

УДК 621.311

## АКТИВНЫЕ И ПАССИВНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭРОЗИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБИН

Мухин А.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Седнин А.В.

Турбины АЭС эксплуатируются на влажном паре. Основными проблемами эксплуатации таких турбин являются дополнительные потери энергии в проточной части и эрозия. Пример эрозионного разрушения части лопаток турбины представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Вид эрозионно-разрушенных лопаток

Основные методы защиты от эрозии проточной части турбины разделяют на:

- активные;
- пассивные.

Активными методами защиты называют те методы, которые внедряются в процесс эксплуатации турбин. К активным методам относят следующие:

- удаление влаги из потока (выносная сепарация влаги, внутритурбинная сепарация влаги);
- испарение влаги (обогрев сопловых лопаток)
- управление дисперсностью влаги (внедрение поверхностно-активных веществ).

В настоящее время существует тенденция расширять выносную сепарацию влаги путем установки дополнительных сепараторов в отборы турбины с повышенной влажностью потока. Это позволяет снизить эрозионный износ оборудования и тем самым повысить его надежность.

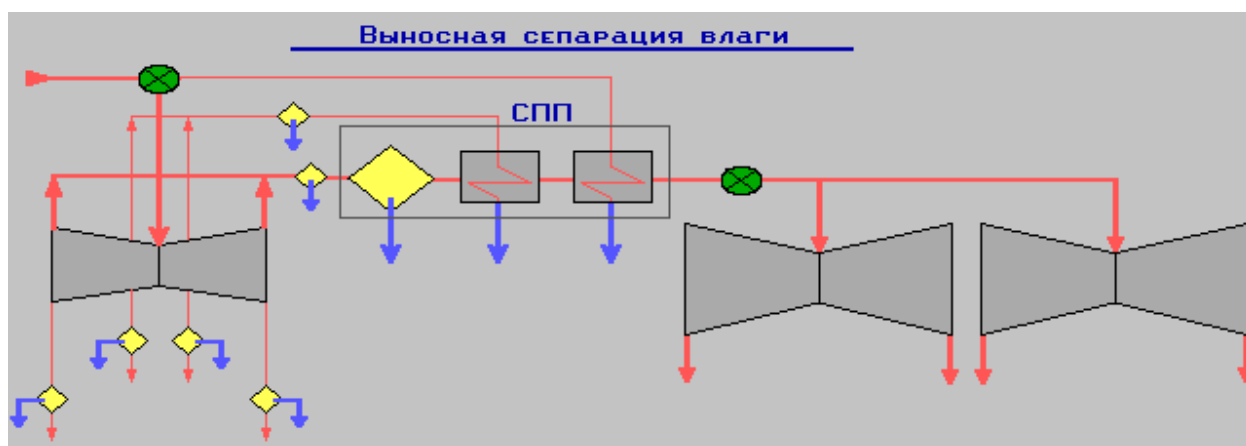


Рисунок 2. Выносная сепарация влаги

Внутритурбинная сепарация влаги выполняется во всех ступенях турбин ТЭС и АЭС, работающих во влажном паре.

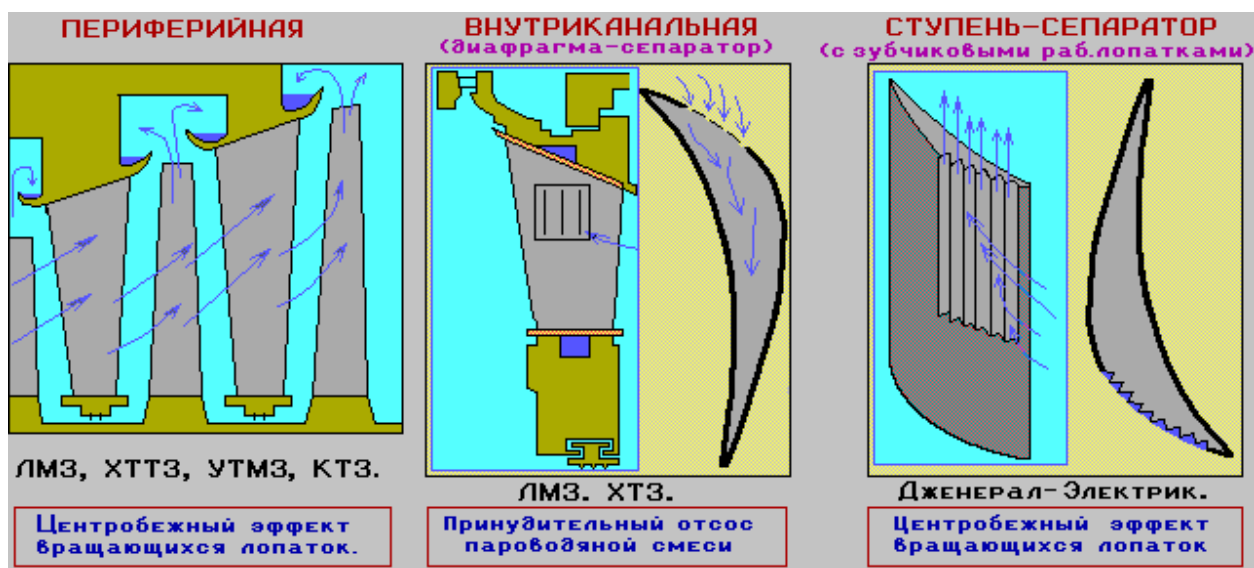


Рисунок 3. Внутритурбинная сепарация влаги

Для управления дисперсностью, т.е., размером капель, жидкой фазы применяют поверхностно - активные вещества (ПАВ).

Введение в поток (в небольших количествах) ПАВ снижает коэффициент поверхностного натяжения жидкой фазы и увеличивает интенсивность дробления капель. Иначе говоря, ПАВ позволяет переводить крупнодисперсную, наиболее эрозионно-опасную, влагу в мелкодисперсную.

В качестве ПАВ для энергетических блоков исследовался октадециломин (ОДА), химическая формула -  $C_{18}H_{37}NH_2$ .

Достоинства:

1. ПАВ позволяет значительно снизить эрозию оборудования и вследствие уменьшения потерь энергии от влажности - поднять мощность блока (до 2-х %).

Недостатки:

1. ОДА токсично, по этой причине не применяется.

2. ПАВ "дочиста" отмывает все поверхности - появляются скрытые свищи.

Пассивными методами защиты являются технологические методы при проектировании для снижения эрозионного износа. К ним относятся:

- технологические (высокохромистые стали, термообработка поверхностей, электроискровое упрочнение поверхностей, напайки из твердых сплавов, лопатки из титановых сплавов);

- конструкторские (переход на пониженную частоту вращения ротора, устранение зон концентрации влаги, плавное изменение проточной части, уменьшение толщины входных кромок лопаток, увеличение зазора между сопловыми и рабочими решетками).

Высокой стойкостью к эрозии и коррозии при работе во влажном паре обладают хромоникелевые аустенитные стали 12X18H10T, 12X18H9T и 12X18H12T, применяемые ХТГЗ.

Высокохромистые аустенитные стали весьма дороги, поэтому, по возможности, детали турбины изготовляют из углеродистых сталей, а места ожидаемой эрозии защищают эрозионно - устойчивыми материалами.

Из электрофизических методов (электроискровой, электроимпульсный, анодно - механический, закалка ТВЧ) наиболее эффективна закалка входных кромок токами высокой частоты.

Электроискровое упрочнение заключается в том, что следует ожидать эрозии, наносится металл электрода - твердый сплав Т15К6 (79% карбида вольфрама, 15% Ti и 6% Co). Поверхность лопатки становится шероховатой и задерживает влагу в виде пленки, которая демпфирует соударение.

Стеллит - это литой твердый сплав, имеющий невысокую твердость, но значительную износостойкость и высокую химическую стойкость.

Химический состав стеллитов колеблется в пределах: 2...4% C, 25...33% Cr, 10...25% W, 35...55% Co, 0...10% Fe. Кобальт (Co) частично может быть заменен никелем.

Отечественные марки стеллитов: В2К, В3К, В3К-ЦЭ.

Стеллитоподобные сплавы типа СОРМАЙТ и СМЕНА по своим свойствам резко отличаются от стеллитов: хрупки и менее химически устойчивы.

Стеллит, в виде напайки отдельными пластинами применяют для защиты входных кромок периферийных сечений рабочих лопаток последних ступеней от ударной эрозии.

Входную кромку, со стороны спинки, покрывают почти на 50% длины лопатки.

Недостатки:

1. Коэффициенты линейного расширения материала лопатки и стеллитовых накладок существенно различны. Возможен отрыв накладок.

2. Для одноконтурных АЭС не разрешается применение стеллита из-за содержания в нем кобальта.

Титановые сплавы, например, Т15К6 (15% - титан, 6% - кобальт, основа - железо) имеют повышенную коррозионно - эрозионную стойкость по сравнению с лопаточными сталями.

Недостатки:

1. В 3...7 раз дороже высокохромистых сталей.

2. Трудоемкость механической обработки почти в 10 раз больше обработки лопаток из стали.

На периферии рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин АЭС с  $n = 50$  1/с скорость отдельных сечений рабочих лопаток достигает 500...660 м/с при местной скорости звука примерно 330...340 м/с.

Каплеударный контакт на периферии (капля = поверхность) реализуется при сверхзвуковых скоростях.

Переход с  $n = 50$  1/с на  $n = 25$  1/с позволяет снизить окружные скорости рабочих лопаток и тем самым уменьшить ударную эрозию периферии рабочих лопаток.

В проточной части турбины не должно быть зон концентрации влаги и зон вихреобразования. По этой причине разъемы неподвижных деталей турбины принято сболчивать, а там, где можно - соединять путем сварки. Профиль проточной части выполняется плавным.

Профиль проточной части должен быть плавным, во избежание отрыва потока и образования вихревых зон, вызывающих во влажном паре эрозию элементов проточной части.

При работе во влажном паре скругленная входная кромка подвержена каплеударной эрозии. Это ухудшает аэродинамическое качество лопаточного аппарата и снижает экономичность проточной части турбины.

Удлиненная входная кромка направляющих лопаток чувствительна к изменению угла атаки потока, но уменьшает каплеударную эрозию.

В последних ступенях турбины, где возрастает доля крупнодисперсной, наиболее эрозионно-опасной влаги, увеличивают зазор между турбинными решетками до 100...300 мм.

Это позволяет разогнать в зазоре влагу и уменьшить угол атаки профилей турбинных решеток.