



Энергоэффективная схема включения вакуумного деаэратора в систему регенерации тепло- фикационной турбоустановки

Качество обработки воды в значительной степени влияет на надёжность и экономичность работы оборудования теплоисточников. Процесс водоподготовки состоит из нескольких этапов, заключительным из которых является деаэрация, то есть удаление из воды растворённых в ней коррозионно-активных газов.

На экономичность работы систем теплоснабжения и теплоисточников существенно влияют технологии деаэрации воды [1]. В работах [2–5] установлено, что наибольшая энергетическая эффективность достигается при вакуумной деаэрации воды с минимальной температурой теплоносителей, участвующих в деаэрации. Естественно, при этом должен соблюдаться технологически необходимый температурный режим деаэрации, обеспечивающий соблюдение требований качества обработанной воды.

Повышение энергетической эффективности вакуумной деаэрации может быть осуществлено с помощью совершенствования способов регулирования процесса деаэрации [6, 7] или схем включения вакуумных деаэраторов в теплофикационные турбоустановки [8, 9].

Качественная противокоррозионная обработка технологических потоков воды при минимально возможной температуре

деаэрации приводит к повышению энергетической эффективности теплофикационных турбоустановок и, как следствие, повышению экономичности работы всей тепловой электрической станции. Особенно актуально это положение для открытых систем теплоснабжения с большими расходами подпиточной воды: чем ниже температура деаэрированной подпиточной воды, тем ниже температура обратной сетевой воды, с которой подпиточная вода смешивается, и тем ниже потенциал отопительных отборов пара теплофикационных турбин, которым подогревается сетевая вода. Величина же потенциала отборов пара непосредственно влияет на выработку электроэнергии на тепловом потреблении [4].

На экономичность работы систем теплоснабжения и теплоисточников существенно влияют технологии деаэрации воды [1]. В работах [2–5] установлено, что наибольшая энергоэффективность достигается при вакуумной деаэрации воды с минимальной температурой теплоносителей, участвующих в деаэрации

Рецензия эксперта на статью получена 22.05.2019 [Expert review on the article received on May 22, 2019].

УДК 621.187.124. Номер специальности: 05.14.04; 05.23.03.

Энергоэффективная схема включения вакуумного деаэратора в систему регенерации теплофикационной турбоустановки

Владимир И. Шарапов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой; **Ольга В. Пазушкина**, к.т.н., доцент; **Максим В. Золин**, студент магистратуры, кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция», Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ)

На экономичность работы систем теплоснабжения и теплоисточников существенно влияют технологии вакуумной деаэрации воды. Качественная противокоррозионная обработка воды при минимально возможной температуре деаэрации приводит к повышению энергетической эффективности теплоисточников. На энергетическую эффективность также большое влияние оказывает режим работы теплофикационных паровых турбин. Разработана технология вакуумной деаэрации воды, позволяющая повысить надёжность и экономичность работы теплоэнергетической установки в теплофикационных режимах с малым пропуском пара в конденсатор турбины.

Ключевые слова: системы теплоснабжения, подпиточная вода теплосети, узел вакуумной деаэрации, энергетическая эффективность.

UDC 621.187.124. Number of scientific specialty: 05.14.04; 05.23.03.

Energy efficient circuit for incorporation of a vacuum deaerator into the regeneration system of a heating turbine

Vladimir I. Sharapov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department; **Olga V. Pazushkina**, PhD, Associate Professor; **Maxim V. Zolin**, master's student, the Department of the Heat and Gas Supply and Ventilation, Ulyanovsk State Technical University (Ulstu)

The economical operation of heat supply systems and heat sources is significantly affected by the technology of vacuum deaeration of water. High-quality anticorrosive treatment of water at the lowest possible temperature of deaeration leads to an increase in the energy efficiency of heat sources. Energy efficiency is also greatly influenced by the operation mode of steam-generating steam turbines. The technology of vacuum de-aeration of water has been developed, which allows to increase the reliability and efficiency of the operation of the heat and power plant in heat and power plants with a small pass of steam into the turbine condenser.

Key words: heat supply systems, make-up water of the heating system, vacuum deaeration unit, energy efficiency.

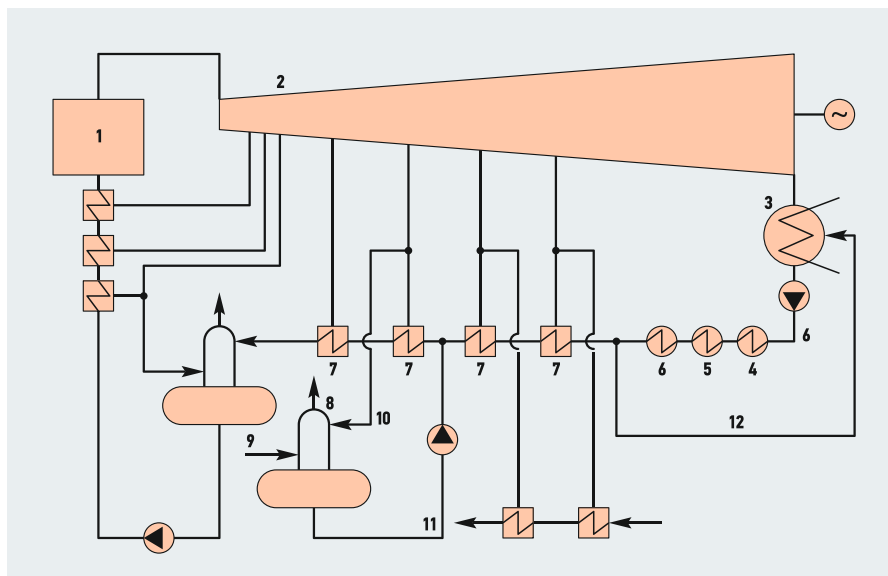


Рис. 1. Принципиальная схема тепловой электрической станции с рециркуляцией основного конденсата (1 — паровой котёл; 2 — теплофикационная турбина; 3 — конденсатор; 4 — охладитель основного эжектора; 5 — охладитель пара уплотнений; 6 — сальниковый подогреватель; 7 — подогреватели низкого давления; 8 — деаэратор; 9 — трубопровод исходной воды; 10 — трубопровод греющего агента; 11 — трубопровод добавочной питательной воды; 12 — трубопровод рециркуляции)

На энергетическую эффективность ТЭЦ также оказывают большое влияние режимы работы теплофикационных паровых турбин. Наиболее экономичными являются режимы с полностью загруженными отопительными отборами и минимальными пропусками пара в конденсатор. Минимальный (вентиляционный) пропуск пара через часть низкого давления определяется конструкцией турбины. В режимах работы турбины с малыми пропусками пара в конденсатор количество основного конденсата турбины становится недостаточным для охлаждения сальниковых подогревателей, охладите-

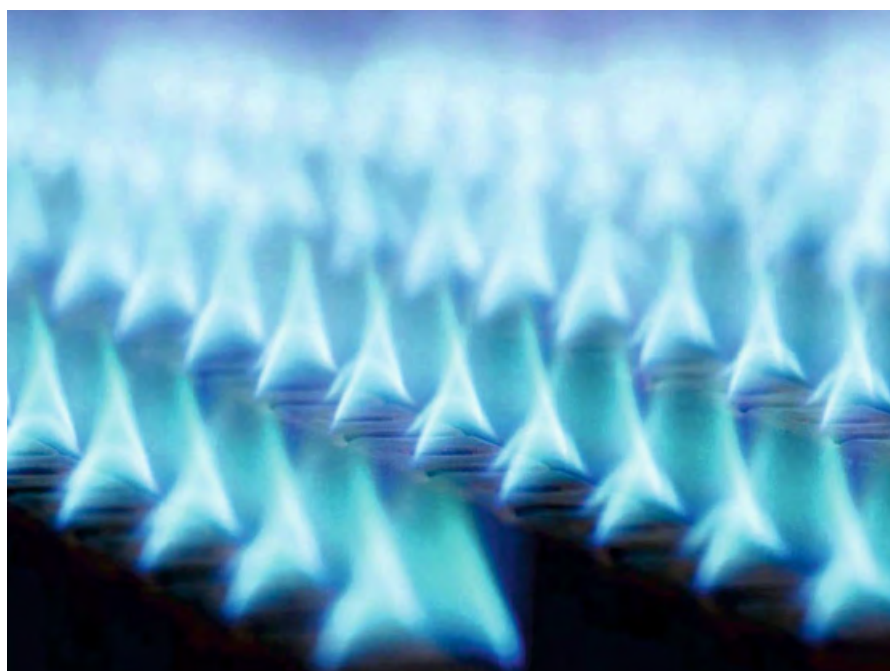
лей эжекторов и уплотнений, включённых в линию основного конденсата.

Существует ряд конструктивных решений, в той или иной мере позволяющих снизить потери теплоты в конденсаторе и решающих проблему использования теплоты, отводимой от охладителей эжекторов, уплотнений турбины и сальникового подогревателя. Наиболее распространена и наименее экономична схема ТЭЦ с применением рециркуляции основного конденсата турбины и сбросом этого конденсата в конденсатор (рис. 1).

Недостаток изображённой на рис. 1 схемы заключается в пониженной надёж-

ности и экономичности работы теплофикационной турбинной установки в теплофикационных режимах работы турбины с малыми пропусками пара в конденсатор, так как в этих режимах не обеспечивается достаточное охлаждение включённых в трубопровод основного конденсата турбины охладителя эжекторов, охладителя уплотнений, сальникового подогревателя.

Рециркуляция основного конденсата со сбросом конденсата в конденсатор приводит к потерям теплоты, так как теплота нагретого во вспомогательных теплообменниках турбины конденсата, поступающего в конденсатор по линии рециркуляции, отдаётся циркуляционной воде и не используется в цикле электростанции. Эти потери теплоты достаточно велики и сопоставимы с потерями от пропуска пара в конденсатор.



Для исключения этих недостатков нами предложены и запатентованы новые решения, позволяющие исключить такие потери теплоты в конденсаторе.

Рассмотрим одно из решений [10], позволяющее существенно повысить надёжность и экономичность теплофикационных турбоустановок в зимних режимах с малым пропуском пара в конденсатор (рис. 2).

Реализуемая в этом решении технология работы теплофикационной турбоустановки предполагает использовать для охлаждения охладителя эжекторов, охладителя уплотнений и сальникового подогревателя помимо небольшого количества основного конденсата турбины значительное количество деаэрированной добавочной питательной воды и каскадно сбрасываемого охлаждённого конденсата регенеративных подогревателей низкого давления.

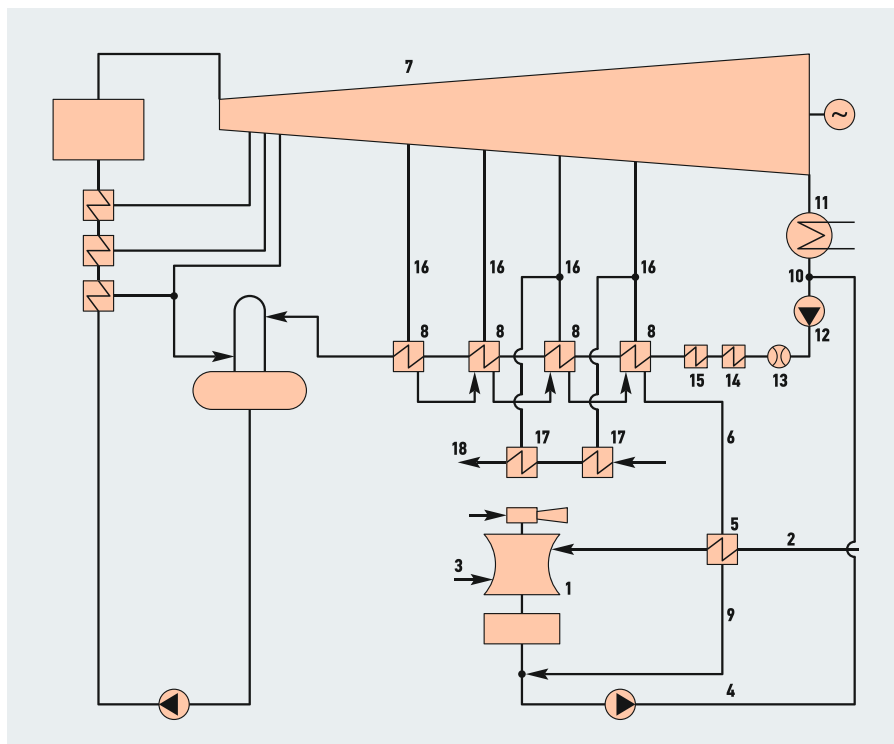


Рис. 2. Новая схема теплофикационной турбоустановки с вакуумной деаэрацией добавочной питательной воды котлов [10] (1 — вакуумный деаэратор добавочной питательной воды; 2 — трубопровод исходной воды; 3 — трубопровод греющего агента; 4 — трубопровод деаэрированной добавочной питательной воды; 5 — подогреватель исходной воды; 6 — конденсатопровод; 7 — турбина; 8 — регенеративный подогреватель низкого давления; 9 — трубопровод охлажденного конденсата; 10 — трубопровод основного конденсата турбины; 11 — конденсатор; 12 — конденсатный насос; 13 — охладитель эжекторов; 14 — охладитель уплотнений; 15 — сальниковый подогреватель; 16 — паропроводы отопительных отборов; 17 — сетевые подогреватели; 18 — трубопровод сетевой воды)

Решением [10] предусмотрен энергоэффективный подогрев исходной воды перед вакуумным деаэратором добавочной питательной воды котлов ТЭЦ потоком конденсата регенеративных подогревателей

Это позволяет устранить традиционно применяемую в таких режимах рециркуляцию основного конденсата через охладитель эжекторов, охладитель уплотнений, сальниковый подогреватель.

Тем самым исключаются потери теплоты в конденсаторе и повышается надёжность работы охладителя эжекторов, охладителя уплотнений, сальникового подогревателя.

Кроме того, данным решением [10] предусмотрен энергетически эффективный подогрев исходной воды перед вакуумным деаэратором добавочной питательной воды котлов ТЭЦ низкопотенциальным потоком конденсата регенеративных подогревателей, который далее используется для охлаждения вспомогательных подогревателей конденсатно-питательного тракта турбины.

Оценка энергетической эффективности нового решения выполнена с помощью методики [4].



За основу для расчётов принят режим работы турбоустановки в теплофикационном режиме с малыми пропусками пара в конденсатор и использованием технологии подогрева исходной добавочной питательной воды перед водоподготовительной установкой и струйно-барботажным вакуумным деаэратором ДВ-400 основным конденсатом теплофикационной турбоустановки Т-100/120-130.

Расчёт показал, что использование каскадно сливаемого из подогревателей системы регенерации низкого давления конденсата для подогрева исходной воды перед вакуумным деаэратором добавочной питательной воды котлов и направление этой воды совместно с охлаждённым конденсатом регенеративных подогревателей в конденсатно-питательный тракт между конденсатором и вспомогательными теплообменниками турбоустановки даёт годовую экономию условного топлива более 8800 тонн или в денежном выражении — более 35 млн руб. в год.

Выводы

Исходя из сказанного выше, можно сделать выводы:

1. На энергетическую эффективность ТЭЦ существенное влияние оказывает совершенство схем и режимов работы теплофикационных турбоустановок, в частности, организация подогрева потоков добавочной питательной воды котлов и охлаждения вспомогательных теплообменников турбин.
2. Разработано особенное техническое решение, которым предусмотрен подогрев исходной воды перед вакуумным деаэратором добавочной питательной воды котлов каскадно сливаемым из подогревателей низкого давления системы регенерации турбины конденсатом, а также использование деаэрированной добавочной питательной воды и охлаждённого конденсата подогревателей системы регенерации для охлаждения охладителей эжекторов, уплотнений и сальниковых подогревателей.
3. Реализация нового решения позволяет снизить потери теплоты в конденсаторе за счёт исключения рециркуляции основного конденсата турбин в зимних режимах и повысить экономичность подготовки добавочной питательной воды котлов. Годовая экономия условного топлива на теплофикационной турбоустановке модели Т-100/120-130 при использовании предложенного решения превышает 8800 тонн. ●

-
1. Шарапов В.И. Актуальные проблемы использования вакуумных деаэраторов в открытых системах теплоснабжения // Теплоэнергетика, 1994. №8. С. 53–57.
 2. Мошкарин А.В., Виноградов В.Н., Ледуховский Г.В. Экспериментальное исследование и моделирование технологических процессов атмосферной струйно-барботажной деаэрации воды // Теплоэнергетика, 2010. №8. С. 21–25.
 3. Лаптев А.Г., Лаптева Е.А., Шагиева Г.К. Эффективность очистки воды от растворенных газов при слабом и сильном взаимодействии фаз в плёночных аппаратах // Теплоэнергетика, 2018. №4. С. 65–71.
 4. Шарапов В.И. Методика оценки энергетической эффективности структурных изменений в тепловых схемах ТЭС // Труды Академэнерго, 2015. №2. С. 27–37.
 5. Ротов П.В., Шарапов В.И. Особенности регулирования нагрузки систем теплоснабжения в переходный период // Энергосбережение и водоподготовка, 2010. №2. С. 25–28.
 6. Шарапов В.И., Цюра Д.В. О регулировании термических деаэраторов // Электрические станции, 2000. №7. С. 21–24.
 7. Патент №21475559 (RU). Вакуумная деаэрационная установка / Шарапов В.И., Цюра Д.В. // Бюллетень изобретений и открытий, 2000. №11.
 8. Шарапов В.И. О предотвращении внутренней коррозии теплосети в закрытых системах теплоснабжения // Теплоэнергетика, 1998. №4. С. 16–19.
 9. Патент №2174182 (RU). Способ работы тепловой электрической станции / Шарапов В.И., Макарова Е.В. // Бюллетень изобретений и открытий, 2001. №27.
 10. Патент №183168 (RU). Узел вакуумной деаэрации добавочной питательной воды котлов теплоэнергетической установки / Шарапов В.И., Золин М.В., Мингараева (Кудрявцева) Е.В., Пазушкина О.В. // Бюллетень изобретений и открытий, 2018. №26.
- References — see page 94.

Energy efficient circuit for incorporation of a vacuum deaerator into the regeneration system of a heating turbine. Pp. 36–39.

Vladimir I. Sharapov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department; **Olga V. Pazushkina**, PhD, Associate Professor; **Maxim V. Zolin**, master's student, the Department of the Heat and Gas Supply and Ventilation, Ulyanovsk State Technical University (UISTU)

1. Sharapov V.I. *Aktual'nye problemy ispol'zovaniya vakuumnykh deajeratorov v otkrytykh sistemah teplosnabzheniya* [Actual problems of using vacuum deaerators in open heating systems]. *Teplojenergetika* ["Heat power engineering" Magazine]. 1994. No. 8. Pp. 53–57. [In Russian]
2. Moshkarin A.V., Vinogradov V.N., Leduhovskij G.V. *Jeksperimental'noe issledovanie i modelirovanie tehnologicheskikh processov atmosfornoj strujno-barbotazhnoj deajeracii vody* [Experimental research and modeling of technological processes of atmospheric jet-bubbling deaeration of water]. *Teplojenergetika* ["Heat power engineering" Magazine]. 2010. No. 8. Pp. 21–25. [In Russian]
3. Laptev A.G., Lapteva E.A., Shagieva G.K. *Jefferktivnost' ochistki vody ot rastvorenykh gazov pri slabom i sil'nom vzaimodejstvii faz v plenochnykh apparatah* [The effectiveness of water purification from dissolved gases with weak and strong interaction of the phases in the film apparatus]. *Teplojenergetika* ["Heat power engineering" Magazine]. 2018. No. 4. Pp. 65–71. [In Russian]
4. Sharapov V.I. *Metodika ocenki jenergeticheskoy jefferktivnosti strukturnykh izmenenij v teplovykh shemah TJeS* [Methods for assessing the energy efficiency of structural changes in thermal schemes of thermal power plants]. *Trudy Akademijenergo* ["Transactions of Academenergo" Magazine]. 2015. No. 2. Pp. 27–37. [In Russian]
5. Rotov P.V., Sharapov V.I. *Osobennosti regulirovaniya nagruzki sistem teplosnabzheniya v perehodnyj period* [Features of load control of heat supply systems during the transition period]. *Jenergoberezhenie i vodopodgotovka* ["Energy saving and water treatment" Magazine]. 2010. No. 2. Pp. 25–28. [In Russian]
6. Sharapov V.I., Cjura D.V. *O regulirovanii termicheskikh deajeratorov* [On the regulation of thermal deaerators]. *Jelektricheskie stancii* ["Electrical stations" Magazine]. 2000. No. 7. Pp. 21–24. [In Russian]
7. Patent No. 21475559 (RU). *Vakuumnaja deajeracionnaja ustanovka* [The vacuum deaeration plant]. Sharapov V.I., Cjura D.V. *Bjulleten' izobretenij i otkrytij* ["Bulletin of inventions and discoveries" Magazine]. 2000. No. 11. [In Russian]
8. Sharapov V.I. *O predotvrashhenii vnutrennej korrozii teploseti v zakrytykh sistemah teplosnabzheniya* [On the prevention of internal corrosion of the heating system in closed heating systems]. *Teplojenergetika* ["Heat power engineering" Magazine]. 1998. No. 4. Pp. 16–19. [In Russian]
9. Patent No. 2174182 (RU). *Sposob raboty teplovoj jelektricheskoy stancii* [The method of operation of a thermal power station]. Sharapov V.I., Makarova E.V. *Bjulleten' izobretenij i otkrytij* ["Bulletin of inventions and discoveries" Magazine]. 2001. No. 27. [In Russian]
10. Patent №183168 (RU). *Uzel vakuumnoj deajeracii dobavochnoj pitatel'noj vody kotlov teplojenergeticheskoy ustanovki* [Unit of vacuum deaeration of additional feed water of boilers of thermal power plant]. Sharapov V.I., Zolin M.V., Mingaraeva (Kudrjavceva) E.V., Pazushkina O.V. *Bjulleten' izobretenij i otkrytij* ["Bulletin of inventions and discoveries" Magazine]. 2018. No. 26. [In Russian]