

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА НА ЛОПАТКИ ТУРБИН ТЭС И  
ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ  
THE EFFECT OF ABRASIVE WEAR ON TURBINE BLADES  
OF THERMAL POWER PLANTS AND POSSIBLE METHODS  
OF COMBATING THEM**

С.Д. Крутиков

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

S. Krutsikau

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассмотрено влияние абразивного износа на лопатки турбин ТЭС, а также возможные методы защиты от его оказываемого негативного влияния. Целью изучения является определение наилучших вариантов защиты лопаток ТЭС от абразивного износа.*

***Abstract:** the article considers the effect of abrasive wear on the turbine blades of thermal power plants, as well as possible methods of protection from the negative impact. The purpose of the study is to determine the best options for protecting the TPP blades from abrasive wear.*

***Ключевые слова:** ТЭС, паровые турбины, износ лопаток, абразивный износ.*

***Keywords:** thermal power plants, steam turbines, blade wear, abrasive wear.*

### **Введение**

Лопатки турбин – это важные элементы в составе турбинного агрегата. Неправильное использование и эксплуатация может привести к абразивному износу лопаток, что в свою очередь может привести к снижению эффективности работы турбины. В данной статье рассмотрим влияние абразивного износа на лопатки турбин и способы решения этой проблемы.

### **Основная часть**

Абразивный износ – это процесс изнашивания поверхностей, вызванный воздействием твердых частиц. Твердые частицы могут быть как природного, так и искусственного происхождения [1]. В случае лопаток турбины, твердые частицы могут поступать с воздухом, газом или жидкостью, которые проходят через турбину. В процессе взаимодействия частиц с поверхностями рабочих тел, они могут быть причиной истощения и износа металла (рисунок 1). В дальнейшем это приводит к изменению гидродинамического профиля и баланса лопаток турбины, что в свою очередь ведёт к увеличению вибраций и снижению КПД турбины. Кроме того, абразивный износ приводит к увеличению расхода топлива, и как следствие к снижению экономичности работы всего турбоагрегата.

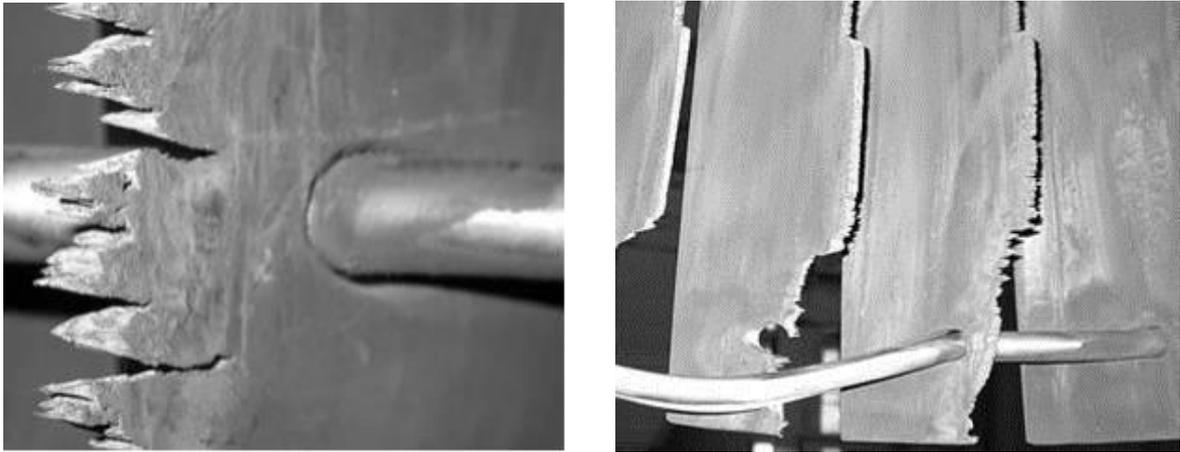


Рисунок 1 – Износ рабочих лопаток последних ступеней [1]

Способы уменьшения негативного влияния абразивного износа

#### 1. Использование покрытий и накладок на лопатки.

Использование покрытий на поверхности лопаток турбин является наиболее эффективным методом защиты от абразивного износа. В качестве материалов покрытия могут использоваться керамика (оксид циркония –  $ZrO_2$ ), карбиды (карбид кремния –  $SiC$  и карбид титана –  $TiC$ ), нитриды (нитрид бора –  $BN$  и нитрид кремния –  $Si_3N_4$ ), также различные виды покрытий на основе металлов и сплавов [2]. Такие покрытия могут быть нанесены на поверхности лопаток с помощью различных технологий, включая термическое напыление, электронно-лучевое напыление и др. Эти покрытия могут значительно увеличить стойкость лопаток к абразивному износу и повысить их эксплуатационный ресурс. Выбор конкретного материала покрытия или накладки на лопатки турбин зависит от конкретных условий эксплуатации турбины, таких как температура, давление, скорость потока и химический состав рабочей среды.

#### 2. Очистка входящей в турбину среды

Очистка входящей в турбину среды может также быть эффективным методом борьбы с абразивным износом. На ТЭС, работающих на угле, нефти или газе, горючие смеси могут содержать твердые частицы в виде золы, песка и металлических осколков. Эти частицы могут наносить значительный вред турбине, вызывая абразивный износ ее поверхностей. Для борьбы с этим износом в системах ТЭС применяются различные методы очистки входящей среды. Например, используются системы фильтрации, циклонные разделители (рисунок 2) и электростатические фильтры, которые позволяют улавливать твердые частицы и отделить их от газовой смеси. Очистка входящей среды может быть особенно эффективной при использовании технологий сухого воздушного охлаждения, которые используют воздух в качестве охлаждающего средства вместо воды. В этом случае, твердые частицы, содержащиеся в воздухе, могут наносить особенно большой вред турбине, и очистка входящей среды является необходимой мерой для предотвращения абразивного износа. Этот метод может быть более эффективным и экономичным в долгосрочной перспективе.

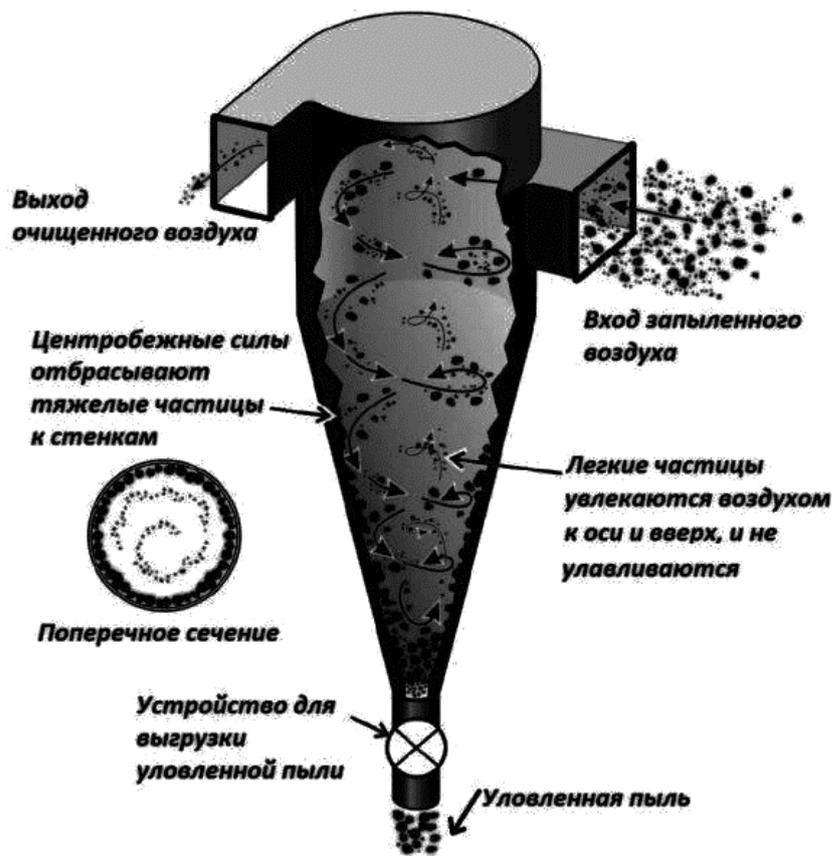


Рисунок 2 – Циклонный разделитель [2]

### 3. Регулярное обслуживание и замена лопаток.

Регулярное техническое обслуживание турбины, включающее удаление отложений на лопатках частиц и проверку их баланса, может помочь уменьшить абразивный износ. При этом, частота технического обслуживания определяется в соответствии с типом топлива, габаритными характеристиками турбины, временными интервалами между профилактическими ремонтами, и др. Основные методы контроля и испытания лопаточного аппарата в процессе эксплуатации:

- визуальный контроль (ВК);
- вихретоковый контроль (ВТК);
- цветная дефектоскопия (ЦД);
- магнитопорошковая дефектоскопия (МПД);
- травление (ТР);
- ультразвуковой контроль (УЗК).

Могут быть также использованы дополнительные методы контроля:

- эндоскопирование без вскрытия и с вскрытием цилиндра;
- вибрационный контроль на работающей турбине с применением дискретно-фазового метода;
- вибрационные испытания на извлеченном из турбины роторе;
- акустико-эмиссионный контроль;
- диагностирование с помощью образцов-свидетелей усталостного разрушения.

Замена лопаток также может быть необходима, особенно если лопатки уже сильно повреждены. При этом, необходимо выбирать более прочные материалы для изготовления заменяемых лопаток. Например, могут быть использованы лопатки, сделанные из высокопрочных сталей.

### **Заключение**

Абразивный износ является серьезной проблемой для лопаток турбин ТЭС и АЭС, которая может привести к снижению эффективности и экономичности работы турбоагрегатов и всего производства электроэнергии. В результате можем сделать вывод, что каждый из предложенных способов борьбы с абразивным износом эффективен по-своему, но наибольшей эффективности можно добиться комбинируя их.

### **Литература**

1. Шкляр, А.И. Опыт повышения надежности и износостойкости элементов проточной части паровых турбин / А.И. Шкляр [и др.] // Теплоэнергетика. – 2007. – № 4. – С. 28–36.
2. Рыженьков, В.А. Современное состояние и способы решения проблемы эрозионного износа лопаток влажно-паровых ступеней турбин / В.А. Рыженьков, А.И. Лебедев, Ал.Ф. Медников // Теплоэнергетика. – 2011. – № 9. – С. 153–156.