



ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДЕАЭРИРУЮЩЕГО КОНДЕНСАТОСБОРНИКА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПТ-60-130/13

А.Д. Водениктов, Н.Д. Чичирова

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5984-9944>, vodhan@mail.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Рассмотреть проблемы роста концентрации растворенного кислорода в основном конденсате паровых турбин. Оценить возможность интенсификации вакуумной термической деаэрации в конденсационной установке паровой турбины ПТ-60-130/13 ЛМЗ с целью снижения скорости коррозии конденсатно-питательного тракта. Провести испытания выносного деаэрационного конденсатосборника, обеспечивающего удаление кислорода за счет тепла рециркуляции и постояннодействующих дренажей. Определить динамику изменения концентрации растворенного кислорода в основном конденсате после включения устройства в работу. *МЕТОДЫ.* Для оценки качества работы выносного деаэрационного конденсатосборника проведены испытания по определению концентрации растворенного кислорода на напоре конденсатных насосов при различных расходах греющей среды. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* В статье приводятся результаты деаэрационных испытаний вышеописанного устройства. Приводится зависимость остаточной концентрации растворенного кислорода от расхода греющей среды. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Использование выносного деаэрационного конденсатосборника позволяет добиться концентрации кислорода ниже норм, установленных правилами технической эксплуатации и обеспечить поддержание нормального водно-химического режима. Во время проведения испытаний, кислородосодержание уменьшилось на 70% и достигло величины 8 мкг/дм³. Деаэрационный конденсатосборник рассмотренного типа может быть рекомендован к эксплуатации, особенно во время пусковых режимов и режимах с низкой тепловой нагрузкой на охлаждающую поверхность конденсатора.

Ключевые слова: Конденсатор, система регенерации, конденсат, деаэрация, кислород, паровая турбина, коррозия.

Для цитирования: Водениктов А.Д., Чичирова Н.Д. Исследование работы деаэрирующего конденсатосборника паровой турбины // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 6. С. 155-163. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-155-163.

INVESTIGATING THE DEARATING HOTWELL WORKING REGIMES OF THE PT-60-130/13 STEAM TURBINE

AD Vodeniktov, ND Chichirova

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

vodhan@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5984-9944> vodhan@mail.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* To consider the problems of the increasing dissolved oxygen concentration in feedwater, especially after the condensate pumps. To estimate the opportunity of the vacuum thermic deaeration intensification inside the PT-60-130/13 LMZ steam turbine condenser to reduce the feedwater system rate of corrosion. Perform a thermal test of the external deaerating hotwell, which provides reducing dissolved oxygen concentration by the hot drains and recirculating feedwater. To evaluate the march of the dissolved oxygen concentration in feedwater after the inclusion of the deaerating hotwell. *METHODS.* The thermal test of the external deaerating hotwell was chosen for evaluating water deaeration.

RESULTS. In this paper, the results of the thermal tests are given. The relation of the dissolved oxygen concentration from heating fluid flow is also presented. CONCLUSION. . The use of the external deaerating hotwell allows achieving dissolved oxygen concentration below the norms established by the code of operation for electrical power plants and grids to ensure the maintenance of an acceptable water-chemical regime of the feedwater. During the tests, the dissolved oxygen concentration decreased by 70% and reached a value of 8 mcg/dm³. The deaerating hotwell of the considered type can be recommended for the operation, especially during start-up modes and modes with the low thermal load on the condenser cooling surface.

Keywords: *Condenser, feed water, steam turbine, oxygen, deaeration, corrosion.*

For citation: Vodenikov AD, Chichirova ND. Investigating the deaerating hotwell working regimes of the pt-60-130/13 steam turbine. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020;22(6):155-163. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-155-163.

Введение

Экономичность и надежность производства электрической и тепловой энергии на тепловых электростанциях (ТЭС) зависят от множества факторов [1,2]. Не последнюю роль в этой задаче является совершенство основного и вспомогательного оборудования ТЭС. Особое внимание уделяется конденсаторам паровых турбин, служащих для фазового перехода отработавшего в турбине пара и, зачастую, определяющих экономичность турбины [3,4]. Применяемые на сегодняшний день регенеративные конденсаторы, как правило, гарантируют низкую концентрацию растворенного кислорода в основном конденсате паровой турбины. Для новых паротурбинных установок также разрабатываются алгоритмы и программные комплексы, позволяющие непрерывно контролировать состояние конденсационной установки и её узлов [5,6], а также определять наиболее оптимальные условия эксплуатации [7]. Однако, для длительно работающих турбин с неудовлетворительной плотностью вакуумной системы и повышенной величиной присосов, зачастую не удается достичь требуемого качества основного конденсата. Особенно остро эта проблема стоит для теплофикационных паровых турбин, традиционно работающих с низким пропуском пара в конденсатор. Уменьшение удельной паровой нагрузки на теплообменную поверхность ведет к ухудшению условий деаэрации основного конденсата и стремительному росту концентрации растворенного кислорода в основном конденсате [8]. Как известно, концентрация кислорода в основном конденсате не влияет на экономичность работы паровой турбины или энергоблока. Однако, продолжительная работа конденсатно-питательного тракта с обогащенной кислородом водой может ускорить выход из строя как основного, так и вспомогательного оборудования [9]. Угроза финансовых потерь от внеплановых простоев заставляет персонал электростанций искать пути обеспечения надлежащей деаэрирующей способности конденсатора на всем диапазоне нагрузок [10].

На сегодняшний день отсутствуют инновационные предложения по увеличению деаэрирующей способности конденсатора. Современные подходы базируются на концепциях, предложенных в 60-х годах прошлого века. Способность конденсатора деаэрировать кислород определяется еще на этапе проектирования. Так, в первой половине XX века применялись нерегенеративные конденсаторы, имеющие компоновку трубных пучков с высоким паровым сопротивлением без регенеративных проходов пара к конденсату. Переход к регенеративным конденсаторам позволил увеличить площадь и время контакта между стекающим с трубок конденсатом и отработавшим паром. Это привело к снижению переохлаждения конденсата и, как следствие, к снижению концентрации растворенного кислорода. Стоит отметить, что помимо улучшения качества основного конденсата, рациональная компоновка трубных пучков позволяет увеличить мощность паровой турбины [11]. Так, согласно [12], замена модульной компоновки трубных пучков на компоновку типа «*Radiant*» (рис. 1) позволила повысить мощность паровой турбины на 12-14 МВт.

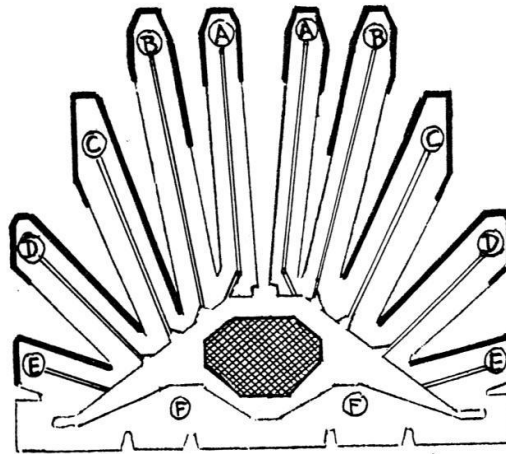


Рис. 1. Пример современной компоновки трубных пучков. Тип «Radiant»

Следующим шагом улучшения деаэрирующей способности можно назвать применение деаэрационных конденсатосборников. В конструкциях конденсаторов отечественных и зарубежных турбин подобное решение применяется более 60 лет. В зависимости от схемы организации потоков основного конденсата и греющей среды, деаэрационные устройства конденсаторов подразделяются на пленочные, насадочные, струйные (при движении воды в паре) и барботажные (при движении пара в воде). Подобные устройства применяются на турбинах К-300-240 ЛМЗ (рис. 2), К-300-240 и К-500-240 ХТГЗ, Т-175/210-130 УТЗ и многих других. Как показал опыт эксплуатации, данные устройства позволяют обеспечить поддержание требуемой концентрации растворенного кислорода в основном конденсате на большинстве рабочих режимов паровой турбина. Результаты серии испытаний, показывающие зависимость остаточного содержания кислорода в конденсате после деаэрационного устройства от удельного расхода пара на деаэрацию, при работе блока в диапазоне 130-300 МВт, абсолютном давлении в конденсаторе 3,7-6,0 кПа и начальной температуре охлаждающей воды 4-18°C, представлены на рис. 3 [8].

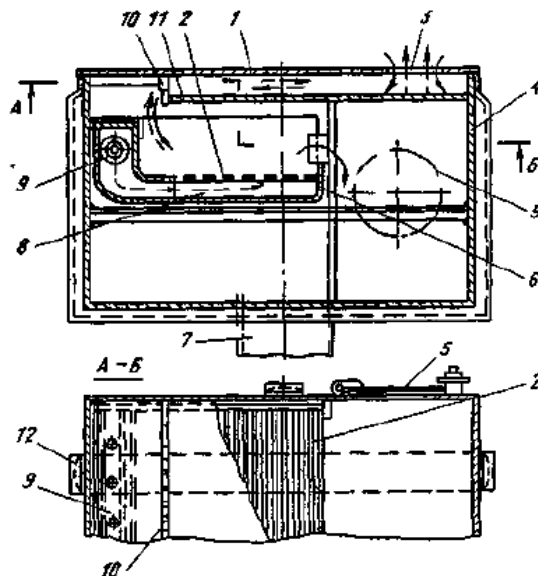


Рис. 2. 1-конденсатор, 2-барботажный лист, 3-подвод конденсата и отвод выпара, 4-корпус конденсатосборника, 5-лаз (люк), 6-перегородки (порог), 7-отвод конденсата к насосам, 8-паровая камера, 9-паровой коллектор, 10-зубчатый порог (распределительный водослив), 11-лист, 12-попояса жесткости.

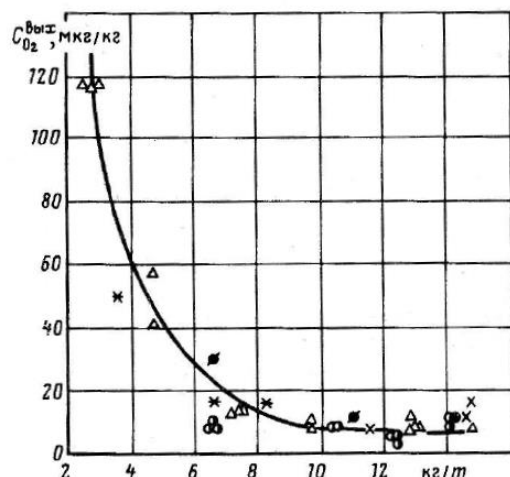


Рис. 3. Зависимость концентрации растворенного кислорода в основном конденсате на выходе из деаэрационного устройства от удельного расхода пара на барботаж (график построен по данным серии экспериментов)

Однако, для самых многочисленных теплофикационных турбин – ПТ-60-130/13 ЛМЗ и Т-100/110-130 УТЗ, деаэрационные устройства конденсаторов не получили широкого распространения. Существующие улучшения для конденсаторов данных турбин направлены, как правило, на интенсификацию процессов теплообмена между трубками и обработавшим паром [13]. Данное обстоятельство подталкивает эксплуатантов к разработке единичных нововведений и использованию таких решений, как выносные деаэрирующие конденсатосборники [14].

Материалы и методы испытания деаэрационного конденсатосборника

Модернизация тепловой схемы с помощью деаэрационного конденсатосборника была выполнена на турбине ПТ-60-130/13 Набережночелнинской ТЭЦ, оснащенной конденсатором 60-КЦС. Схема регенерации низкого давления турбоустановки типовая – включает 4 подогревателя низкого давления (ПНД-1,2,3,4) поверхностного типа, охладитель пара промежуточных уплотнений (ПУ), вакуумный сальниковый подогреватель с эжектором (ПС-50) и холодильники основных эжекторов (А и Б) (рис.4.).

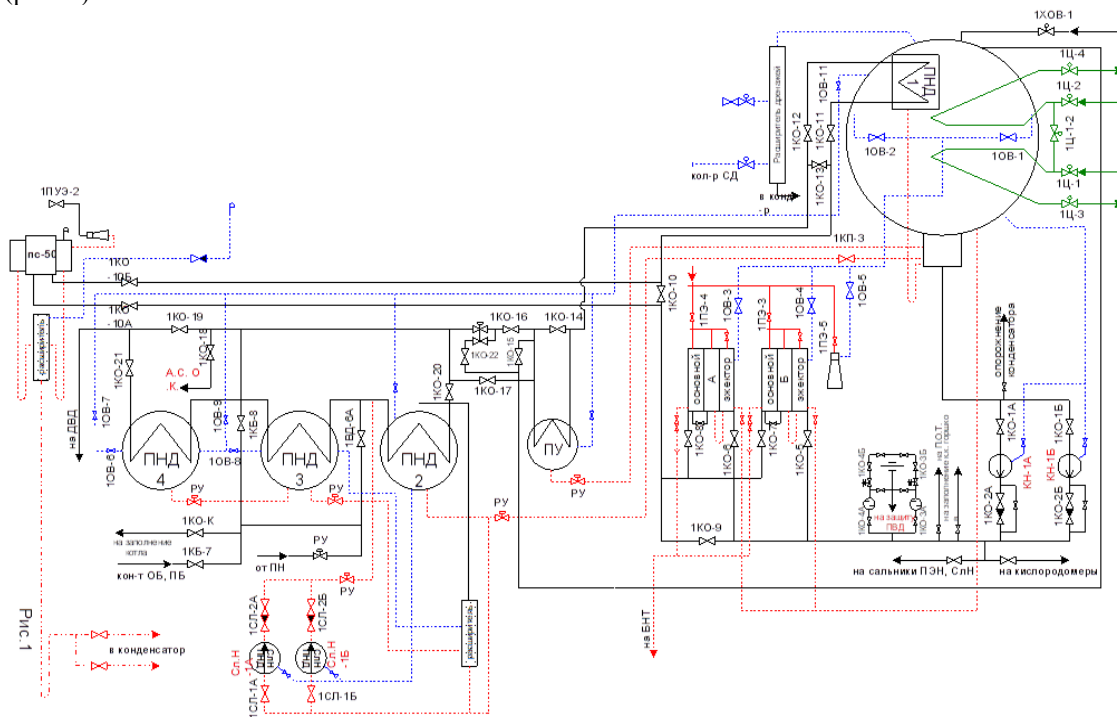


Рис. 4. Тепловая схема системы регенерации паровой турбины ПТ-60-130/13 ЛМЗ.

Слив конденсата греющего пара из ПНД № 4,3,2 каскадный, из ПНД-4 – в ПНД-3, 158

из ПНД-3 – в ПНД-2. Из ПНД-2 конденсат откачивается двумя сливными насосами (СлН ПНД) в линию основного конденсата за ПНД-2. При пусковом режиме турбины конденсат греющего пара подогревателей низкого давления сливается каскадно в ПНД-2, а затем направляется в конденсатор. Температуры основного конденсата за подогревателями низкого давления, при работе турбины в конденсационном режиме, представлены на рис. 5.

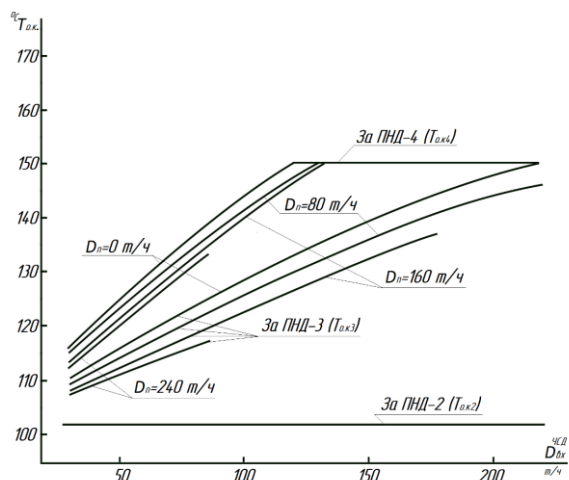


Рис. 5. Диаграмма температур основного конденсата после подогревателей системы регенерации при различных расходах пара через ЧСД

Конденсатор 60-КЦС имеет подвальное поперечное расположение. Выполнен двухходовым, однокорпусным, площадь поверхности охлаждения составляет 3000 м². Номинальный расход пара в конденсатор составляет 160 т/ч. Как показывает практика [15], при эксплуатации турбин, с ростом расхода пара в конденсатор, наблюдается улучшение процесса деаэрации. Проблема нормирования качества турбинного конденсата по содержанию диоксида углерода представлена в работе [16]. Однако, результатов полноценных, всережимных деаэрационных испытаний для данных турбин, описывающих их деаэрирующую способность, в литературе не встречается.

На турбине ПТ-60, в рамках инвестиционной программы, был установлен выносной деаэрационный конденсатосборник, разработанный компанией «Экотех». Данный конденсатосборник предназначен для удаления кислорода из основного конденсата теплофикационных турбин и, тем самым, защиты тракта основного конденсата от коррозии. Насыщение основного конденсата турбины кислородом происходит, как правило, на режимах со значительным отбором пара в сетевые подогреватели и, соответственно, низкой паровой нагрузкой конденсатора. В основе конструкции конденсатосборника заложена двухступенчатая схема деаэрации конденсата, включающая сначала обработку на заглубленном барботажном устройстве, а затем обработку на барботажном листе в тонком слое. Длительный период эксплуатации деаэрирующих конденсатосборников подтвердил высокую надежность двухступенчатой схемы деаэрации, обеспечивающей низкое содержание растворенного кислорода в конденсате при его значительном переохлаждении и переменных режимах работы турбины. Схема конденсатосборника показана на рис. 6.

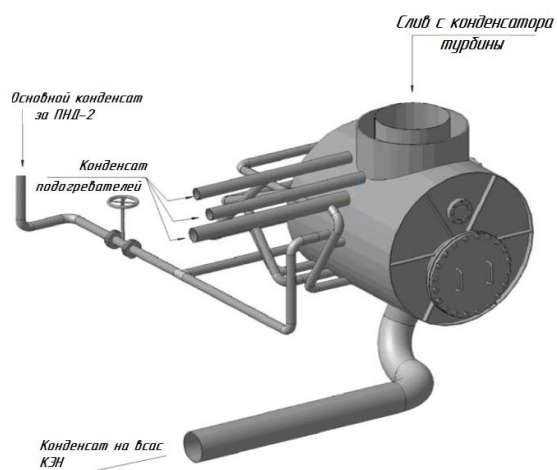


Рис. 6. Схема деаэрационного конденсатосборника

Благодаря заглубленному размещению коллекторов тепловая энергия греющей среды расходуется на нагрев конденсата без сброса неусвоенного пара в паровое пространство конденсатора. При этом конструкция деазирующих конденсатосборников исключает возможность запаривания конденсатора (снижения вакуума в конденсаторе турбины) и, соответственно, ограничения выработки электрической мощности. Расход выпара деазирующего конденсатосборника зависит от расхода основного конденсата и греющей среды, и не превышает 1 т/ч, что не накладывает существенных ограничений на выработку электроэнергии турбоагрегата.

На сегодняшний день отсутствуют программы испытаний подобных устройств. Основным критерием работоспособности устройства является достижение необходимой концентрации растворенного кислорода на напоре конденсационных насосов.

Результаты испытаний

Программа испытаний установленного конденсатосборника предусматривала доведение концентрации растворенного кислорода до величин, установленных правилами технической эксплуатации. На момент начала испытаний турбина несла нагрузку 56 МВт, концентрация кислорода на напоре конденсатных насосов – 27 мкг/л.

В 11:00 при полностью закрытом регуляторе греющей среды произведена фиксация концентрации растворенного кислорода.

В 11:30 был установлен расход греющей среды 5 т/ч. Началось медленное снижение концентрации растворенного кислорода до 25 мкг/л.

В 12:05 при расходе греющей среды 5,5 т/ч, концентрация растворенного кислорода снизилась до величины 15 мкг/л.

В 12:30 на момент окончания работ, концентрация растворенного кислорода на напоре конденсатных насосов установилась на уровне 8 мкг/л.

График изменения концентрации кислорода в период проведения испытаний представлен на рис. 7.

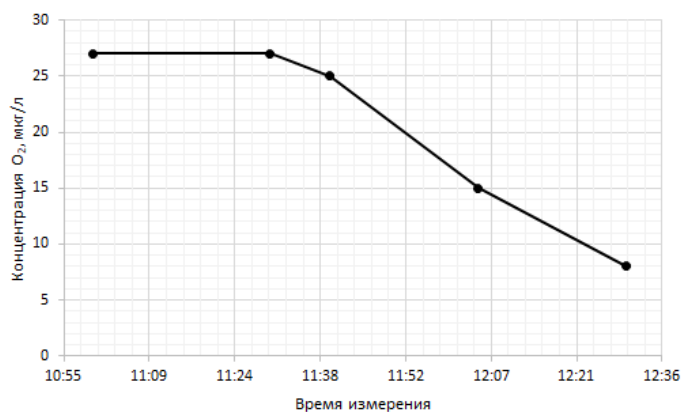


Рис. 7. График изменения концентрации кислорода

Как показывает мониторинг водно-химического режима рассматриваемой турбины, при работе конденсатосборника наблюдается устойчивое поддержание

концентрации растворенного кислорода на уровне 10 мкг/л.

Вышеописанные результаты говорят о работоспособности устройства и его эффективности как вакуумного деаэратаора.

Обсуждение

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что основная причина повышенного кислородосодержания заключалась, вероятнее всего, в присосах атмосферного воздуха в паровое пространство конденсатора. Низкая концентрация растворенного кислорода после конденсатных насосов свидетельствует об отсутствии значительных присосов под уровень конденсата.

Рассматриваемый конденсатосборник рассчитан на максимальный расход греющей среды 16 т/ч, что при максимальном расходе пара в конденсатор 160 т/ч, дает удельный расход 100 кг греющей среды на 1 тонну основного конденсата (без учета ввода подпиточной воды в конденсатор), что значительно выше, чем в деаэрационном устройстве конденсатора 300-КЦС-1. Это объясняется тем, что теплосодержание конденсата после ПНД-2 значительно ниже, чем теплосодержание перегретого пара из отбора турбины.

Главный недостаток данного устройства – его внешнее расположение. Невозможность встраивания в существующий конденсатосборник делает ограниченным применение данного типа устройств на электростанциях. Так, исследуемый конденсатосборник имеет габариты 1650x1732x1708 мм. Подобные размеры требуют значительного свободного пространства в ячейке между конденсатором и конденсатными насосами.

Также стоит отметить, что увеличение размеров вакуумной системы, путем подключения смешивающего подогревателя, дополнительных трубопроводов и трубопроводной арматуры, ведет к росту потенциальных мест присосов. При работе конденсатосборника, трубопроводы подвода греющей среды будут находиться под избыточным давлением, что исключит возможность попадания атмосферного воздуха в конденсатосборник. Однако бак конденсатосборника и трубопровод отвода деаэрированного конденсата всегда работают под разрежением.

Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод, что включение данного конденсатосборника в работу наиболее целесообразно во время пусковых операций, а также при работе турбины с низким пропуском пара в конденсатор. Данная рекомендация подтверждается опытом эксплуатации и деаэрационными испытаниями конденсационных турбин (рис.8). Так, согласно [14], при увеличении расхода пара в конденсатор, величина растворенного кислорода в основном конденсате будет снижаться. Для большинства конденсаторов, качество основного конденсата резко ухудшается при паровой нагрузке, составляющей 50% и менее от номинальной. Также включение устройства может потребоваться при снижении температуры охлаждающей воды и следующим за ним увеличением кислородосодержания [17].

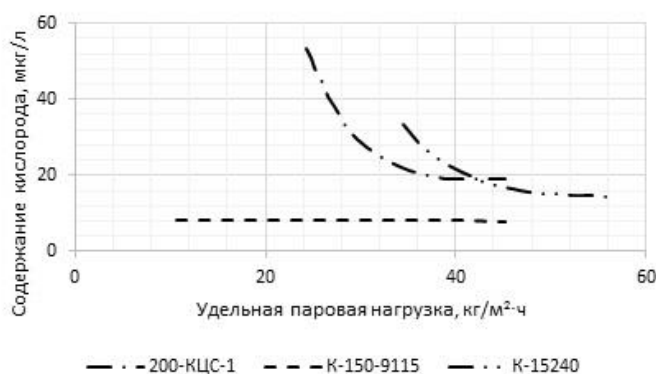


Рис. 8. Зависимость концентрации растворенного кислорода от удельной паровой нагрузки

Изменение работы конденсатора на малых нагрузках можно объяснить ухудшением процесса теплообмена на этих режимах. При неизменности температуры и расхода охлаждающей воды это может быть вызвано несоответствием характеристик конденсатора и воздухоотсасывающего устройства. В результате конденсатор переходит на режим работы с ухудшенным вакуумом. Для компенсации этого несоответствия в объеме конденсатора накапливается дополнительный воздух, который, находясь главным образом в области, близкой к конденсатосборнику насыщает конденсат [8].

Выводы

1. Конструкция выносного деаэрирующего конденсатосборника компании «Экотех» позволяет добиться концентрации растворенного кислорода ниже значений, установленных правилами технической эксплуатации.

2. Данная конструкция, не смотря на свою простоту и эффективность, не лишена недостатков. Громоздкость устройства, ведущая к росту объема вакуумной системы, создает потенциальную опасность увеличения величины присосов воздуха в вакуумную систему.

3. Наиболее целесообразным является включение в работу устройства при низкой удельной паровой нагрузке охлаждающей поверхности конденсатора. Данный режим характерен работе теплофикационной турбины по тепловому графику с закрытой диафрагмой, который, вкупе с высоким расходом добавочной воды в конденсатор, затрудняет получение качественного конденсата в конденсаторе паровой турбины.

Литература

1. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019. №3 (43).
2. Аминов Р.З., Гариевский М.В.. Эффективность работы парогазовых ТЭЦ при переменных электрических нагрузках с учетом износа оборудования // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2018. №7-8.
3. Alabrudzinski S., Markowski M., Trafczynski M., Urbaniec K. The Influence of Fouling Build-up in Condenser Tubes on Power Generated by a Condensing Turbine. Chemical Engineering Transactions. 2016. V. 52. P. 1225-1230.
4. Gap Park Y., Youl Yoon S., Min Seo Y., et al. A study on the optimal arrangement of tube bundle for the performance enhancement of a steam turbine surface condenser, Applied Thermal Engineering (2019).
5. Wei W., Deliang Z., Jizhen L., Yuguang N., Can C. Feasibility analysis of changing turbine load in power plants using continuous condenser pressure adjustment. Energy. 2014. V. 64. P. 533-540.
6. Medica-Viola V., Pavković B., Mrzljak V. (2018). Numerical model for on-condition monitoring of condenser in coal-fired power plants. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018. V. 117. P. 912-923.
7. Anozie A.N., Odejobi O.J. The search for optimum condenser cooling water flow rate in a thermal power plant. Applied Thermal Engineering. 2011. V. 31. P. 4083-4090.
8. Шкловер, Г. Г. Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин. М.: Энергоатомиздат, 1985. 240 с.
9. Шемпелев А.Г., Иглин П.В., Сущих В.М. Оценка влияния эксплуатационных факторов на содержание кислорода в конденсате на выходе из конденсатора паровой турбины // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 2 (34). С. 81-89.
10. Шемпелев А.Г., Иглин П.В. О причинах повышенного содержания кислорода в конденсате при работе конденсатора в близких к номинальным режимам // Общество. Наука. Инновации (НПК-2017). Киров: Вятский государственный университет, 2017. С. 2385-2391.
11. Бродов Ю.М. Современное состояние и тенденции в проектировании и эксплуатации конденсаторов мощных паровых турбин ТЭС и АЭС. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. 100 с.
12. L. de Kerret, et al. A Case Study of the French Nuclear Power Industry Steam Surface Condenser Tubes Forty Years Later // EPRI Condenser Symposium. August 3–4, 2011. Chicago, Illinois. P. 10
13. Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю., и др. Повышение эффективности теплообменных аппаратов паротурбинных установок за счет применения профильных витых трубок // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2016. №7-8.
14. Деаэрирующий конденсатосборник для турбин (ДК ЭКОТЕХ). — Текст : электронный // ЭКОТЕХ : Доступно по: URL: <https://ecology-technology.ru/katalog-oborudovaniya/dk-ecotech-dlja-turbin/>. Ссылка активна на: 21.12.2020.
15. Кирш А. К. Деаэрация конденсата в конденсаторах паровых турбин / М.: Бюро технической информации ОРГРЭС, 1960. 28 с.
16. Виноградов В.Н., Ледуховский Г.В., Барочкин А.Е, и др. Деаэрационные испытания конденсатора турбины при повышенном содержании свободной углекислоты в остром паре // Вестник ИГЭУ. 2009. №2.
17. Водениктов А.Д., Чичирова Н.Д. Влияние температуры охлаждающей воды на деаэрирующую способность конденсатора 200-КЦС-2 // Труды Академэнерго. 2020. №4 (61).

Авторы публикации

Водениктов Артем Дмитриевич – аспирант кафедры «Тепловые электрические станции» (ТЭС), Казанский государственный энергетический университет.

Чичирова Наталья Дмитриевна – д-р хим. наук, профессор, заведующая кафедрой «Тепловые электрические станции» (ТЭС), Казанский государственный энергетический университет.

References

1. Mendelev DI, Mar'in GE, Ahmetshin AR.. Pokazateli rezhimnykh karakteristik parogazovogo energobloka PGU-110 MVt na chastichnykh nagruzkah. *Vestnik KGEU*. 2019;3(43).
2. Aminov RZ, Garievsky MV. The efficiency of combined-cycle chp plant with variable electric loads, taking into account the wear and tear of equipment. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2018;20(7-8):10-22. Available at: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-7-8-10-22>
3. Alabrudzinski S, Markowski M., Trafczynski M, et al. The Influence of Fouling Build-up in Condenser Tubes on Power Generated by a Condensing Turbine. *Chemical Engineering Transactions*. 2016;52:1225-1230. doi: 10.3303/CET1652205
4. Gap Park Y, Youl Yoon S, Min Seo Y, M. et al. A study on the optimal arrangement of tube bundle for the performance enhancement of a steam turbine surface condenser. *Applied Thermal Engineering* (2019). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114681>.
5. Wei W, Deliang Z, Jizhen L, et al. Feasibility analysis of changing turbine load in power plants using continuous condenser pressure adjustment. *Energy*. 2014;64:533-540. doi: 10.1016/j.energy.2013.11.001.
6. Medica-Viola V, Pavković B, Mrzljak V. (2018). Numerical model for on-condition monitoring of condenser in coal-fired power plants. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2018;117:912-923. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.
7. Anozie A.N., Odejobi O.J. The search for optimum condenser cooling water flow rate in a thermal power plant. *Applied Thermal Engineering*. 2011;31:4083-4090. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.08.014.
8. SHklover GG. *Issledovanie i raschet kondensacionnykh ustrojstv parovykh turbin*. M.: Energoatomizdat, 1985. 240 p.
9. Hemelev AG, Iglin PV, Sushchih VM. Ocenka vliyaniya ekspluatacionnykh faktorov na sodержание kisloroda v kondensate na vyhode iz kondensatora parovoy turbiny. *Problemy regional'noj energetiki*. 2017;2(34):81-89.
10. Hemelev S.A.G., Iglin P.V. O prichinakh povyshennogo sodержaniya kisloroda v kondensate pri rabote kondensatora v blizkikh k nominal'nom rezhima. *Obshchestvo. Nauka. Innovacii* (NPK-2017). Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy universitet. 2017. p. 2385-2391.
11. Brodov YUM. *Sovremennoe sostoyanie i tendencii v proektirovanii i ekspluatatsii kondensatorov moshchnykh parovykh turbin TES i AES*. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2019. 100 p.
12. Kerret Le., et al. *A Case Study of the French Nuclear Power Industry Steam Surface Condenser Tubes Forty Years Later*. EPRI Condenser Symposium. August 3–4, 2011. Chicago, Illinois. P. 10
13. Brodov YuM, Aronson KE, Ryabchikov AYU, et al. Povyshenie effektivnosti teploobmennyykh apparatov paroturbinnyykh ustanovok za schet primeneniya profil'nykh vitykh trubok *Izvestiya Vuzov. Problemy energetiki*. 2016:7-8.
14. Deaeriruyushchij kondensatosbornik dlya turbin (DK EKOTEKH) URL: <https://ecology-technology.ru/katalog-oborudovaniya/dk-ecotech-dlja-turbin/> Accessed to: 21.12.2020.
15. Kirsh AK. Deaeraciya kondensata v kondensatorah parovykh turbin. M.: Byuro tekhnicheskoy informacii ORGRES, 1960. 28 p.
16. Vinogradov VN, Leduhovskij GV, Barochkin A.E, Prohorova E.A. Deaeracionnye ispytaniya kondensatora turbiny pri povyshennom sodержanii svobodnoj uglekisloty v ostrom pare. *Vestnik IGEU*. 2009;2.
17. Vodeniktov AD, Chichirova ND. Influence of the temperature of the cooling water on the deaeration capacity in the KCS-200-2 condenser. *Transactions of Academenergo*. 2020;4 (61).

Authors of the publication

Artem D. Vodeniktov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Nataliya. D. Chihirova – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Получено

20 ноября 2020г.

Отредактировано

11 декабря 2020г.

Принято

14 декабря 2020г.