

Сводная таблица данных теплового баланса

Приход теплоты			Расход теплоты		
Параметр	кВт	%	Параметр	кВт	%
Установленная мощность, $N_{уст}$	72	100	Максимально полезная мощность, $N_{пол.мах}$	6,7	9
			Потери теплопроводностью, $N_{5т}$	34,4	48
			Потери излучением кладкой печи через окно во время загрузки ручек, $N_{5л}$	6	8
			Потери мощности вследствие тепловых коротких замыканий, $N_{5т.к.з}$	24,9	35
Суммарный приход теплоты	72	100	Суммарный расход теплоты	72	100

При реализации предложенных мероприятий, с учетом опыта модернизации подобных печей, для рассматриваемых производственных условий можно ожидать существенного снижения удельного расхода электроэнергии ( в 4–6 раз).

#### Список использованных источников

1. Электрические печи сопротивления: учебное пособие / Е. В. Киселев, В. Б. Кутын, В. И. Матюхин. Екатеринбург : УГТУ – УПИ, 2010. 78 с.
2. Электрические промышленные печи: учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. 1 / А. Д. Свенчанский. Электрические печи сопротивления. Изд. 2-е, перераб. М. : Энергия, 1975. 384 с.

УДК 621.165

### **ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЙ И ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ТУРБИНЫ Т-185/220-130 КИРОВСКОЙ ТЭЦ-5**

### **ASSESSMENT OF DAMAGE AND EROSION WEAR OF THE ROTOR'S BLADES OF THE LAST TURBINE STAGES T-185/220-130 KIROV CHP-5**

Захарова К. С., Татаринова Н. В.

Zakharova K. S., Tatarinova N. V.  
Vyatka State University, Kirov

**Аннотация:** В работе дана оценка повреждений и эрозионного износа рабочих лопаток последних ступеней турбины Т-185/220-130 Кировской ТЭЦ-5 на основе визуального и ультразвукового исследования, приведены фотоснимки повреждений лопаток.

**Abstract:** The assessment of damage and erosion wear of the rotor's blades of last stages of the turbine Т-185/220-130 Kirov CHP-5 based on visual and ultrasonic examination, the photographs of the damages of the blades is done in the work.

**Ключевые слова:** эрозионный износ; рабочие лопатки; входные кромки; теплофикационная паровая турбина.

**Key words:** erosive wear; the blades of the rotor; entrance edge; cogeneration steam turbine.

Присутствие жидкой фазы в рабочем теле паровой турбины вызывает определенные потери энергии в ступенях и приводит к капельной эрозии. Происходит искажение профиля лопатки, хаотический отрыв частиц металла, что в свою очередь значительно ухудшает аэродинамические характеристики проточной части турбины и, соответственно, отражается на ее экономичности. Эрозия также опасна тем, что может привести к отрыву почти всей рабочей лопатки, а лопатки части низкого давления запросто могут проломить корпус турбоустановки и даже наружные ограждения цеха. Больше всего этому подвержены последние ступени турбины [1].

Ущерб от эрозии лопаток удваивается с каждым годом эксплуатации, что приводит к необходимости замены лопаток каждые 4-5 лет. Переоблопачивание требует больших затрат во времени, а также является одной из самых больших статей расходов по эксплуатации. Поэтому необходимо своевременно проводить визуальные и инструментальные обследования рабочих лопаток для выявления аварийного состояния ступеней турбины.

Объектом исследования стали рабочие лопатки ротора низкого давления (РНД) (ступени № 25 и 28) турбины Т-185/220-130-2 ст. № 3 Кировской ТЭЦ-5.

Наработка РНД на момент проведения контроля – 192459 часов, количество пусков – 147.

Оценка повреждений и эрозионного износа проводилась в соответствии с нормами [2] и информационным письмом ПО ТМЗ № ТМТ-116035.

Метод и объем контроля металла: ультразвуковой контроль, прибор УД2-140 заводской № Е 173. Рабочая частота 1,8 МГц, угол ввода 90°.

Результаты контроля выявили следующие дефекты.

Степень № 25. Наблюдается эрозионный износ входных кромок на всей протяженности от входной кромки до корневого сечения, максимальный на

участке от периферийных концов до отверстий под первую демпферную связь. На этих участках наблюдается сквозной эрозионный износ (рис. 1). Минимальная длина хорды периферийного сечения для этой ступени составляет 93,1 мм (минимально допустимая 116,88 мм). Превышение эрозионного износа сверх допустимого [2] имеет место на 22 лопатках. На выходных кромках лопаток с выгнутой стороны имеются следы эрозионного износа шириной полосы до 20 мм.

Ступень № 28. Наблюдается эрозионный износ входных кромок лопаток (рис. 2) на всей длине до корневого сечения. Максимальный эрозионный износ наблюдается на участках до 300 мм от периферийных концов, где имеется сквозной эрозионный износ. Стеллитовые пластины изношены почти до основания.

Минимальная длина хорды периферийного сечения составляет 115,2 мм (минимально допустимая 116,3 мм), превышение данного параметра имеется на 3 лопатках. Минимально допустимое расстояние до отверстия под вторую демпферную связь равно 37 мм при допустимом 25 мм. Минимальная толщина лопаток в зоне эрозионного износа стенки лопатки за стеллитом равна 3 мм в контрольном сечении на расстоянии 5 мм от периферийного конца лопатки, в то время как минимально допустимая толщина согласно заводским инструкциям – 1,5 мм [2].

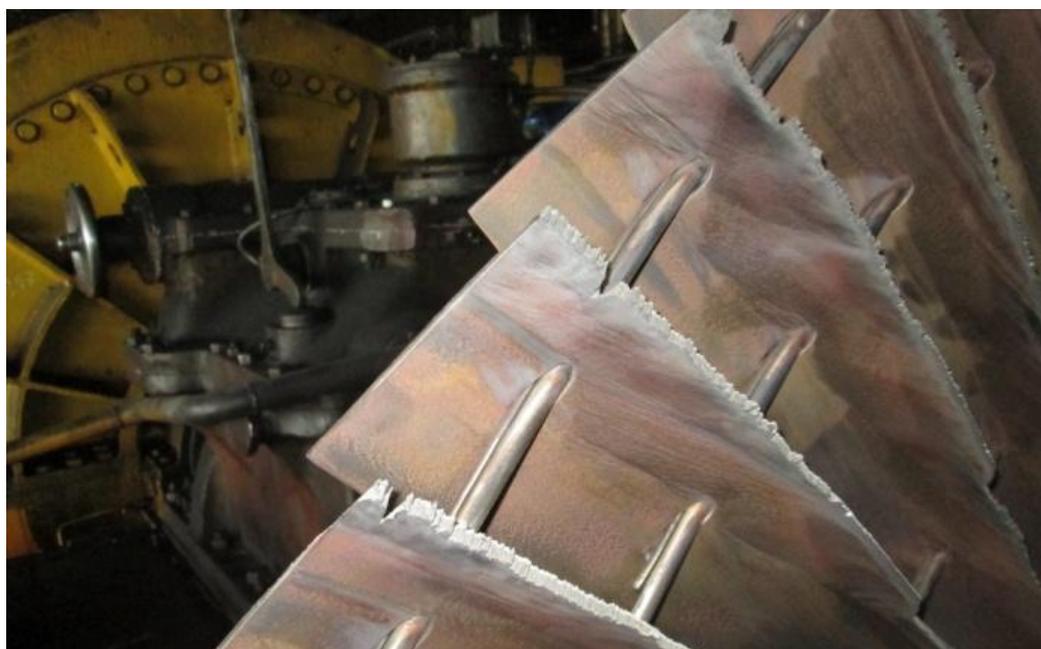


Рис. 1. Эрозионный износ ступени № 25 турбины Т-185/220-130-2 Кировской ТЭЦ-5 (вид с вогнутой стороны пера)

Ультразвуковой контроль лопаток ступеней № 25 и № 28 показал, что возможно допустить временную эксплуатацию турбины до капитального ремонта в следующем году при условии выполнения ремонта рабочих лопаток в соответствии с нормативными документами. Места механических повреждений

следует зачистить, острые переходы закруглить с проведением контроля в местах зачистки на наличие трещин (визуально и методом цветной дефектоскопии или травления).



Рис. 2. Вырыв-скол металла на входной кромке металла ступени № 28 турбины Т-185/220-130-2 Кировской ТЭЦ-5

По результатам обследования сделан вывод: состояние рабочих лопаток ступеней № 25 и № 28 не удовлетворяет критериям оценки СО 153-34.17.462-2003 [2] по эрозионному износу и механическим повреждениям. Требуется принятие решения о замене рабочих лопаток данных ступеней или реконструкция РНД ТГ-3 во время капитального ремонта в следующем году.

Таким образом, обследование рабочих лопаток турбин – дорогостоящий и трудоемкий процесс, который влечет за собой полную остановку турбины, вскрытие корпуса и т. д. Гораздо эффективней, при наличии экспериментальных данных и расчетных данных о средней влажности в повреждаемых ступенях турбины, полученных на основе математических моделей [3, 4], оценивать количество влаги, которое может образоваться в предполагаемых (или фактических) режимах работы, прогнозировать время и величину эрозионного износа. Это будет способствовать ресурсосбережению на предприятии за счет увеличения времени межремонтного периода и снижения затрат на ремонтвосстановление.

#### Список использованных источников

1. Захарова К. С. Исследование эрозионного износа лопаточного аппарата теплофикационных турбин, учет степени влажности и ее влияние на КПД ступени / К. С. Захарова, Н. В. Татарина // Общество, наука, инновации (НПК - 2016): Всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18-29 апреля 2016 г. Киров : Вят. гос. ун-т, 2016. С. 1688-1691.

2. СО 153-34.17.462-2003. Инструкция о порядке оценки работоспособности рабочих лопаток паровых турбин в процессе изготовления, эксплуатации и ремонта. М. : Министерство энергетики Российской Федерации, 2004. 54 с.

3. Татарина Н. В. Математическое моделирование теплофикационных турбоустановок для решения задач повышения энергетической эффективности работы ТЭЦ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.12. Екатеринбург, 2014. 24 с.

4. Татарина Н. В. Математическое моделирование влияния эксплуатационных факторов на уровень влажности пара в ЧНД теплофикационных турбин / Н. В. Татарина, Д. М. Суворов // Надежность и безопасность энергетики. 2015. № 4 (31). С. 53-56.

УДК 683.946

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ПЕЧИ**  
**THERMOPHYSICAL BASES RATIONAL DESIGN OF HORIZONTAL  
CONVEYOR OVEN**

Зельманчук К. А., Матюхина А. В., Матюхин В. И.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
kirillzelmanchuk@gmail.com

Zelmanchuk K. A., Matyuhina A. V., Matyuhin V. I.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В работе изложены теплофизические основы рационального проектирования горизонтальной конвейерной печи, описаны конструктивные особенности, габаритные параметры тепловых камер, также представлены краткие выводы.

**Abstract:** This paper presents the thermal basis for the rational design of the horizontal conveyor oven and the design features, the overall parameters of thermal cameras, also presented a brief conclusion.

**Ключевые слова:** конвейерная печь; схема газопотоков; газопотоки; газ; топка.

**Key words:** conveyor oven; gas flows circuit; gas flows; gas furnace.

Для обеспечения высокой интенсивности нагрева отдельных образцов и изделий при заданных тепловых условиях широко применяются горизонтальные конвейерные печи [1, 2]. Они позволяют относительно просто обеспечивать