

УДК 621.165

Лобанова Алина Евгеньевна, магистрант
ФГБОУ ВО Вятский государственный университет
г. Киров

Крупин Дмитрий Федорович, ст. преподаватель
ФГБОУ ВО Вятский государственный университет
г. Киров

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ВЛАЖНОГО ПАРА ПО ПАРОПЕРЕПУСКНОЙ ТРУБЕ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБОУСТАНОВОК

Аннотация: Целью работы является анализ литературных источников и постановка задачи математического моделирования движения влажного пара по пароперепускной трубе теплофикационных турбоустановок. Результатом работы является изучение имеющихся сведений об основных закономерностях движения и сепарации влажного пара в ресиверной трубе и формулировка задач, а также граничных условий математического моделирования изучаемого процесса.

Ключевые слова: влажный пар, теплофикационная турбоустановка, пароперепускная труба, сепарация влаги, цилиндр низкого давления, цилиндр среднего давления.

В пароперепускные трубы теплофикационных турбоустановок между цилиндрами среднего и низкого давления поступает влажный пар. Влажнопаровой поток приводит к корродированию поверхности трубы и эрозионному износу лопаточного аппарата части низкого давления. Практика показывает, что эрозионный износ входных кромок рабочих лопаток из части низкого давления (ЧНД) является весьма значительным. В ряде случаев повреждения могут быть настолько серьёзными, и приводят к необходимой замене лопаточного аппарата уже в первый капитальный ремонт турбины. Стоимость данного ремонта достаточно высока, поэтому сейчас большое внимание уделяется вопросам снижения негативного влияния влажного пара на проточную часть турбины [1].

Исследования влияния режимов работы части низкого давления на эрозию лопаточного аппарата, проведенная в ВТИ на турбоустановке Т-185/220-130 АО ТМЗ, показала, что в эксплуатационных режимах при частичных открытиях регулирующей диафрагмы (РД) ЧНД, диапазон значений степени влажности в первой ступени ЧНД может превышать $y=0,12$. Наиболее опасными, с точки зрения эрозионного износа, являются эксплуатационные режимы со степенью открытия регулирующей диафрагмы на уровне 20-40% [2].

На рисунке 1 изображено центральное сечение проточной части пароперепускной трубы турбины Т-185/210-130. Поток пара проходящий по сечению трубы имеет два характерных поворота в поворотных коленах. Для снижения гидравлического сопротивления на поворотах потока пара в трубе установлен направляющий аппарат, позволяющий более плавно изменять направление движения пара.



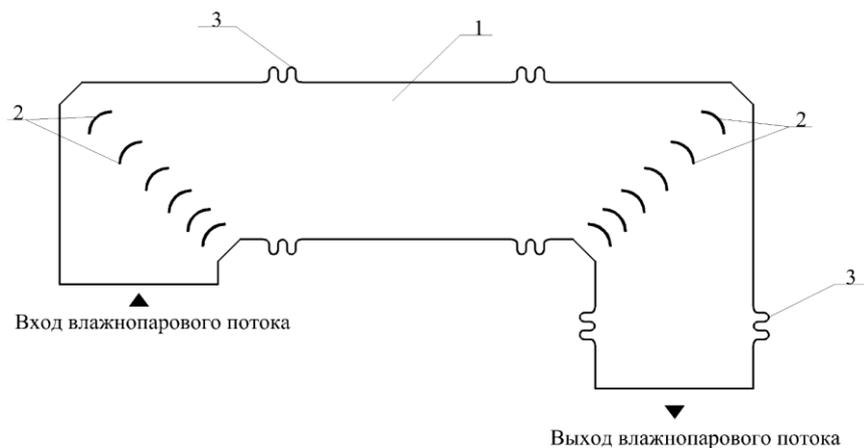


Рис. 1 – Центральное сечение проточной части пароперепускной трубы
1 – проточная часть; 2 – направляющие элементы;
3 – компенсаторы температурного расширения

Покидая пароперепускные трубы, пароводяной поток направляется во входную камеру ЧНД, при этом часть крупной влаги так же под действием гравитационных сил осаждается на ее днище и отводится через существующую дренажную линию в конденсатор. Данный дренаж, являющийся в эксплуатируемых турбинах единственным техническим средством для удаления влаги из парового потока, поступающего в ЧНД, предназначен для предотвращения накопления воды в камере и предупреждения прямого ее попадания в проточную часть [2].

Система дренажа не эффективна, поэтому нужны дополнительные способы для удаления влаги [2]. Создание таких устройств может быть реализовано после проведения исследований по определению характеристик потока влажного пара и областей конденсации влажного пара в объеме пароперепускной трубы.

В качестве объекта исследования выбраны теплофикационные турбины без промежуточного перегрева пара с двухпоточным ЦНД (турбины типа Т-185-130). Данный выбор обусловлен следующим. Во-первых, проблема повышенного эрозионного износа лопаточного аппарата рассматриваемых турбин является весьма актуальной. Во-вторых, конструктивная особенность выбранных турбин, предполагающая наличие пароперепускных труб, соединяющих цилиндры среднего и низкого давлений (именно в них, как показали проведенные расчетные исследования, поступает влажно-паровой поток, степень влажности которого может достигать 9-12%) [2], позволяет, для решения поставленных в работе задач, использовать огромный опыт, накопленный при эксплуатации и исследовании устройств влагоудаления турбин атомных электростанций, имеющих схожие по конструкции пароперепускные (ресиверные) трубы.

Рассмотрим характеристики течения влажного пара по перепускной трубе. В подводящих и перепускных трубах паровых турбин скорость влажного пара не превышает 40-70 м/с. Основной процесс сепарации влажнопарового потока наблюдается на поворотах пароперепускной трубы [4]. На рисунке 2 приведены основные силы, действующие на частицу влаги в потоке пара.



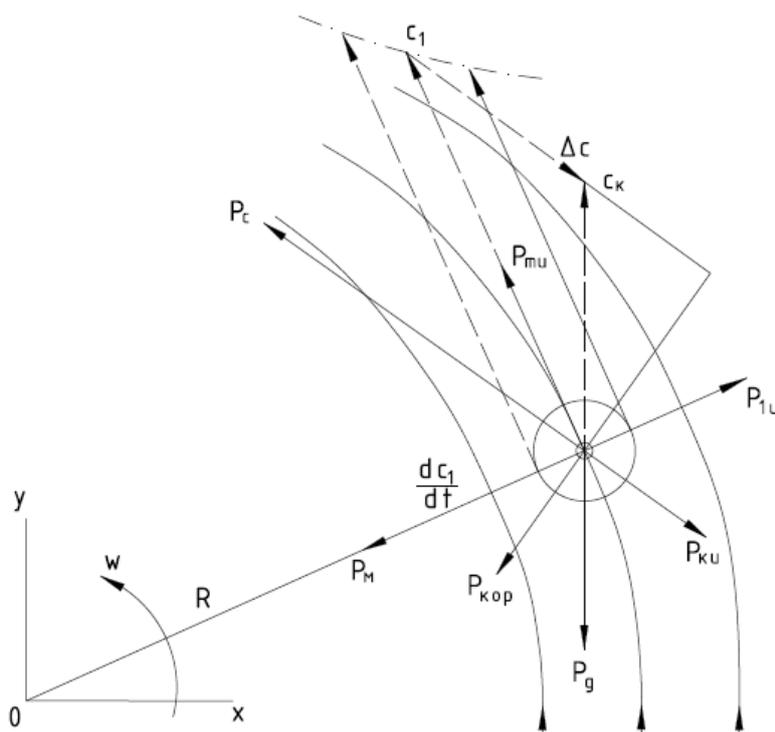


Рис. 2 – Силы, действующие на каплю влажного пара [3].

\vec{P}_c – сила аэродинамического сопротивления частицы; силы инерции в связи с реакцией капли на изменение скорости газовой среды: $P_{1и} = m_k dc_1/dt$, $P_{ки} = -m_k d(\Delta c)/dt$; $P_{кор} = -m_k 2\omega\Delta c$ – Кориолисова сила;

$P_{ти} = -2m_k\omega c_1$ – тангенциальная сила инерции; $\vec{P}_g = -m_k \cdot g$ – сила тяжести; $\vec{P}_м$ – сила Магнуса, обусловленная вращательным движением капли с угловой скоростью ω [3].

Капли влажного пара при движении в трубе на поворотах, на которые действует сила инерции, отклоняются от основного потока, происходит сепарация влажного пара, то есть отделение капли от потока.

В работе [4] показано, что основная сепарация влаги в пароперепускной трубе осуществляется в поворотных коленах трубы и на спинках направляющих лопаток. На поверхности направляющих элементов образуется водяная пленка. Эта пленка при срыве с края направляющего элемента распадается и образует капельный поток. Более крупные капли являются самостоятельными центрами конденсации влаги и при движении на горизонтальных участках перепускных труб увеличивают свой размер.

В результате проведенного обзора литературных источников, можно сделать вывод о том, что проблема эрозионного износа лопаточного аппарата ЧНД теплофикационных турбоустановок, работающего с влажным паром в полной мере не решена и является актуальной. В литературных источниках не в полной мере рассмотрены вопросы выявления зон концентрации капельной влаги в пароперепускных трубах между ЧСД и ЧНД турбоустановки, а также условий конденсации и вопросы превентивного удаления капельной влаги из проточной части пароперепускной трубы. В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы:



1. Необходимо создание расчётной математической модели движения влажного пара по сечению пароперепускной трубы;
 2. Проведение математического моделирования в существующих режимных параметрах теплофикационных турбоустановок;
 3. Определение зон концентрации влаги и оценка ее количества в пароперепускной трубе.
 4. Разработка методологии удаления дисперсной влаги из пароперепускной трубы.
- Результаты проведённого литературного обзора позволили определить основные направления исследования в рамках изучения процесса движения влажного пара в пароперепускных трубах теплофикационных турбоустановок с целью повышения надежности эксплуатации паровых турбин и продления срока их работы.

Список литературы:

1. Симою, Л.Л. Экспериментальные исследования эффективности устройства удаления влаги из входного потока двухпоточных цилиндров низкого давления теплофикационных турбин / Л.Л. Симою, Е.И. Эфрос, А.Г. Шемпелев и др. // Теплоэнергетика. – М. – 2006. – №2. – С. 21-27.
2. Шапиро, Г.А. Исследование работы последних ступеней теплофикационной турбины / Г.А. Шапиро, В.П. Лагун, Л.Л. Симою и др. // Теплоэнергетика. – М. – 1976. – №1. – С. 13-19.
3. Забелин, Н.А. Исследование сепарации влаги в подводящих и перепускных патрубках паровых турбин: дисс. ... канд. технич. наук / Н.А. Забелин. – Ленинград, 1982.
4. Крупин, Д.Ф. О некоторых результатах численного моделирования потока влажного пара в пароперепускной трубе турбоустановки Т-185-130 / Д.Ф. Крупин, А.Г. Шемпелев. // Перспективы науки. – 2019. – №9 (120). – С. 57-63.

