЭЦ-3 от давления в конденсаторе ( $P_k$ ) и отопительном отборе ( $P_T$ ): 1,2 –  $P_T = 1,2$  бара,  $P_k = var$ ; 1,2' –  $P_k = 5$  кПа,  $P_T = var$ ; 1,1 – поворотная диафрагма уплотнена в 4 раза; 2,2' – поворотная диафрагма заводской плотности

Эти результаты получены автором на натурной турбине ПТ-60-130/13 МТЭЦ-3 путем аэродинамического зондирования потока в ее ЧНД. Анализ рис. 1 показывает, что при паспортной плотности ПД и расчетных параметрах пара перед ней не менее 60 % лопатки последней ступени занято корневым вихрем и, естественно, уплотнение ПД увеличивает зону отрыва. Тепловой перепад на колесе последней ступени становится отрицательным, то есть колесо начинает потреблять мощность разогревая поток рабочего пара. Во время исследований на натуральных машинах была выявлена значительная нестабильность течения в зоне корневого вихря. Наблюдались случаи изменения зоны активного течения и характеристик потока на ее границе, особенно, температуры (рис. 2, 3).

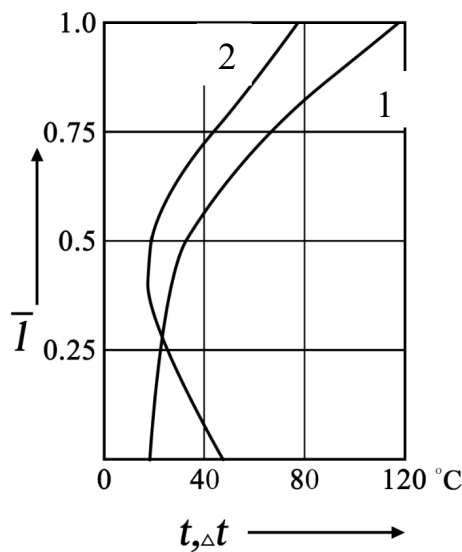


Рисунок 2 – Изменение температуры потока пара на входе в последнюю ступень турбины Т-100-130 (ст. № 7) МТЭЦ-3 вдоль радиуса (1) и ее разницы по замерам слева и справа (2) в плоскости горизонтального разъема на малорасходном режиме ЧНД

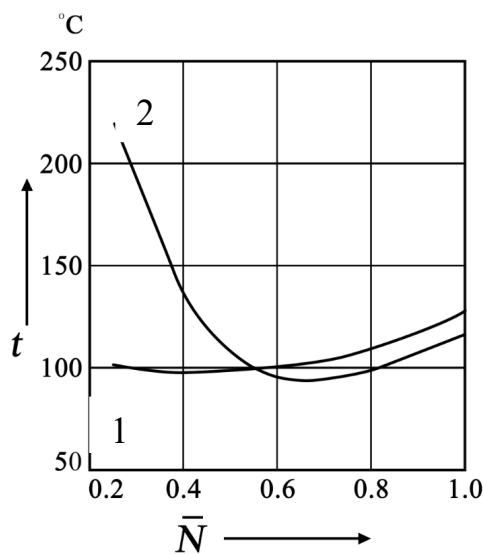


Рисунок 3 – Зависимость температуры пара в верхнем (1) и нижнем (2) отопительных отборах турбины Т-100-130 от глубины ее разгрузки с сохранением номинального расхода сетевой воды через сетевую установку

Это подтверждается и данными других авторов [2, 5]. Температурные режимы ЧНД сильно ухудшаются при привлечении теплофикационных турбин к регулированию графика электрических нагрузок в провальной его части. Это ухудшение начинается еще до ЧНД перед ПД. Разогрев рабочего пара в ЧНД в ряде случаев может превышать 200 °С [1, 2]. На последних лопатках таких турбин замечены даже цвета побежалости свидетельствующие об изменении структуры металла лопаток последней ступени. Все это подтверждает настоятельную необходимость разработки новых более совершенных схем и режимов охлаждения ЧНД.

### **Заключение**

Тензометрические испытания работы облопачивания ЧНД на МР проведенные рядом турбостроительных фирм и научных организаций выявили существенное ухудшение его виброхарактеристик [2]. Показано, что колебания лопаток могут носить даже резонансный характер [3, 6]. Усачевым И. П. выявлен новый возбудитель колебаний рабочих лопаток на МР [6]. Им является обнаруженный еще ранее Лагуном В. П., так называемый, торový вихрь в периферийных сечениях межвенцевого зазора последней ступени [3]. Особенностью торového вихря в последних ступенях турбин на МР является то, что он вращается всегда с постоянной частотой равной примерно половине от рабочей, для быстроходных турбин его частота составляет – 28,5 Гц [6]. Это означает, что вероятность попадания лопаток последней ступени турбины в резонанс по четвертой кратности очень велика.

### **Литература**

1. Фаддеев, И. П., Боровков, В. М. Эрозия рабочих лопаток ЧВД паровых турбин на частичных нагрузках / Боровков, В. М., Фаддеев, И. П., Иванов, В. А. и др. // Изв. Вузов СССР. Энергетика. – 1973. – № 4. – С. 128–129.
2. Оценка разгона эрозионно опасной капельной влаги в осевом зазоре на частичных нагрузках / Боровков В. М., Фаддеев И. П., Иванов В. А. и др. // Изв. Вузов СССР. Энергетика. – 1985. – № 7. – С. 37–42.
3. Фаддеев, И. П. Эрозия влажнопаровых турбин. Л.: Машиностроение. – 1974. – 280 с.
4. Явельский, М. Б., Шилин, Ю. П. Эрозия выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин и мероприятия по ее устранению // Энергомашиностроение. – 1961. – № 10. – С. 11–15.
5. Осипов, А. М., Сидоров, В. В., Хорзеев, Ю. И. Создание и исследование сепараторов предварительного разделения пароводяной смеси для вертикального парогенератора ПГВ–250 // Сб. научн. тр. – 1982. – п. 199. – С. 47–53.
6. Демидова, Л. В., Сорокин, Ю. Л., Допустимые скорости пара и газа для вертикальных и наклонных жалюзийных сепараторов // Энергомашиностроение. – 1972. – № 3. – С. 44.