



Брянский
государственный
технический
университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СТЕПЕНИ ЭРОЗИИ ОТ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАРА НА ПРИМЕРЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН

студенты группы 17-ЭМ-1: В.Р. Федин, И.И. Грибачев
Научный руководитель: профессор кафедры
«Общая физика», к.т.н., В.И. Попков

I. Проблема разрушения лопаток паровых турбин

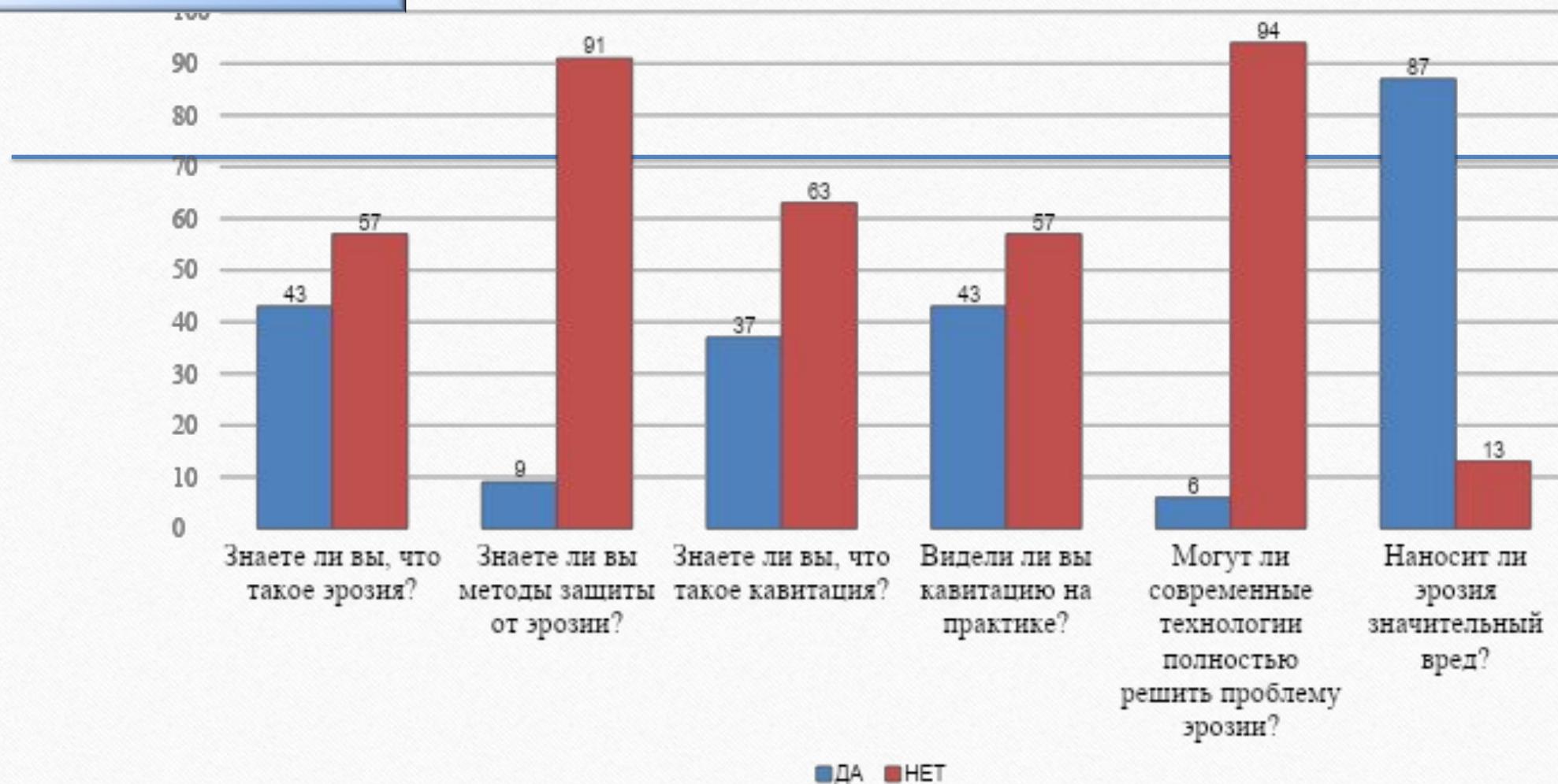
1. Введение

Современная техника невозможна без использования машин и механизмов. Элементы турбин, работающих на влажном паре, подвергаются непрерывному воздействию капель или струй жидкости, вследствие которой возможен износ (эрозия) поверхностей лопаток, дисков, диафрагм, обойм, корпусов и других деталей.





Интернет-опросы



2. Постановка проблемы

Причиной эрозии лопаток, которые имеют наибольшую длину, является удар водяных капель с относительной высокой скоростью. Присутствие воды объясняется тем, что пар расширяется в турбине, пока не станет влажным.



Анализ условий, в которых находятся отдельные элементы оборудования, показывает, что наиболее характерными видами эрозии являются:

ударное воздействие капель

кавитационная эрозия

щелевая эрозия

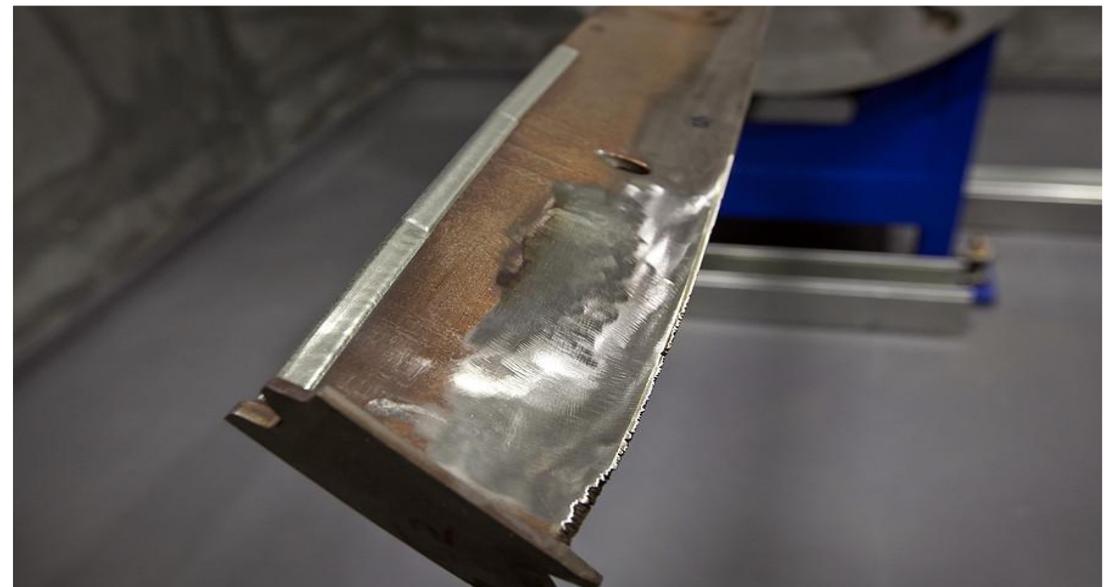




При больших скоростях соударения капле с поверхностью деталей и больших размерах капле эрозионное разрушение существенно возрастает.

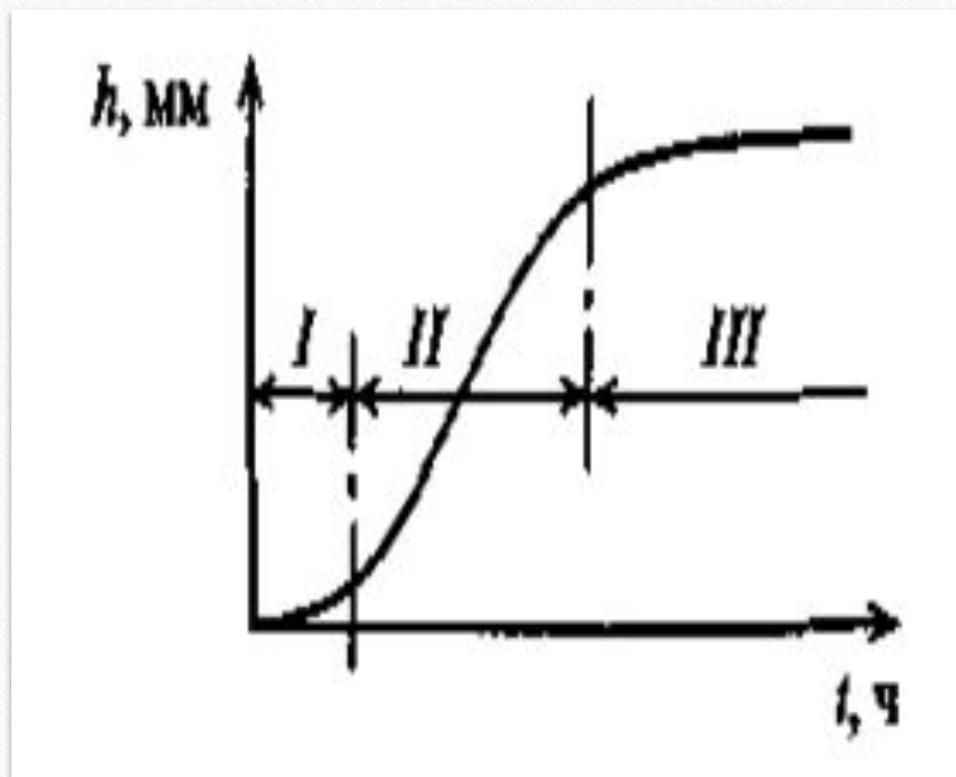


Наиболее сильный износ выходных кромок лопаток последних ступеней наблюдается у турбин, работающих длительное время на различных нагрузках, особенно на режимах холостого хода.



II. Теоретическая часть. Характеристики пара. Физические процессы: эрозия и кавитация.

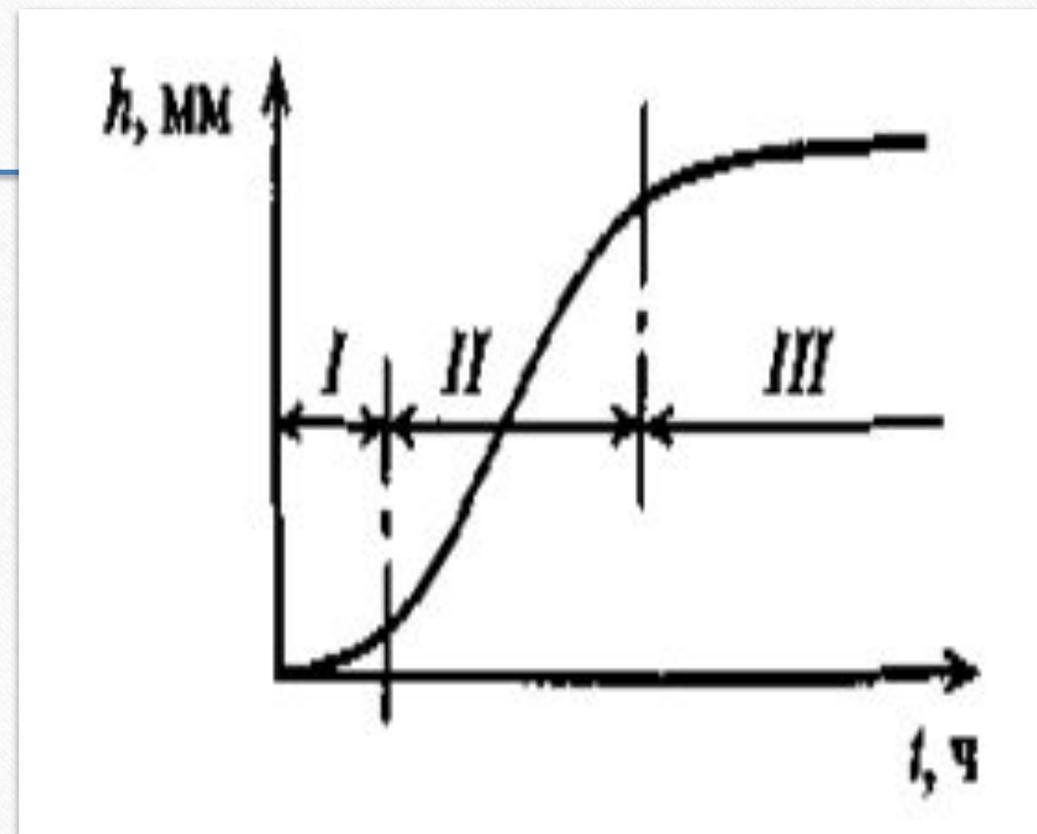
2. Причины и механизм возникновения ударной эрозии



На первом этапе τ_1 , так называемом инкубационном периоде, видимых повреждений поверхности нет, потерь массы материала зафиксировать не удастся.

Этап τ_2 , характеризуется тем, что имеет место максимальная скорость эрозии и в течение этого отрезка времени она остается практически постоянной.

Во время следующего отрезка времени τ_3 , по различным причинам эрозия снова ослабевает.

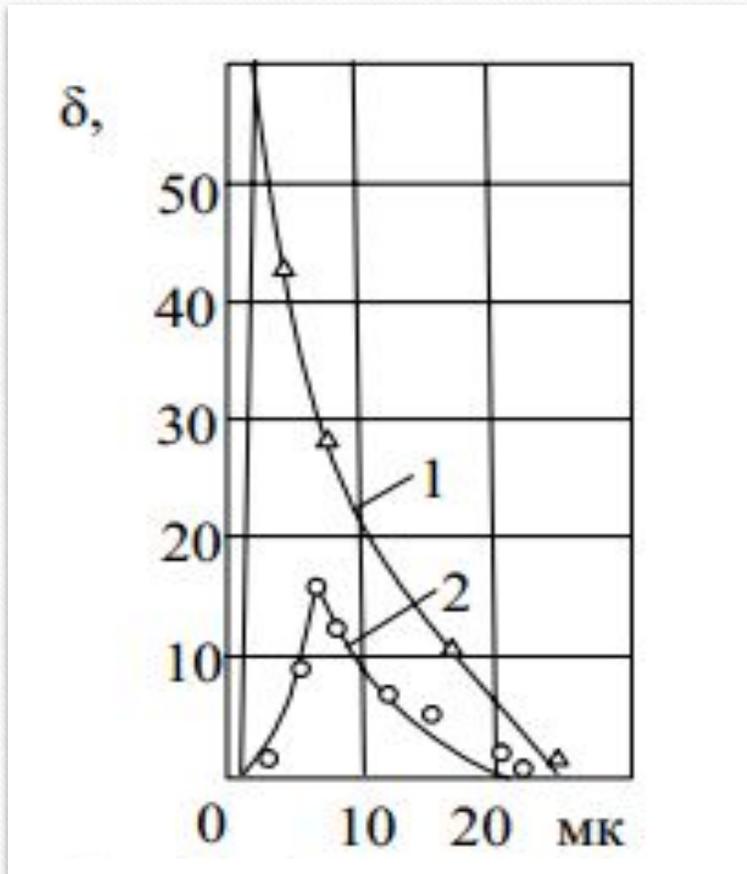


Давление при ударе жидкости об абсолютно твердую поверхность выражается хорошо известной формулой гидроудара Н.Е. Жуковского:

$$P = \rho_2 a \omega$$

где ρ_2 - плотность жидкости; a - скорость звука в жидкости;
 ω - скорость соударения.

С учетом того, что деформация твердого тела (стали) является упругой, действительное импульсное давление P будет несколько меньше.



Время возрастания кривой нагрузки при ударе имеет длительность в пределах нескольких микросекунд. Время снижения давления составило 15...20 мкс.

При скоростях соударения 150...600 м/с, вызывающих эрозию рабочих лопаток паровых турбин, расчетное давление составляет 25...95 МПа.

Предел текучести для рабочих лопаток, определенных в статических условиях, составляет 68...80 МПа.

III. Качественное описание процессов на примере модели: «Высокопрочный удар капли о преграду»

4. Схема удара капли

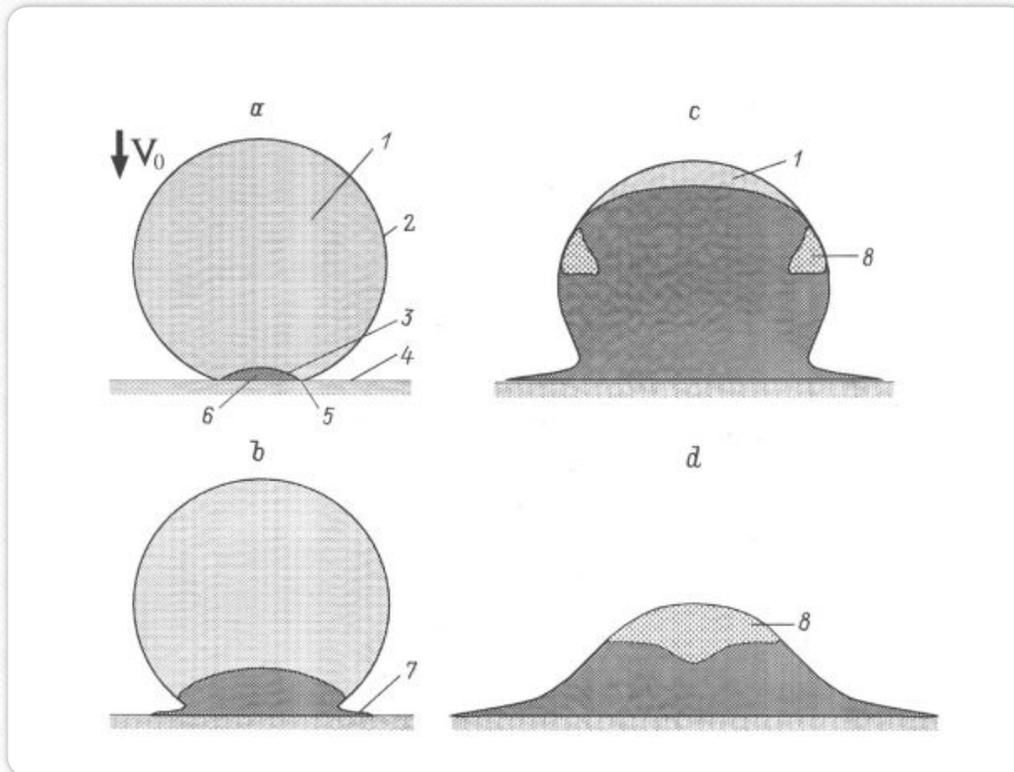


Схема удара капли: *a* — до растекания; *b* — образование струи; *c* — подход ударной волны к вершине капли, образование тороидальной области разрежения; *d* — образование обширной области разрежения с очагами кавитации; *1* — невозмущенная жидкость; *2* — свободная поверхность; *3* — ударная волна; *4* — твердая поверхность; *5* — граница пятна контакта; *6* — область сжатой жидкости; *7* — струя; *8* — область кавитации.

5. Кавитация

КАВИТАЦИЯ (от лат. *cavitas* — пустота), образование в капельной жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью теоретическая прочность на разрыв воды равна: $1,5 \cdot 10^8 \text{ Па}$ ($\text{—} 1500 \text{ кгс/см}^2$).

Максимальное растяжение тщательно очищенной воды, достигнутое при растяжении воды при 10°C , составляет $\text{—} 2,8 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ($\text{—} 280 \text{ кгс/см}^2$).



Если кавитационная каверна захлопывается вблизи от обтекаемого тела, то многократно повторяющиеся удары приводят к разрушению (к так называемой кавитационной эрозии) поверхности обтекаемого тела — лопастей гидротурбин, гребных винтов кораблей и других гидротехнических устройств.



$$\chi = 2 \frac{p - p_H}{\rho v_\infty^2},$$

где p — гидростатическое давление набегающего потока, p_H — давление насыщенного пара, ρ — плотность жидкости, v_∞ — скорость жидкости при достаточном удалении от тела.

IV. Эрозионное изнашивание конструктивных элементов проточных частей паровых турбин

На практике конструктивные элементы паровых турбин подвержены:

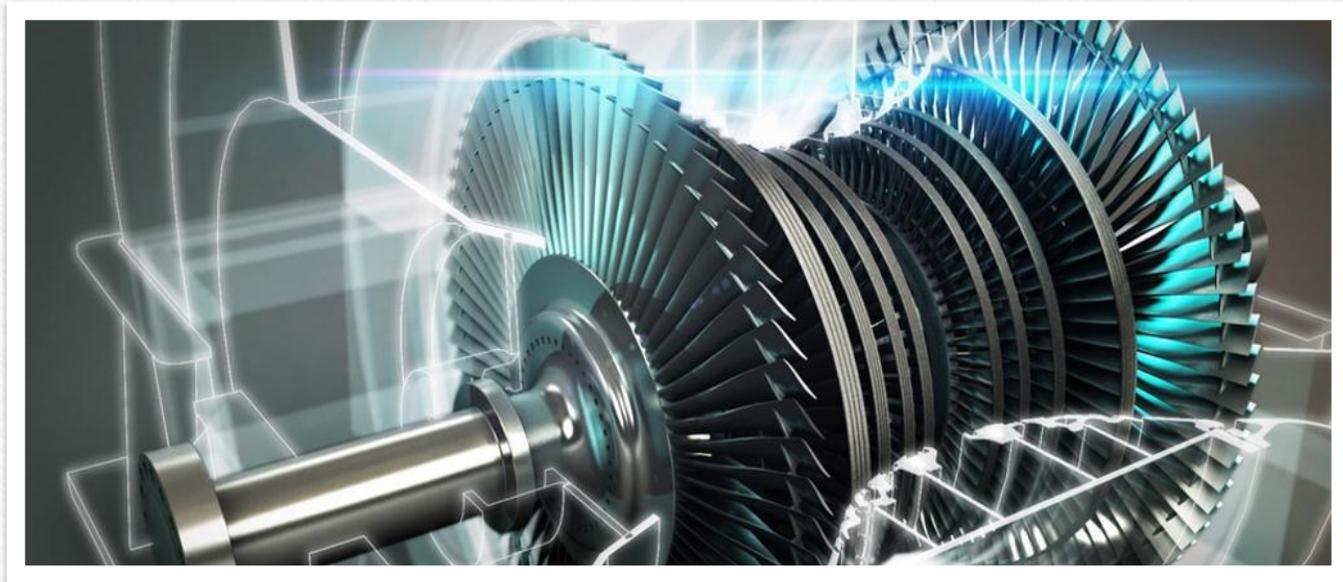
Каплеударной эрозии входных рабочих лопаток, их стеллитовой защиты входных кромок, выходных кромок и торцевых сечений;

Гидроабразивной эрозии хвостовиков рабочих лопаток, заклепок и их торцевых сечений;

Кавитационной эрозии профильных поверхностей рабочих лопаток и периферийного ленточного бандажа.

V. Подведение итогов: ответ на поставленный вопрос «зависимость изменения степени и скорости эрозии от различного воздействия факторов»

Эрозия возникает при наличии крупных капель воды движущихся с большой скоростью разрушения (10...20 м/с).



Скорость эрозии зависят от:

СПАСИБО ЗА

