

Исследование распределения давления по сечению пароперепускной трубы турбоустановки Т-185-130

Д. Ф. Крупин¹, А. Г. Шемпелев²

¹аспирант кафедры теплотехники и гидравлики, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: df_krupin@vyatsu.ru

²доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и гидравлики, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: ag_shempелеv@vyatsu.ru

Аннотация. Основной целью исследования является получение результатов распределения давления влажнопарового потока по сечению ресиверной трубы турбоустановки Т-185-130 из цилиндра среднего давления (ЦСД) в цилиндр низкого давления (ЦНД). Основным методом проведения теоретического исследования является численное моделирование процесса течения влажнопарового потока по сечению ресиверной трубы. Получены результаты по распределению давления влажнопарового потока в центральном сечении пароперепускной трубы. На основании полученных результатов можно сделать вывод о равномерном распределении давления в ядре потока с незначительными неравномерностями распределения давления в зонах поворота влажнопарового потока, а также по профилю направляющих лопаток пароперепускной трубы. Результаты работы являются предпосылкой для проведения исследований по распределению влаги в потоке пара по сечению ресиверной трубы. Актуальность проблемы обусловлена повышением эффективности работы турбоустановок на энергетических объектах.

Ключевые слова: ресиверная труба, турбоустановка, цилиндр низкого давления, численные методы.

Введение. Эрозионный износ проточной части ЦНД теплофикационных турбоустановок обусловлен прежде всего высоким уровнем значений степени влажности парового потока. В совместной работе исследователей из ВТИ, ВятГТУ и Кировской ТЭЦ-5 приведены результаты расчетных зависимостей диаграммной степени влажности от относительного расхода пара в ЦНД турбоустановки Т-185-130, установленной на ТЭЦ-5 г. Кирова [2, с. 21]. В данной работе показано, что уровень влажности перед ЦНД в различных режимах работы турбоустановки достигает 3-9%, что ведет к активному эрозионному износу проточной части низкого давления турбины и к снижению рабочего ресурса установки. В связи с этим представляется необходимым проведение поиска мероприятий по снижению уровня влажности пара перед проточной частью низкого давления турбоустановки.

В работе [2, с. 23] предложен метод удаления крупнодисперсной влаги из пароперепускных труб ЦНД теплофикационных турбин. Данный метод предполагает собой установку конусообразной ловушки во входном патрубке ЦНД. Ловушка предназначена для обеспечения удаления крупнодисперсной влаги, стекающей по стенкам ресиверной трубы. Представленное устройство прошло испытания, в результате которых возникла необходимость дополнительных теоретических исследований и обоснования течения пара и капель жидкости влажнопарового потока в пароперепускных трубах теплофикационных турбоустановок. Предварительным этапом для проведения теоретических исследований является необходимость получения распределения давлений влажнопарового потока по сечению пароперепускной трубы.

Цель исследования. Получить результаты распределения давления потока по сечению пароперепускной трубы между ЦСД и ЦНД турбоустановки Т-185-130.

Ведущий подход. Решение поставленной задачи по нахождению распределения давления влажнопарового потока по центральному сечению пароперепускной трубы было проведено на основании численных методов решения уравнений в области центрального сечения трубы, представленной на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что внутри сечения пароперепускной трубы в местах поворота потока пара для обеспечения плавности поворота установлены направляющие лопатки.

Необходимые исходные данные были получены на основе расчетов принципиальной тепловой схемы турбины Т-185-130 в математической модели для данной турбоустановки, разработанной на кафедре теплотехники и гидравлики ВятГУ. Математическая модель разработана на основании теоретических и экспериментальных данных, полученных при испытании турбин данного типоразмера с учетом действительного состояния оборудования. Расчет принципиальной тепловой схемы был проведен по действующему режиму работы турбоустановки с параметрами, представленными в таблице 1. Верификация полученных результатов расчета была проведена также по показателям действующего режима работы турбоустановки Т-185-130.

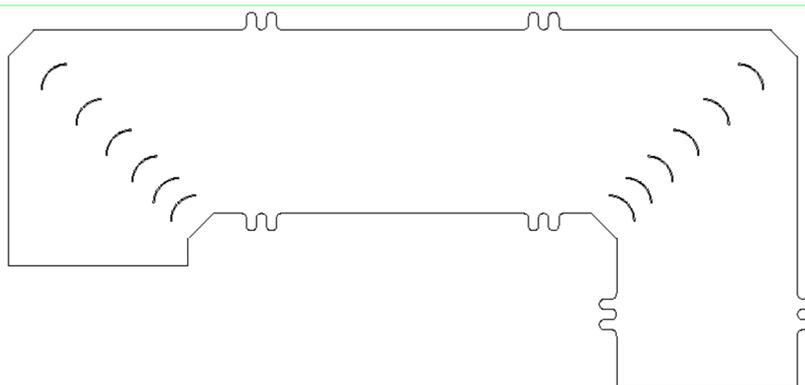


Рис. 1. Центральное сечение пароперпускной трубы между ЦСД и ЦНД турбоустановки Т-185-130

Таблица 1

Исходные данные для расчета тепловой схемы турбоустановки

Исходные данные для расчета	Значения
Электрическая мощность, МВт	100
Степень открытия РД ЧНД, %	100
Давление в конденсаторе, кПа	7,7
Температура обратной сетевой воды, °С	62
Температура сетевой воды за ПСГ-2, °С	74
Расход сетевой воды, т/ч	1574

Для проведения численного моделирования течения влажнопарового потока необходимы данные по опорному давлению потока в трубе, расходу пара и его параметрам на входе в пароперпускную трубу. Значения исходных данных для численного моделирования, полученные при расчете принципиальной тепловой схемы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные для численного моделирования потока пара

Исходные данные для расчета	Значения
Расход пара через ресиверную трубу, кг/с	33,72
Плотность влажного пара, кг/м ³	0,2212
Опорное абсолютное давление пара, кПа	35,039
Степень влажности пара	0,0353
Температура пара, °С	72,73

Основные уравнения для описания процессов потока влажного пара, такие как уравнение неразрывности, уравнения сохранения количества движения (осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса) и энергии, представлены в работе М. Е. Дейча и Г. А. Филипова [1, с. 53]. Особое внимание необходимо уделить выбору модели взаимодействия потока пара и жидких капель в потоке, а также выбору модели турбулентности на основании которой строится расчет. В связи с тем, что объемная доля капель влаги в потоке пара имеет низкое значение, представляется возможным использование дискретной фазовой модели, идея которой состоит в рассмотрении влажнопарового потока как непрерывного парового потока и движения дискретных капель жидкости внутри потока. Движение потока пара описывается уравнением Навье-Стокса. Дискретная жидкая фаза может обмениваться энергией, импульсом и массой вещества с непрерывным потоком пара.

В качестве модели турбулентности была выбрана стандартная k-ε модель турбулентности. Для замыкания системы уравнений вводятся дополнительные полуэмпирические уравнения переноса кинетической энергии турбулентной диссипации [3, с. 73]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon - Y_m + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

где k – кинетическая энергия турбулентности; ε – турбулентная диссипация; μ_t – турбулентная вязкость; G_k – величина, характеризующая генерацию энергии турбулентности вследствие наличия градиента средней скорости; Y_m – величина, характеризующая влияние сжимаемости среды на диссипацию энергии турбулентности; S_k, S_ε – дополнительные величины; $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ – константы модели.

Данный подход обеспечит высокую скорость схождения численного расчета и приемлемый результат численного моделирования. Для проведения численного моделирования используется программный продукт Ansys fluent.

Результат исследования, его обсуждение. Результаты распределения давления влажнопарового потока по центральному сечению пароперепускной трубы из ЦСД в ЦНД приведены на рисунке 2.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о равномерном распределении давления в ядре потока с незначительными неравномерностями и распределении давления в зонах поворота влажнопарового потока, а также по профилю направляющих лопаток пароперепускной трубы.

Представленные результаты являются предпосылкой для теоретических исследований по распределению влаги в сечении трубы и обоснованию возможности применения ловушки для крупнодисперсной влаги на выходе из пароперепускной трубы.

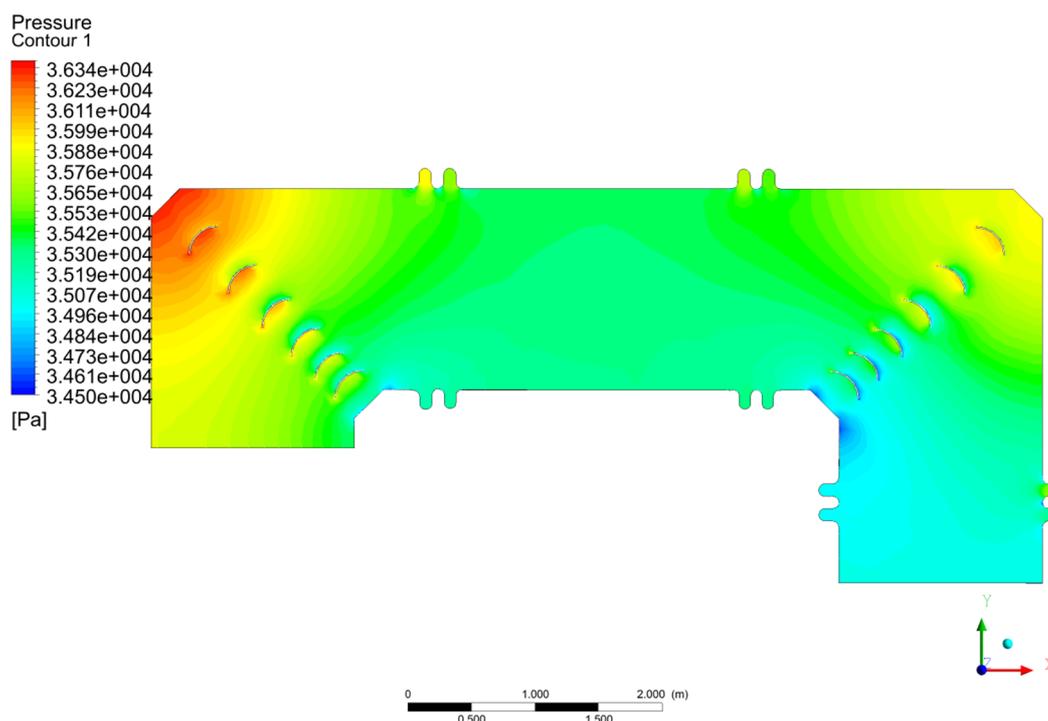


Рис. 2. Распределение давления по центральному сечению пароперепускной трубы между ЦСД и ЦНД турбоустановки Т-185-130

Список литературы

1. Дейч М. Е., Филиппов Г. А. Газодинамика двухфазных сред. М. : Энергоиздат, 1981. 472 с.
2. Экспериментальные исследования эффективности устройства удаления влаги из входного потока двухпоточных цилиндров низкого давления теплофикационных турбин / Л. Л. Симою и др. // Теплоэнергетика. 2006. № 2. С. 21–27.
3. Launder B. E. Spalding D. B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. London : Academic Press, 1972. 176 p.

Study of the pressure distribution over the cross section of the steam pipe turbine T-185-130

D. F. Krupin¹, A. G. Shempelev²

¹postgraduate student of the Department of heat engineering and hydraulics, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: df_krupin@vyatsu.ru

²Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of heat engineering and hydraulics, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: ag_shempelev@vyatsu.ru

Abstract. The main aim of the study is the distribution of pressure wet stream over the cross-section receiver pipe of the turbine T-185-130 of middle pressure cylinder (MPC) to the low-pressure cylinder (LPC). The main method of theoretical research is the numerical simulation of the wet-steam flow through the cross-section of the receiver pipe. The results on the distribution of the pressure of the wet-steam flow in the central section of the steam pipe are obtained. On the basis of obtained results we can conclude about uniform pressure distribution in the flow core with minor irregularities of the distribution of pressure in zones of rotation of the wet stream, and the profile of the guide vanes of steam pipe. The results of the work are a prerequisite for conducting research on the distribution of moisture in the steam flow along the cross-section of the receiver pipe. The urgency of the problem is due to the increase in the efficiency of turbine units at power facilities.

Keywords: receiver tube, turbine, low pressure cylinder, numerical methods.

References

1. *Deutsch M. E., Filippov G. A. Gazodinamika dvuhfaznyh sred* [Gas dynamics of two-phase media]. M. Energoizdat. 1981. 472 p.
2. *Eksperimental'nye issledovaniya effektivnosti ustrojstva udaleniya vlagi iz vhnogo potoka dvuhpotochnyh cilindrov nizkogo davleniya teplofikacionnyh turbin* – Experimental studies of the efficiency of the device for removing moisture from the input flow of two-flow low-pressure cylinders of heating turbines / L. L. Simoyu et al. // Heat power engineering. 2006. No. 2. Pp. 21–27.
3. *Launder B. E. Spalding D. B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. London: Academic Press. 1972. 176 p.