

УДК 621.165.51

Исследование влияния неравномерности потока в камере отбора паровой турбины на послеотборную ступень*

Д.А. Трохин¹, О.М. Митрохова¹, А.С. Муравейко²

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

² ООО «НУМЕКА»

Analysis of the influence of extraction chamber non-uniformity flow in a steam turbine on the post-extraction stage

D.A. Trokhin¹, O.M. Mitrokhova¹, A.S. Muraveyko²

¹ National Research University «Moscow Power Engineering Institute»

² NUMECA LLC

Проведено численное исследование влияния регенеративного отбора пара на формирование окружной неравномерности потока и ее воздействие на послеотборную ступень паровой турбины. В отличие от большей части исследований, расчет выполнен с учетом всех геометрических характеристик камеры отбора и выходного патрубка при полном окружном моделировании послеотборной ступени без осреднения параметров по окружности. Численное моделирование выполнено с применением CFD-кода в программном комплексе NUMECA. Показано, что при соединении камеры отбора и соплового аппарата через прямую передачу параметров (connect) формируется выраженная квазистационарная окружная неравномерность, не выявляемая при использовании periodic-подходов. Установлено влияние этой неравномерности на интегральные характеристики ступени, в том числе на относительный внутренний коэффициент полезного действия. Полученные результаты подтверждают необходимость учета реальных геометрических характеристик патрубка отбора при анализе проточной части паровой турбины.

EDN: SRHFSG, <https://elibrary/srhfsg>

Ключевые слова: паровая турбина, регенеративный отбор, камера отбора, окружная неравномерность, послеотборная ступень, численное моделирование

The paper presents a numerical investigation of the influence of regenerative steam extraction on the formation of circumferential flow non-uniformity and its impact on the post-extraction stage of a steam turbine. In contrast to most existing studies, the simulation was performed considering the full geometry of the extraction chamber and outlet pipe, with full-annulus modeling of the post-extraction stage and without circumferential averaging of flow parameters. Numerical simulations were carried out using a CFD solver implemented in the NUMECA software package. It is shown that when the extraction chamber and nozzle guide vane are coupled through direct parameter transfer (connect), a pronounced quasi-steady circumferential non-uniformity is formed, which cannot be captured using period-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта государственного задания № FSWF-2026-0004.

ic approaches. The influence of this non-uniformity on the integral stage characteristics, including the relative internal efficiency, has been established. The obtained results confirm the necessity of accounting for the real extraction pipe geometry when analyzing steam turbine flow paths.

EDN: SRHFSG, <https://elibrary/srhfsg>

Keywords: steam turbine, regenerative steam extraction, extraction chamber, circumferential non-uniformity, post-extraction stage, numerical simulation

Система регенеративного отбора пара, являющаяся неотъемлемым элементом проточной части энергетических и теплофикационных паровых турбин, предназначена для повышения термического коэффициента полезного действия (КПД) за счет подогрева питательной воды. Классическая теория расчета турбинных ступеней основана на предположении о равномерном поле параметров потока перед сопловым аппаратом (СА) [1]. Однако в реальных условиях эксплуатации значительное число ступеней работает при выраженных окружной и радиальной неравномерностях входного поля скоростей и давлений.

В работах [2, 3] показано, что наличие регенеративного отбора ведет к формированию существенных неравномерностей полного давления перед сопловыми решетками, скорее всего, включая большую часть сектора окружности. При этом авторы отмечают уменьшение уровня полного давления в зоне патрубка отбора и сохранение неравномерности после прохождения СА с ухудшением экономичности.

Снижение эффективности последних ступеней цилиндра низкого давления из-за дополнительных потерь и неравномерностей течения потока также выявлены в публикациях, посвященных его вентиляционным потерям и работе этого цилиндра [4–8].

В монографии [1] отмечено, что для повышения точности расчета необходимо учитывать пространственный характер течения потока и влияние конструктивных элементов проточной части на распределение параметров.

Несмотря на наличие экспериментальных исследований, посвященных регенеративному отбору [2], в большей части современных работ геометрические характеристики камеры отбора (КО) и выходного патрубка учтены упрощенно, либо смоделированы в осесимметричной или периодической постановке. Такой подход приводит к осреднению параметров по окружности и не позволяет воспроизвести реальную пространственную структуру неравномерности.

В то же время развитие CFD-методов и применение специализированных турбомашинных решателей, в частности программного комплекса NUMECA, позволяют выполнять трехмерное моделирование проточной части с учетом всех геометрических характеристик ступеней и межступенчатых полостей [9]. Разработанные методики трехмерного расчета цилиндра низкого давления с использованием NUMECA подтверждают возможность корректного воспроизведения пространственного распределения давления, скорости и других параметров потока.

Анализ перечисленных работ показал, что влияние регенеративного отбора на послеотборную ступень имеет выраженный пространственный характер и сопровождается формированием устойчивой окружной неравномерности полного давления, способной воздействовать на интегральные характеристики ступени. Количественная же оценка этой неравномерности при полном окружном моделировании с учетом геометрических характеристик КО и патрубка остается мало изученной [10].

Научной новизной работы является объемное CFD-моделирование проточной части паровой турбины с полным разворотом в зоне регенеративного отбора, что позволяет воспроизводить картину неравномерности полного давления перед послеотборной ступенью. Это дает возможность сохранить пространственную асимметрию течения потока, связанную с геометрическими характеристиками КО и односторонним отводом пара. Следовательно, можно установить количественное влияние окружной неравномерности на структуру течения потока и интегральные характеристики ступени, включая снижение ее относительного внутреннего КПД примерно до 3 % по сравнению со значениями расчета по простым схемам.

Также выявлено влияние способа сопряжения рядов лопаток на перераспределение зон отрыва и энергетические показатели ступени в условиях неравномерного входного поля параметров потока. Полученные результаты уточняют представления о влиянии регенеративно-

го отбора на аэродинамику ступеней цилиндра низкого давления и формируют основу для более корректного расчетного проектирования турбин такого типа.

Цель работы — исследование влияния окружной неравномерности, формируемой КО паровой турбины, на параметры течения потока и КПД послеотборной ступени на основе трехмерного CFD-моделирования полного сектора проточной части.

Методологическая основа исследования заключалась в применении средств численного моделирования течений жидких и газообразных сред с использованием программного комплекса NUMECA на основе решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье — Стокса для трехмерного стационарного течения пара.

Расчетная область включала в себя проточную часть предотборной ступени, КО с патрубком отвода пара и послеотборную ступень, что позволило воспроизвести формирование окружной неравномерности потока и ее последующее влияние на параметры входного сечения СА [11, 12].

Результаты. Выполнено моделирование полного окружного разворота проточной части (full annulus), что позволило сохранить пространственную неравномерность течения потока, близкую к реальной работе турбины. В отличие от периодической постановки задачи (periodic) с искусственным осреднением входного поля параметров, а также при наличии выходного патрубка отбора, принятая схема обеспечивает воспроизведение реальной окружной неравномерности полного давления перед СА послеотборной ступени. Модель расчетной области, включающей в себя проточную часть отсека турбины, КО и выходной патрубок, приведена на рис. 1.

При построении рабочей сетки направляющего аппарата (НА) и рабочих лопаток (РЛ) использован автоматический блочно-структурированный сеточный генератор Autogrid 5. При создании расчетной сетки КО и выходного патрубка применены Z-R- и 3D-эффекты внутри сеточного генератора. Расчетные детализированные сетки в областях выходного патрубка с О-топологией, камеры отбора и выходного патрубка и послеотборного НА приведены на рис. 2, а–в.

Значения параметра y^+ (среднеинтегральные) и количества элементов детализированной

NUMECA

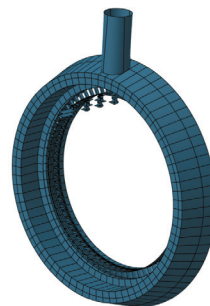


Рис. 1. Модель расчетной области, включающей в себя проточную часть отсека турбины, КО и выходной патрубок

сетки на исследуемом участке проточной части турбины приведены в табл. 1, где в скобках указан номер ступени.

В качестве базовой турбулентной модели использована двухпараметрическая модель $k-\varepsilon$ с расширенной пристеночной функцией (Extended Wall Function), обеспечивающая устойчивое решение при наличии выраженных градиентов давления и возможных зон отрыва в области межступенчатого зазора и СА [13, 14].

На входной границе задавались параметры полного торможения потока и турбулентные характеристики в соответствии с эксплуатационным режимом турбины, на выходной — параметры на выходе из патрубка и начальные средние параметры на выходе из послеотборного НА (табл. 2).

Принципиально важно, что статическое давление в КО не задавалось принудительно, а формировалось в результате решения системы уравнений течения потока. Это позволило получить реальное распределение давления по окружности КО и корректно оценить степень окружной неравномерности входного поля параметров. Контроль сходимости выполнен по изменениям интегральных характеристик, включая массовый расход пара и КПД послеотборной ступени.

Оценка независимости решения от параметров расчетной сетки выполнена вычислениями на двух уровнях дискретизации — 111 и 000 [15], где 000 — детализированный уровень сетки, с помощью которого можно оценить самые проблемные участки движения потока. Для такой сетки погрешность массовых расходов потока на входе и выходе не превышала 0,189 %, что подтверждает ее устойчивость и достоверность результатов. Дополнительно проведено сравнение различных схем сопряжения рядов

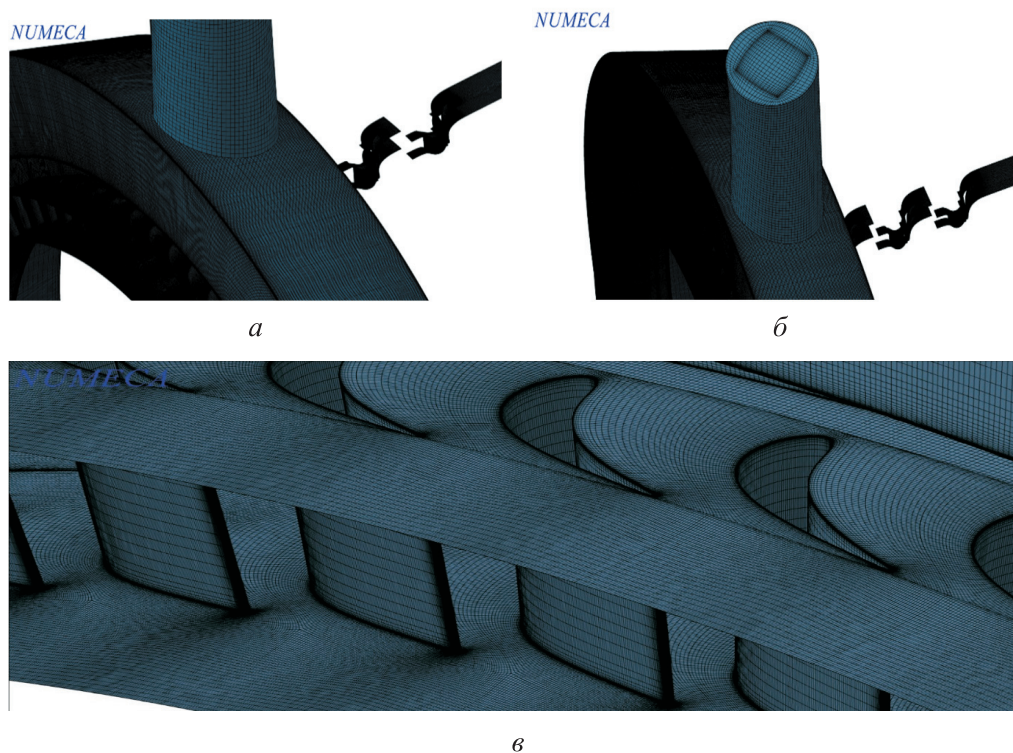


Рис. 2. Расчетные сетки в областях выходного патрубка с О-топологией (а), КО и выходного патрубка (б) и послеотборного НА (в)

Таблица 1

Значения параметра y^+ и количества элементов сетки в расчетной области

Отсек турбины	Параметр y^+	Количество элементов сетки, млн ячеек	Отсек турбины	Параметр y^+	Количество элементов сетки, млн ячеек
НА (1)	0,396	0,956	РЛ (3)	0,862	0,922
РЛ (1)	0,641	0,978	НА (4)	0,821	0,766
НА (2)	0,699	0,800	РЛ (4)	0,874	0,848
РЛ (2)	0,812	0,992	НА (5)	0,890	93,510
НА (3)	0,780	0,800	КО	1,760	49,510

Таблица 2

Входные и выходные параметры граничных условий

Параметр	Значение
<i>На входе</i>	
Давление полного торможения потока p_0 , МПа	3,271
Температура полного торможения потока t_0 , °C	282,7
<i>На выходе из патрубка</i>	
Начальное статическое давление p_n , МПа	880
Массовый расход пара G_n , кг/с	4,7
<i>На выходе из послеотборного НА</i>	
Начальное статическое давление p_s , МПа	599

лопаток, что позволило оценить влияние расчетной постановки на структуру течения потока и интегральные характеристики послеотбор-

ной ступени в условиях выраженной окружающей неравномерности. Такая методика обеспечивает корректное воспроизведение простран-

NUMECA

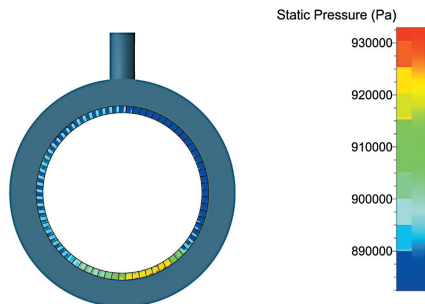


Рис. 3. Поле статического давления, Па, в поперечном сечении на входе в НА

ственной модели течения потока в зоне регенеративного отбора и создает основу для сравнения результатов моделирования с упрощенными схемами.

В результате численного моделирования получено распределение статического и полного давлений в зоне КО и перед СА послеотборной ступени.

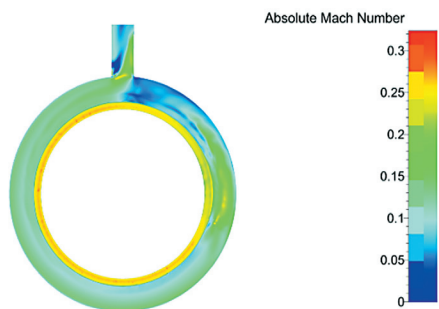
Поле статического давления в поперечном сечении после прохождения зоны отбора пара в КО на входе в НА (модель $k-\varepsilon$, соединение connect) показано на рис. 3. Здесь видно формирование выраженной окружной неравномерности давления по окружности на входе в НА, обусловленной односторонним отводом

пара через патрубок отбора и закруткой потока.

Разность между среднеинтегральными значениями статического давления на входе в НА (893,998 кПа) и на выходе из КО в патрубок (854,358 кПа) составила 4,43 %, что подтверждает достоверность численных результатов. Между тем, наблюдается существенная деформация поля параметров потока еще до входа в СА. Зона пониженного давления охватывает значительный сектор окружности, формируя устойчивую область возмущения.

Для объяснения механизма формирования выявленной окружной неравномерности выполнен анализ пространственной структуры течения потока в КО. Распределение числа Маха совместно с линиями тока, позволяющее визуализировать характер движения потока, показано на рис. 4, а–в. Полученные результаты показывают формирование устойчивой вихревой структуры в объеме КО, обусловленной односторонним отводом пара через патрубок и закруткой потока по ходу часовой стрелки. Возникающая циркуляционная зона приводит к перераспределению скоростей и давлений по окружности, что формирует выраженную неравномерность параметров потока на выходе из КО.

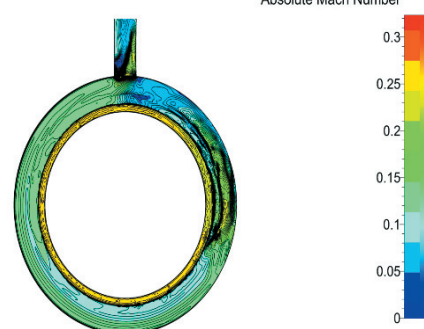
NUMECA



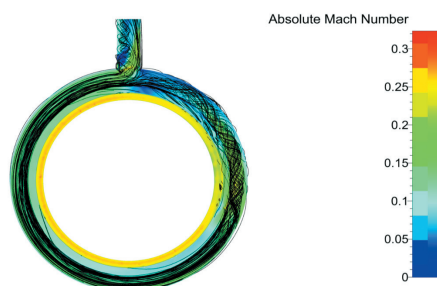
а

NUMECA

NUMECA



б



в

Рис. 4. Распределение числа Маха (а), 2D- (б) и 3D-линий тока (в) по исследуемой зоне

NUMECA

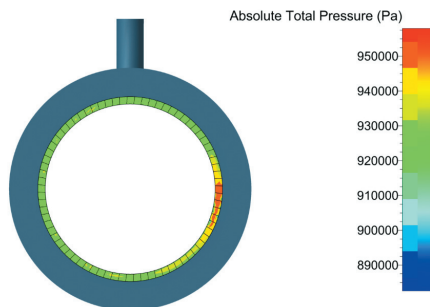


Рис. 5. Распределение полного давления, Па, по окружности перед сопловой решеткой

NUMECA

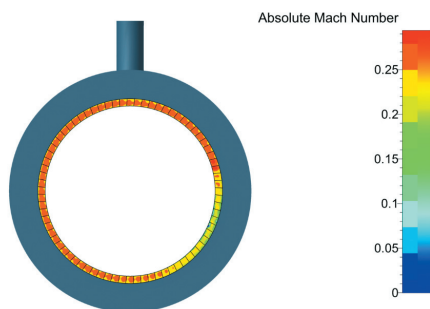


Рис. 6. Распределение числа Маха перед СА

Наличие такой вихревой структуры является основным фактором, определяющим формирование неравномерного входного поля перед СА послеотборной ступени (см. рис. 4, а–в).

Сформированная неравномерность сохраняется при переходе к входному сечению СА. Распределение полного давления по окружности перед сопловой решеткой (модель $k-\epsilon$) показано на рис. 5.

Окружная неравномерность проявляется также в распределении числа Маха перед СА (рис. 6). Видно, что минимальные значения полного давления соответствуют зоне расположения патрубка отбора, т. е. СА послеотборной ступени работает в условиях неравномерного входного поля, что противоречит предположению о равномерности, лежащему в основе классических расчетных методик.

Локальное снижение полного давления сопровождается изменением ускорения потока в межлопаточном канале и перераспределением скоростей по окружности. Это приводит к изменению локальных углов атаки на профилях сопловых лопаток и создает предпосылки для возникновения зон отрыва в отдельных секторах окружности.

В упрощенной и наиболее известной схеме постановки данной задачи (соединение интерфейсом rotor–stator и периодичная передача

NUMECA

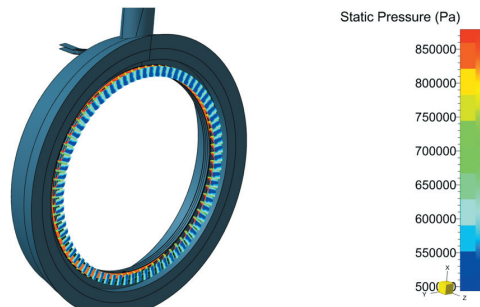


Рис. 7. Распределение статического давления, Па, между зоной отбора и НА

параметров между лопатками НА) наблюдается отсутствие окружной неравномерности и осреднение значений. Распределение статического давления в области взаимодействия рядов лопаток (между зоной отбора и НА) показано на рис. 7.

Сопоставление результатов, полученных для различных расчетных схем, показывает, что при использовании периодической постановки задачи происходит сглаживание входной неравномерности, что приводит к более равномерному распределению давления в СА и, как следствие, к завышению расчетного КПД послеотборной ступени.

При полном моделировании проточной части (full annulus) учет окружной асимметрии приводит к перераспределению потерь по окружности и снижению относительного внутреннего КПД послеотборной ступени. Разность между результатами полного моделирования и расчета по периодической схеме составила около 3 %, что подтверждает влияние КО на энергетические показатели послеотборной ступени.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование упрощенных периодических моделей при расчете послеотборной ступени может привести к систематическому завышению энергетических характеристик и недоучету влияния реальной структуры течения потока в зоне отбора.

Выводы

1. По результатам численного моделирования установлено, что КО формирует выраженную окружную неравномерность статического и полного давлений, охватывающую значительный сектор проточной части. Разность статического давления по окружности в зоне выхода из КО достигает около 4 %, между тем, в

данной постановке наблюдается существенная деформации входного поля параметров перед СА послеотборной ступени.

2. Показано, что сформированная в КО асимметрия не сглаживается при переходе к СА, а сохраняется и трансформируется в неравномерное распределение числа Маха и локальных углов атаки. Это приводит к перераспределению потерь по окружности и возникновению зон повышенной аэродинамической нагрузки на лопаточный аппарат.

3. Сравнение результатов полного моделирования кругового разворота и расчета в периодической постановке задачи, показало, что упрощенная схема приводит к искусственному выравниванию входной неравномерности и завышению расчетного КПД послеотборной

ступени. Разность между интегральными энергетическими характеристиками по различным схема достигала 3 %, что подтверждает необходимость учета реальной структуры течения потока при расчете ступеней, которые находятся за зоной регенеративного отбора. Дополнительно установлено, что сопряжения рядов лопаток влияют на структуру зон отрыва и распределение потерь, но снижение КПД связано с учетом неравномерности, которую формирует КО.

4. Результаты исследования свидетельствуют о том, что полное моделирование проточной части позволяет более корректно оценивать эффективность ступени и может быть использовано при проектировании и модернизации мощных паровых турбин.

Литература

- [1] Костюк А.Г., ред. *Паровые и газовые турбины для электростанций*. Москва, ИД МЭИ, 2008. 556 с.
- [2] Зарянкин А.Е., Парамонов А.Н., Фичорьяк О.М. и др. О влиянии регенеративных отборов пара на характер течения в послеотборных сопловых решетках. *Тяжелое машиностроение*, 2010, № 1, с. 22–26.
- [3] Szymaniak M., Gardzilewicz A. Modernisation of steam turbine construction at regenerative steam extraction point. *Task Quarterly*, 2011, vol. 14, no. 4, pp. 319–327.
- [4] Неуймин В.М., Подкорытова Л.Н., Тихомиров А.Н. и др. Затраты мощности на вентиляцию механически инертного пара в ступенях ЦНД паровых турбин. *Опыт создания турбин и дизелей*, 1977, № 4, с. 24–32.
- [5] Усачев И.П., Неуймин В.М., Тихомиров А.Н. Расчет и анализ установившихся режимов ЦНД паровых турбин. *Энергомашиностроение*, 1976, № 10, с. 11–13.
- [6] Неуймин В.М. Универсальная математическая зависимость для высокоточной оценки вентиляционных потерь мощности в ступени турбины ТЭС. *Надежность и безопасность энергетики*, 2011, № 1, № 2, с. 56–65.
- [7] Трохин Д.А. Определение вентиляционных потерь последней ступени теплофикационной турбины мощностью 450 МВт для АЭС. *Теоретические и практические аспекты научных исследований. Мат. Межд. науч.-практ. конф.* Нефтекамск, Мир Науки, с. 147–151.
- [8] Трохин Д.А. Вентиляционные потери в цилиндре низкого давления теплофикационной турбины мощностью 450 МВт для АЭС. *Фундаментальные и прикладные науки сегодня. Мат. XXVIII межд. науч.-практ. конф.* Bengaluru, Pothi.com, 2022, с. 129–134.
- [9] Трохин Д.А. Разработка методики расчета проточной части цилиндра низкого давления теплофикационной турбины с использованием CFD кода в программном комплексе Numesa. *Научные перспективы XXI века. Мат. Межд. науч.-практ. конф.* Нефтекамск, Мир науки, 2022, с. 34–44.
- [10] Denton J.D. The 1993 IGTI scholar lecture: loss mechanisms in turbomachines. *J. Turbomach.*, 1993, vol. 115, no. 4, pp. 621–656, doi: <https://doi.org/10.1115/1.2929299>
- [11] Rodriguez S. *Applied computational fluid dynamics and turbulence modeling*. Springer, 2019. 306 p.
- [12] Zhang L., Jiang W., Xie L. et al. Research on the aerodynamic performance and collaborative optimization design of the full-scale compact inlet chamber of a nuclear-powered steam turbine. *Machines*, 2024, vol. 12, no. 4, art. 262, doi: <https://doi.org/10.3390/machines12040262>

- [13] Gorman J., Bhattacharyya S., Cheng L. et al. Turbulence models commonly used in CFD. In: *Applications of computational fluid dynamics simulation and modeling*. IntechOpen, 2021, doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.99784>
- [14] Wilcox D.C. *Turbulence modeling for CFD*. DCW Industries, 2006. 522 p.
- [15] *Flow integrated environment. User Manual*. Brussels, Numeca Int., 2014.

References

- [1] Kostyuk A.G., ed. *Parovye i gazovye turbiny dlya elektrostantsiy* [Steam and gas turbines for power plants]. Moscow, ID MEI Publ., 2008. 556 p. (In Russ.).
- [2] Zaryankin A.E., Paramonov A.N., Fichoryak O.M. et al. On influence of regenerative bleed-off to nature of the stream of steam in postselect nozzle passages. *Tyazheloe mashinostroyeniye* [Russian Journal of Heavy Machinery], 2010, no. 1, pp. 22–26. (In Russ.).
- [3] Szymaniak M., Gardzilewicz A. Modernisation of steam turbine construction at regenerative steam extraction point. *Task Quarterly*, 2011, vol. 14, no. 4, pp. 319–327.
- [4] Neuymin V.M., Podkorytova L.N., Tikhomirov A.N. et al. Power consumption for ventilating mechanically inert steam in steam turbine low pressure cylinder stages. *Opyt sozdaniya turbin i dizeley*, 1977, no. 4, pp. 24–32. (In Russ.).
- [5] Usachev I.P., Neuymin V.M., Tikhomirov A.N. Calculation and analysis of steady-state modes of steam turbine low pressure cylinder stages. *Energomashinostroyeniye*, 1976, no. 10, pp. 11–13. (In Russ.).
- [6] Neuymin V.M. A universal mathematical relationship for highly accurate assessment of ventilation power losses in a thermal power plant turbine stage. *Nadezhnost i bezopasnost energetiki* [Safety and Reliability of Power Industry], 2011, no. 1, no. 2, pp. 56–65. (In Russ.).
- [7] Trokhin D.A. [Determination of ventilation losses last stage cogeneration turbine capacity of 450 MW for nuclear power plants]. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty nauchnykh issledovaniy. Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Theoretical and Practical Aspects of Research. Proc. Int. Sci.-Pract. Conf.]. Neftekamsk, Mir Nauki, pp. 147–151. (In Russ.).
- [8] Trokhin D.A. [Ventilation losses in the low-pressure cylinder of a 450 MW cogeneration turbine for a nuclear power plant]. *Fundamentalnye i prikladnye nauki segodnya. Mat. XXVIII mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Fundamental and Applied Sciences Today. Proc. XXVIII Int. Sci.] Bengaluru, Pothi.com Publ., 2022, pp. 129–134. (In Russ.).
- [9] Trokhin D.A. [Development of a calculation method for the flow path of a low-pressure cylinder of a cogeneration turbine using CFD code in the Numeca software package]. *Nauchnye perspektivy XXI veka. Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Scientific Perspectives of the XXI Century. Proc. Int. Sci.-Pract. Conf.]. Neftekamsk, Mir nauki Publ., 2022, pp. 34–44. (In Russ.).
- [10] Denton J.D. The 1993 IGTI scholar lecture: loss mechanisms in turbomachines. *J. Turbomach.*, 1993, vol. 115, no. 4, pp. 621–656, doi: <https://doi.org/10.1115/1.2929299>
- [11] Rodriguez S. *Applied computational fluid dynamics and turbulence modeling*. Springer, 2019. 306 p.
- [12] Zhang L., Jiang W., Xie L. et al. Research on the aerodynamic performance and collaborative optimization design of the full-scale compact inlet chamber of a nuclear-powered steam turbine. *Machines*, 2024, vol. 12, no. 4, art. 262, doi: <https://doi.org/10.3390/machines12040262>
- [13] Gorman J., Bhattacharyya S., Cheng L. et al. Turbulence models commonly used in CFD. In: *Applications of computational fluid dynamics simulation and modeling*. IntechOpen, 2021, doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.99784>
- [14] Wilcox D.C. *Turbulence modeling for CFD*. DCW Industries, 2006. 522 p.
- [15] *Flow integrated environment. User Manual*. Brussels, Numeca Int., 2014.

Информация об авторах

ТРОХИН Дмитрий Александрович — старший преподаватель кафедры паровых и газовых турбин. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (111250, Москва, Российская Федерация, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1, e-mail: TrokhinDA@mpei.ru).

МИТРОХОВА Ольга Михайловна — кандидат технических наук, доцент кафедры паровых и газовых турбин. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (111250, Москва, Российская Федерация, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1, e-mail: FichoriakOM@mpei.ru).

МУРАВЕЙКО Александр Сергеевич — инженер. ООО «НУМЕКА» (198095, Санкт-Петербург, Российская Федерация, ул. Маршала Говорова, д. 35, литера А, офис 216, e-mail: a.muraveiko@numeca.ru).

Information about the authors

TROKHIN Dmitry Alexandrovich — Senior Lecturer, Steam and Gas Turbines Department. National Research University Moscow Power Engineering Institute (111250, Moscow, Russian Federation, Krasnokazarmennaya St., Bldg. 14, Block 1, e-mail: TrokhinDA@mpei.ru).

MITROKHOVA Olga Mikhailovna — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Steam and Gas Turbines Department. National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (111250, Moscow, Russian Federation, Krasnokazarmennaya St., 14, Bldg. 14, Block 1, e-mail: FichoriakOM@mpei.ru).

MURAVEYKO Alexander Sergeyevich — Engineer. NUMECA LLC (198095, Saint-Petersburg, Russian Federation, Marshal Govorova St., Bldg. 35, Litera A, Office 216, e-mail: a.muraveiko@numeca.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Трохин Д.А., Митрохова О.М., Муравейко А.С. Исследование влияния неравномерности потока в камере отбора паровой турбины на послеотборную ступень. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2026, № 9, с. 110–118.

Please cite this article in English as:

Trokhin D.A., Mitrokhova O.M., Muraveyko A.S. Analysis of the influence of extraction chamber non-uniformity flow in a steam turbine on the post-extraction stage. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2026, no. 9, pp. 110–118.



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана предлагает читателям учебник Н.В. Быкова

«Газовая динамика»

Рассмотрены основные термодинамические свойства газов, существенные для газовой динамики; теория одномерных стационарных течений в каналах переменного сечения, в том числе соплах реактивных двигателей; теория прямого скачка уплотнения; теория одномерных нестационарных движений с образованием ударных волн и волн разрежения; теория плоских и пространственных течений идеального газа, а также вопросы влияния вязкости, теплопроводности, турбулентности и химических реакций на газовые потоки.

Для студентов, обучающихся по специальности 17.05.02 «Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие», а также для изучающих газовую динамику и механику жидкости и газа. Может представлять интерес для научных работников и инженеров, в том числе и для самообразования.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>