© О.В. Пазушкина, М.В. Золин, И.А. Силкин

УДК 621.187.12 DOI:10.30724/1998-9903-2022-24-1-99-113

АНАЛИЗ РАБОТЫ ДЕАЭРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОТЕЛЬНОЙ

О.В. Пазушкина, М.В. Золин, И.А. Силкин

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия
zolinm6@gmail.com

Резюме: *ЦЕЛЬ. Рассмотреть проблемы защиты оборудования тепловых электростанций и систем теплоснабжения от внутренней коррозии. Изучить этапы развития отечественных деаэрационных аппаратов и принципов осуществления атмосферной и вакуумной деаэрации в рамках котельной г. Ульяновска. Провести анализ работы и обслуживания деаэраторов: ДСА-75, АВАКС и ДВ-75 в котельной г. Ульяновск. Рассмотреть систему водоподготовки, реализованную в котельной ОАО «Ульяновский патронный завод», а затем в УМУП «Городская теплосеть». МЕТОДЫ. При решении поставленных задач применялся аналитический метод оценки работы атмосферного деаэратора ДСА-75 и вакуумного деаэратора ДВ-75. РЕЗУЛЬТАТЫ. Приведены основные технические характеристики атмосферного деаэратора ДСА-75 и вакуумного деаэратора ДВ-75, а также были получены графические зависимости, характеризующие работу вышеприведенных деаэраторов. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Анализ работы деаэратора «АВАКС» показал, что данный аппарат так и не смог занять достойное место не то чтобы основного, но и даже дополнительного деаэрационного устройства в рассматриваемой в данной статье котельной г. Ульяновск, а также встать в один ряд с давно зарекомендовавшими себя деаэраторами, разработанными в ЦКТИ. Авторами установлено, что в настоящее время на рассматриваемой котельной УМУП «Городская теплосеть» система водоподготовки с использованием традиционного вакуумного деаэратора ДВ-75 хорошо отлажена и вполне выполняет свои функции, обеспечивая при этом качественную обработку воды.*

Ключевые слова: *тепловая электростанция; котельная; атмосферная деаэрация; вакуумная деаэрация; деаэратор.*

Для цитирования: Пазушкина О.В., Золин М.В., Силкин И.А. Анализ работы деаэрационных устройств на производственной котельной. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т. 24. № 1. С.99-113. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-1-99-113.

ANALYSIS OF THE OPERATION OF DEAERING DEVICES AT THE INDUSTRIAL BOILER HOUSE

OV. Pazushkina, MV. Zolin, IA. Silkin

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia
zolinm6@gmail.com

Abstract: *THE PURPOSE. To consider the problems of protecting equipment of thermal power plants and heat supply systems from internal corrosion. To study the stages of development of domestic deaeration devices and the principles of atmospheric and vacuum deaeration in the framework of the boiler house in Ulyanovsk. To analyze the operation and maintenance of deaerators: DSA-75, AWACS and DV-75 in the boiler house of JSC «Ulyanovsk Cartridge Plant», and in the UMUP «City Heating System». METHODS. When solving this problem, we used an analytical method for evaluating the operation of the DSA-75 atmospheric deaerator and the DV-75 vacuum deaerator. RESULTS. The article presents the main technical characteristics of the atmospheric deaerator DSA-75 and the vacuum deaerator DV-75, and graphical dependencies characterizing the operation of the above deaerators were obtained. CONCLUSION. An analysis of the work of the «AWACS» deaerator showed that this device was never able to take its rightful place as the main and additional deaeration device in the boiler*

house in Ulyanovsk. Accordingly, the «AWACS» deaerator could not stand on a par with the long-established deaerators developed at CKTI. The authors found that at the present time, at the UMUP «City Heating System» boiler house considered in this article, the water treatment system using the traditional DV-75 vacuum deaerator is well debugged and performs its functions. Thus, high-quality water treatment is ensured in the boiler house.

Keywords: *thermal power plant; boiler house; atmospheric deaeration; vacuum deaeration; deaerator.*

For citation: Pazushkina OV, Zolin MV, Silkin IA. The main types of wind turbines-generators in the power supply system. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022; 24(1): 99-113. doi:10.30724/1998-9903-2021-24-1-99-113.

Введение

Водоподготовка является одним из ключевых и крайне необходимых этапов, как в цикле работы небольших промышленных котельных, так и на тепловых электростанциях. Основными этапами подготовки воды являются предочистка, обессоливание и деаэрация. Термическая деаэрация является наиболее энергоемким процессом, и, должно быть, еще продолжительное время останется одним из основных средств обеспечения надежности систем теплоснабжения и их теплоисточников. Для осуществления данного процесса в теплоэнергетических установках применяются термические деаэраторы, которые прошли достаточно долгий путь освоения и модернизируются до сих пор с целью достижении наиболее качественных показателей деаэрированной воды.

До второй половины XX века на тепловых электростанциях передовые позиции занимали струйные деаэраторы атмосферного типа, представляющие собой аппараты, в которых вода благодаря системе дырчатых тарелок разделялась на струи, стекающие каскадами сверху вниз. Далее перфорированные тарелки задерживали пребывание воды в деаэраторе, а навстречу струям воды двигался пар. Характер обтекания паром струй приближался к поперечному, а расположение нескольких тарелок по высоте колонки увеличивало общее время пребывания воды в ней. Таким образом, осуществлялся процесс удаления из воды коррозионно-агрессивных газов. Но, со временем, требования к качеству деаэрированной воды повышались, что, в свою очередь побуждало теплоэнергетиков принимать меры по модернизации конструкций деаэрационных аппаратов и улучшению самого процесса деаэрации.

Огромным шагом в развитии конструкций деаэраторов было создание Центральным котлотурбинным институтом (ЦКТИ) струйно-барботажных деаэраторов для деаэрации подпиточной воды теплосети и деаэрации добавочной питательной воды на тепловых электростанциях. Если рассматривать деаэраторы вакуумного типа, то на крупных теплоисточниках – ТЭЦ и котельных большой тепловой мощности – для подпитки тепловой сети обычно используют струйно-барботажные вакуумные деаэраторы горизонтального типа производительностью 400 и 800 м^3/ч конструкции ЦКТИ. На котельных меньшей мощности часто используются струйно-барботажные вакуумные деаэраторы вертикального типа производительностью от 5 до 300 м^3/ч [1]. Данные аппараты выпускаются серийно и достаточно хорошо освоены в эксплуатации. В теплоэнергетических установках, работающих на закрытые системы теплоснабжения с малыми расходами подпиточной воды, при наличии источников пара применяются также серийно выпускаемые атмосферные деаэраторы с барботажным листом, установленным в нижней части струйной деаэрационной колонки. Помимо конструкций деаэраторов, ежегодно ученые теплоэнергетики предлагают новые решения для улучшения систем водоподготовки. В частности, в работах [2, 3] доказано, что управление термическими деаэраторами по нескольким регулирующим и регулируемым параметрам позволяет повысить надежность и экономичность работы тепловой электрической станции за счет обеспечения заданной концентрации удаляемого газа (O_2 или CO_2) в деаэрированной воде при оптимальном режиме работы турбоустановки с максимальной выработкой электроэнергии на тепловом потреблении. В источнике [4] предложены технологии снижения расхода выпара деаэраторов избыточного давления, позволяющие сократить энергетические затраты на процесс термической деаэрации. В работах [5-7] предложены различные схемы включения термических деаэраторов, направленные на достижение наибольшей выработки электроэнергии на тепловом потреблении. Также, можно отметить, что в материалах [8-11] предложены и описаны

весьма незаурядные технологии низкотемпературной деаэрации воды на ТЭЦ, где в качестве десорбирующего агента используется природный газ вместо пара или перегретой воды, что, по заявлению авторов, позволяет увеличить экономичность работы станции.

В зарубежных источниках вопросам дегазации воды уделяется очень мало внимания [12]. Компания [13] предлагает варианты вакуумной, каталитической и мембранной дегазации. Вакуумные дегазаторы небольшой производительности производит и компания [14]. Сравнение различных типов деаэрации (атмосферной, химической, мембранной, вакуумной) применительно к одной из ТЭЦ Литвы приведено в [15], причем автором установлено, что полностью автоматизированные системы вакуумной деаэрации служат хорошей альтернативой в случае отказа от пара на теплоисточниках.

Данная статья посвящена описанию работы деаэрационных устройств на одной из производственных котельных г. Ульяновска. Актуальность представленной статьи обусловлена необходимостью обеспечения нормативного качества подпиточной воды теплосети для городской системы теплоснабжения.

Анализ работы деаэрационной техники на производственной котельной

В настоящей статье выполнен анализ работы деаэрационных устройств и техники на примере котельной ОАО «Ульяновский патронный завод» (УПЗ), который находится в г. Ульяновск.

В 1916 году Ульяновский патронный завод (УПЗ) был введен в эксплуатацию и, соответственно, в тоже время была введена в эксплуатацию котельная при заводе. Данная котельная была в ведомстве УПЗ и обслуживалась силами заводчан вплоть до 2017 года. 1 сентября 2017 году котельная УПЗ была передана в УМУП «Городская теплосеть», которая в настоящее время и обслуживает данную котельную.

Говоря об истории развития технологий водоподготовки, отметим, что во второй половине XX - первом десятилетии XXI века, как и в большинстве крупных предприятий России, в котельной УПЗ основным способом удаления из воды кислорода и диоксида углерода была атмосферная деаэрация, реализованная с помощью деаэратора атмосферного типа ДСА-75. Деаэратор ДСА, корпус которого изготавливают из высококачественной углеродной стали, а внутреннее оборудование из нержавеющей стали, является видоизмененным деаэратором типа ДА, который также состоит из деаэрационной колонки и бака-аккумулятора, но отличается тем, что баки-аккумуляторы модели ДСА имеют большую емкость, чем баки-аккумуляторы модели ДА. Принцип работы деаэратора ДСА следующий. Вода, поступая через верхнее отверстие деаэрационной колонки, попадает на перфорированные тарелки, затем просачивается через мелкие отверстия и попадает на следующий ряд точно таких же тарелок, которых в деаэрационной колонке может быть установлено до 5 рядов. После этого, вода попадает на барботажный лист, откуда по выводной трубе устремляется в бак-аккумулятор. Из бака-аккумулятора навстречу воде устремляется поток пара, который нагревает исходную воду до состояния кипения. На этой фазе из воды выделяются молекулы коррозионно-агрессивных газов и устремляются по патрубку в охладитель выпара. Охладитель выпара представляет собой теплообменник трубчатого типа, внутри которого содержится система трубок. Корпус охладителя изготовлен из нержавеющей стали, а система трубок – из высококачественной или коррозийно-стойкой стали. В данном аппарате происходит конденсация выпара, где в качестве охлаждающей среды выступает очищенная вода либо конденсат. Далее, соответственно, выпар охлаждается и поступает в дренажный бак, а выделившиеся газы улетучиваются в атмосферу. Окончательная дегазация воды происходит в баке-аккумуляторе, где мелкие газовые пузырьки улетучиваются из жидкости [16].

Также отметим, что атмосферная деаэрация должна происходить при температуре 104-106°С и при правильной эксплуатации и своевременном обслуживании атмосферных деаэрационных аппаратов, подготовленная вода на выходе из бака-аккумулятора должна соответствовать таким критериям, как:

- нормативное содержание кислорода должно быть не более 50 мкг/дм^3;
- углекислоты в деаэрированной воде быть вовсе не должно.

Но в случае с котельной УПЗ г. Ульяновска показатели качества деаэрированной воды на выходе из деаэратора ДСА-75 были далеки от нормы. Как показывает проведенный авторами анализ, это обусловлено следующими причинами:

1. Процесс деаэрации происходил при температуре 80 °С.
2. В деаэрационной колонке все перфорированные тарелки были забиты

ржавчиной.

3. Барботажная линия внутри деаэратора была оторвана.

4. Отсутствовал регулятор подачи пара в деаэратор. В данном случае дежурный в котельной собственноручно регулировал подачу пара, меняя положение заслонки в зависимости от показаний датчиков давления и температуры.

5. Из бака-аккумулятора по трубопроводу отвода деаэрированной воды часть воды подавалась на питание паровых котлов, а оставшаяся часть спускалась в установленный на улице (под открытым небом) бассейн. Далее из бассейна с помощью насосов осуществлялась подача воды на подпитку теплосети.

В итоге, можно сказать, что большого смысла в достижении идеальных условий процесса деаэрации воды не было, так как даже если бы деаэрированная вода на выходе из бака-аккумулятора была нормативного качества, то в открытом бассейне она вновь насыщалась кислородом. Следовательно, при данной схеме работы, деаэратор ДСА-75 в котельной УПЗ выступал в качестве обычного теплообменника, где банально осуществлялся подогрев химически-очищенной воды до температуры 80 С.

Однако с течением времени развивалась не только деаэрационная техника, но и различные рекламные компании, которые, естественно, больше усилий прикладывали к раскручиванию самой рекламы, нежели к модернизации техники. Соответственно, это послужило поводом тому, что периодически начали появляться новые устройства, а специалисты промышленных предприятий, упустив из виду факторы, от которых зависит качество деаэрации, нередко устанавливали подобное оборудование на тепловые электростанции, ТЭЦ и котельные. Примеры с эксплуатацией данной техники описаны в работах [17-19] д.т.н., профессора В.И. Шарапова.

Попытка применения деаэратора «АВАКС» в котельной УПЗ

В 2010 году, с целью разделения нагрузки деаэратора ДСА-75 и повышения качества деаэрированной воды, на котельной УПЗ был установлен деаэратор фирмы «АВАКС». Аджиевский вакуумно-атмосферный кавитационно-струйный (АВАКС) деаэратор, конструктивная схема которого приведена на рисунке 1 [18], разработан и изготавливается на ОАО «Кинешемский машиностроительный завод». По заявленным характеристикам, «АВАКС» способен осуществлять процесс деаэрации при температуре от 60 С без использования пара и имеет следующие характеристики:

- Номинальная производительность: 10 – 30 т/ч;
- Давление воды на входе в деаэратор: > 0,3 МПа (> 3 кг/см^2);
- Минимальная температура воды на входе в деаэратор: 60 °С;
- Давление воды на выходе из деаэратора: 0,01 – 0,02 МПа;
- Содержание растворенного O_2 в деаэрированной воде: < 20 мкг/дм^3;
- Свободная углекислота в деаэрированной воде отсутствует;
- Давление гидроиспытания деаэратора — 1 МПа (10 кг/см^2);
- «Сухая» масса — не более 40 кг.

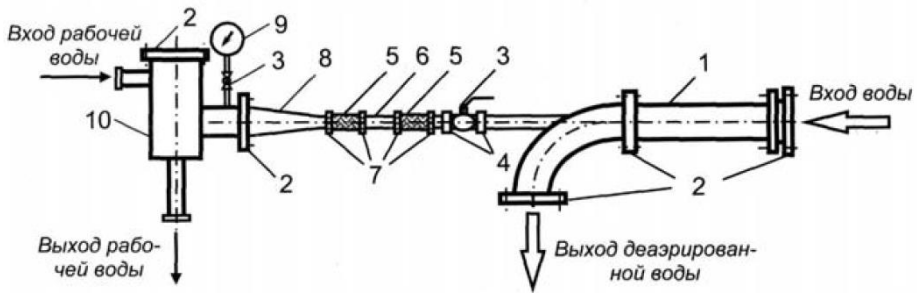

Рис. 1. Конструктивная схема деаэратора «АВАКС»: *1* – деаэратор; *2* – фланцы; *3* – кран; *4* – резьбовые соединения; *5* – резиновый шланг; *6* – стеклянная трубка; *7* – хомуты; *8* – диффузор; *9* – вакуумметр; *10* – водоструйный эжектор

Fig. 1. Design scheme of the «AWACS» deaerator: 1 - deaerator; 2 - flanges; 3 – tap water;4 - threaded connections; 5 - rubber hose; 6 - glass tube; 7 - clamps; 8 - diffuser; 9 -vacuum gauge; 10 – water-jet ejector

Конструкция данного аппарата позволяет реализовать центробежный эффект закрученного потока воды в горизонтальной трубе. Схема подключения деаэратора «АВАКС» приведена на рисунке 2 [17].

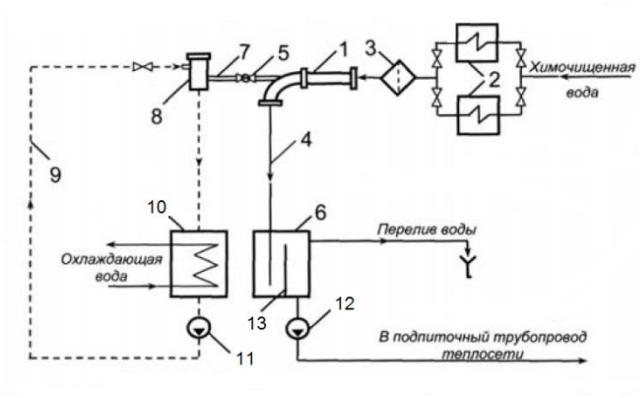

Рис. 2. Схема подключения деаэратора «АВАКС»: *1* – деаэратор; *2* – пароводяной подогреватель; *3* – сетчатый фильтр; *4* – трубопровод деаэрированной воды; *5* – кран; *6* – бак-аккумулятор; *7* – трубопровод водопаровоздушной смеси; *8* – водоструйный эжектор; *9* – трубопровод рабочей воды эжектора; *10* – бак рабочей воды эжектора; *11* – насос рабочей воды эжектора; *12* – подпиточный насос; 13 – перегородка в баке

Fig. 2 – Scheme for connecting the «AWACS» deaerator: 1 – deaerator; 2 – steam-water heater; 3 – mesh filter; 4 – deaerated water pipeline; 5 – tap water; 6 – storage tank; 7 – pipeline of the water-steam-air mixture; 8 – water-jet ejector; 9 – pipeline of working water of the ejector; 10 – ejector working water tank; 11 – pump for working water of the ejector; 12 – make-up pump; 13 – partition in the tank

Принцип работы данной деаэрационной установки заключается в следующем, после химводоочистки на деаэрацию поступает исходная химически-очищенная вода с температурой 30 °С, которая по пути в деаэратор *1* подогревается до температуры 60 °С в пароводяных подогревателях *2* и проходит через сетчатый фильтр *3*. Для осуществления процесса деаэрации в деаэраторе *1*, давление на входе должно быть 3,5 кгс/см^2. Соответственно, для поддержания давления 3,5 кгс/см^2, устанавливается насос подачи исходной воды. Поток исходной воды, поступающий под давлением в деаэратор *1*, раскручивается завихрителем до определенных скоростей. Затем раскрученный поток за счет центробежных сил прижимается к стенкам корпуса, образуя вакуумную полость, в которой происходит испарения воды и выделение растворенного газа. Парогазовая смесь (выпар) удаляется из деаэратора *1* с помощью водоструйного эжектора *8* через газоотводящую трубку. В данном случае работа водоструйного эжектора *8* осуществляется по замкнутой схеме. С помощью насоса *11* рабочей воды эжектора рабочая вода забирается из бака *10* рабочей воды эжектора и по трубопроводу *9* рабочей воды эжектора подается в водоструйный эжектор *8*, тем самым отсасывая паровоздушную смесь через трубопровод *7* водопаровоздушной смеси и создавая вакуум в деаэраторе *1*. Затем рабочая вода вновь сливается в бак *10* рабочей воды эжектора. После деаэрации вода проходит обтекатель и по трубопроводу *4* деаэрированной воды поступает в бак-аккумулятор *6*, откуда с помощью подпиточного насоса *12* поступает в теплосеть.

Отметим, что сама идея разработки деаэратора «АВАКС» весьма интересна, а также требует немало теоретических и экспериментальных исследований для проработки всех деталей подобного проекта. В работах [17-19] изложены результаты испытаний данного аппарата, которые показали, что:

– Эксплуатация данного деаэратора возможна только в режиме многократной рециркуляции, причем для удаления кислорода до нормативного уровня 50 мкг/дм^3 требуется от 8 до 388 «прогонов» воды через деаэратор;

– Содержание CO_2 в деаэрированной воде на выходе из деаэратора «АВАКС» соответствует содержанию CO_2 в сырой недеаэрированной воде;

– «АВАКС» недостаточно устойчив к изменениям температурного и гидравлического режима, так как при малейших изменениях этих режимов структуру водопаровоздушной смеси, отводимой из деаэратора необходимо регулировать (рис. 1). Анализ эксплуатации показал, что структура смеси, отводимой из деаэратора, может быть паровоздушной, водопаровоздушной или вовсе водяной.

В работах [20-22] сделан акцент на то, что одной из причин малой эффективности по удалению коррозионно-активных газов деаэраторов «АВАКС» является то, что деаэратор «АВАКС» одноступенчатый, прямоточный и характеризуется малым

располагаемым временем процесса деаэрации. Далее, на основании результатов натурных испытаний деаэраторов «АВАКС» доказано, что использовании таких аппаратов в качестве основного деаэрационного устройства в технологических схемах энергообъектов возможно только при включении деаэратора по схеме с рециркуляцией при подаче добавочной воды на всасе насоса рециркуляции.

После перехода котельной УПЗ в ведение УМУП «Городская теплосеть» было выявлено, что мгновенная подпитка теплосети на момент установки деаэратора «АВАКС» (2010 г.) и до 2017 г. составляла 30-40 т/ч. Пропускная способность деаэратора «АВАКС» была 9-12 т/ч. На основании вышесказанного можно сделать вывод, что деаэратор «АВАКС» не смог занять место ни основного, ни дополнительного деаэрационного устройства в котельной УПЗ г. Ульяновск.

Модернизация и переоборудование атмосферного деаэратора

1 сентября 2017 года ОАО «Ульяновский патронный завод» (УПЗ) г. Ульяновск передали свою котельную в ведение УМУП «Городская теплосеть». Причиной этому стало два фактора:

– отсутствие своевременного и периодического обслуживания котельной УПЗ;

– низкое качество деаэрированной воды в сетях, относящихся к котельной УПЗ.

Далее, УМУП «Городская теплосеть» были предприняты меры по восстановлению системы водоподготовки, а именно наладки процесса деаэрации в атмосферном деаэраторе ДСА-75. Предприятие выполнило следующие работы:

1. Была вскрыта деаэрационная колонка деаэратора и выведена в ремонт, в ходе которого перфорированные тарелки были очищены от следов коррозии.
2. Был установлен охладитель выпара на деаэраторе.
3. Внутри деаэрационной колонки была восстановлена барботажная линия.
4. В баках-аккумуляторах были установлены датчики уровня (нижний, средний, верхний).
5. На входе в деаэратор в трубопровод отвода деаэрированной воды был установлен регулятор подпитки, который в зависимости от показаний датчиков уровня в баках-аккумуляторах в автоматическом режиме должен открываться на определенный уровень, пропуская через себя деаэрированную воду.
6. На входе в деаэратор в трубопровод подвода исходной воды был установлен регулятор подачи пара, что, собственно, избавляло от потребности в дежурном персонале, который бы осуществлял регулирование задвижки.

Таким образом, была проведена полная автоматизация и восстановление до рабочего состояния атмосферной деаэрационной установки ДСА-75.

Так как большинству промышленных предприятий для технологических нужд необходим пар, то после передачи котельной в ведение УМУП «Городская теплосеть» подача пара на нужды УПЗ осуществлялась от котельной УМУП «Городская теплосеть». Отметим, что в котельной, принятой от УПЗ, имеется 4 водогрейных котла КВГМ-50, которые работают только в зимний период года. В летний период водогрейные котлы КВГМ-50 были отключены по причинам:

– их достаточно большой теплопроизводительности – 50 Гкал/ч;

– расход воды через котлы КВГМ-50, который должен быть не менее 550 м^3, летом значительно сокращается и составляет около 290 м^3, что, в принципе, недостаточно для того, эксплуатировать данные котлы.

Переоборудование атмосферного деаэратора в вакуумный

В летний период для ГВС на центральных тепловых пунктах круглогодично работали паровые котлы. Соответственно, пар постоянно поступал на нужды УПЗ, а летом, дополнительно, пар использовали для подогрева воды в пароводяных подогревателях. Следовательно, летом УПЗ приходилось покупать пар у УМУП «Городская теплосеть». По причине высокой стоимости производственного пара в конце 2018 г. УПЗ начали проводить мероприятия по строительству собственных парогенераторов и, соответственно, предупредили УМУП «Городская теплосеть» о том, что в ближайшее время откажутся от покупки пара. В результате, в том же 2018 г. руководством УМУП «Городская теплосеть» было принято решение о переходе от атмосферной деаэрации к вакуумной по причине отсутствия потребителей пара. При этом предприятие понесло минимальные затраты по восстановлению вакуумной деаэрауционной установки, так как в организации имелось:

– деаэрационная колонка объёмом на 75 м^3;

– 2 бака-аккумулятора суммарной емкостью на 100 м^3;

– теплообменники для подогрева исходной воды перед деаэратором;

– вакуумные насосы ВВН-6 для создания вакуума в деаэраторе.

Таким образом, была проведена трансформация атмосферного деаэратора ДСА-75 в вакуумный деаэратор ДВ-75. Рассмотрим его подробнее.

Как уже ранее упоминалось в данной статье, деаэрационная установка ДВ-75, габаритные размеры которой приведены на рисунке 3 [23], представляет собой сложное техническое устройство, состоящее из деаэрационной колонки, баков-аккумуляторов, охладителя выпара и воздухоотсасывающего устройства, в качестве которого в данном случае выступает вакуумный насос ВВН-6.

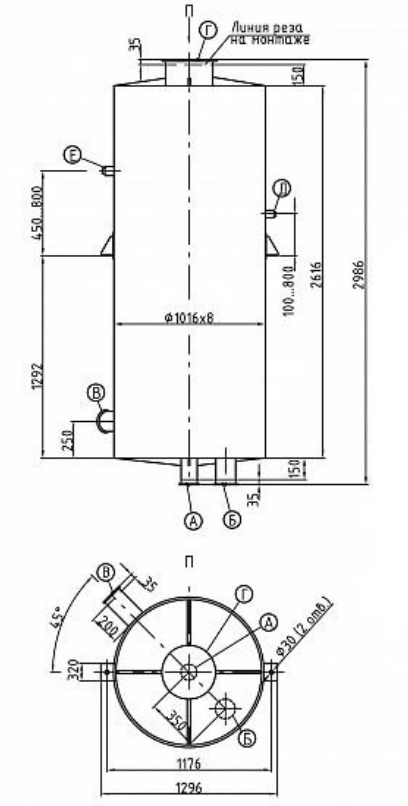

Рис. 3. Габаритные и присоединительные размеры вакуумного деаэратора ДВ-75

Fig. 3. Overall and connecting dimensions of the DV-75 vacuum deaerator

В качестве теплоносителя в деаэраторе ДВ-75 может использоваться как перегретая вода, так и пар. Конкретно в котельной УМУП «Городская теплосеть» в качестве греющей среды деаэратора ДВ-75 используется вода, которая с температурой 5-15°С предварительно подогревается в водяном подогревателе и поступает в деаэрационную колонку уже с температурой 68-72°С.

Особенности монтажа вакуумного деаэратора

Вакуумный деаэратор в отличие от атмосферного имеет свои особенности монтажа на объекте. Так как работа вакуумного деаэратора производится при давлении ниже атмосферного, то основной проблемой становится подача деаэрированной воды после деаэратора в систему теплоснабжения. Данная проблема решается следующими способами:

– использованием промежуточного бака запаса деаэрированной воды и насосов подачи деаэрированной воды;

– установкой деаэрационной колонки на достаточной высоте относительно бака-аккумулятора, для того, чтобы деаэрированная вода, за счет высоты свободного падения, могла преодолевать вакуум и самотеком поступать в баки-аккумуляторы.

Преимуществом первого способа, несомненно, является возможность установки деаэрационной колонки на небольшой высоте, относительно баков-аккумуляторов. Но недостатком данного способа является то, что установка на небольшой высоте может стать причиной возникновения кавитации перед насосом, которая способна вызвать разрушающие напряжения в материале, пластические деформации и, как следствие, быстрое изнашивание деталей. Как правило, высота установки вакуумного деаэратора выбирается из расчета максимально возможного вакуума (-10 м.вод.ст.) высоты столба

воды в баке-аккумуляторе, сопротивления сливного трубопровода и перепада давлений необходимого для обеспечения движения деаэрированной воды. Поэтому с точки зрения явления кавитации способ установки деаэрационной колонки на высоте 12-16 м наиболее безопасен, однако, в свою очередь, наименее выгоден с экономической точки зрения, так как ведет к увеличению капитальных затрат на строительство котельной.

Кавитационная устойчивость зависит от конкретных условий: конструкции насоса, условий эксплуатации, свойств перекачиваемой жидкости, материалов, из которых изготовлено рабочее колесо и другие детали, а также времени работы насоса в условиях кавитации. Для предотвращения возникновения явления кавитации необходимо обеспечить высоту водяного столба на всасе насоса не менее величины указанной в паспорте насоса как кавитационный запас или *NPSH* (*Net Positive Suction Head*) или чистая позитивная высота всасывания. Различают 2 вида кавитационных запасов: *NPSHa* и *NPSHr*, где *NPSHa* (допустимый кавитационный запас) является характеристикой системы водоподготовки. *NPSHr* – требуемый кавитационный запас, м, является параметром насоса, который указывается заводом-изготовителем. То есть, *NPSHr* – это требуемое значение подпора на всасывающем патрубке насоса, которое в зависимости от марки и производительности насоса обычно колеблется в диапазоне от 1 до 5 м.

Таким образом, для нормальной работы насоса необходимо, чтобы допустимый кавитационный запас системы *NPSHa* превышал требуемый кавитационный запас насоса *NPSHr*. В качестве меры безопасности следует добавлять дополнительный запас надежности величиной 0,5 м к значению требуемого запаса насоса (1):

$$NPSHa \geq NPSHr + 0,5 \quad (1)$$

На рисунке 4 приведем схему подачи деаэрированной воды в теплосеть после вакуумного деаэратора.

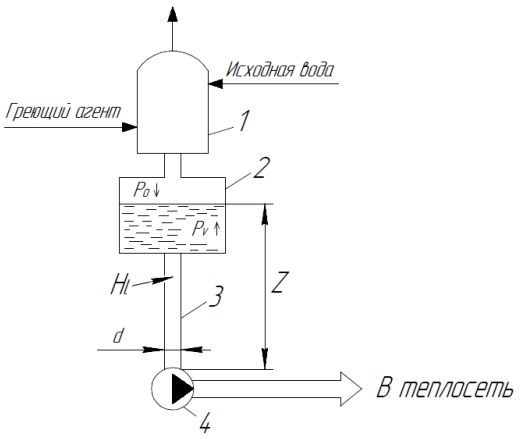

Рис. 4. Схема подачи деаэрированной воды в теплосеть после вакуумного деаэратора:
1 – деаэрационная колонка; 2 – бак-аккумулятор; 3 – трубопровод отвода деаэрированной воды;
4 – подпиточный насос

Fig. 4. Scheme of deaerated water supply to the heating system after the vacuum deaerator:
1 – deaeration column; 2 – storage tank; 3 – deaerated water pipeline; 4 – pump

Допустимый кавитационный запас рассчитывается по следующей формуле:

$$NPSHa = \frac{\left(P_0 - P_v\right) \cdot 10}{\rho \cdot g} + Z - H_l \quad (2)$$

где P_0 – давление на поверхности жидкости, кгс/см^2; P_v – давление насыщенных паров жидкости при определенной температуре, кгс/см^2; ρ – плотность жидкости, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; Z – геометрическая высота столба жидкости от уровня в баке до уровня насоса, м; H_l – потери напора на трение по длине трубопровода, м.

Потери напора по длине трубопровода рассчитаются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$H_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

где λ – коэффициент сопротивления трения по длине; l и d – размеры трубопровода, м; V – средняя скорость течения, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Отметим, что, при переоборудовании в котельной атмосферного деаэратора в вакуумный, деаэрационная колонка была установлена на достаточной высоте 12 м относительно баков-аккумуляторов, что, таким образом, обеспечило допустимый кавитационный запас.

Материалы и методы

Технологическая схема химподготовки водогрейной части котельной УПЗ приведена на рисунке 5.

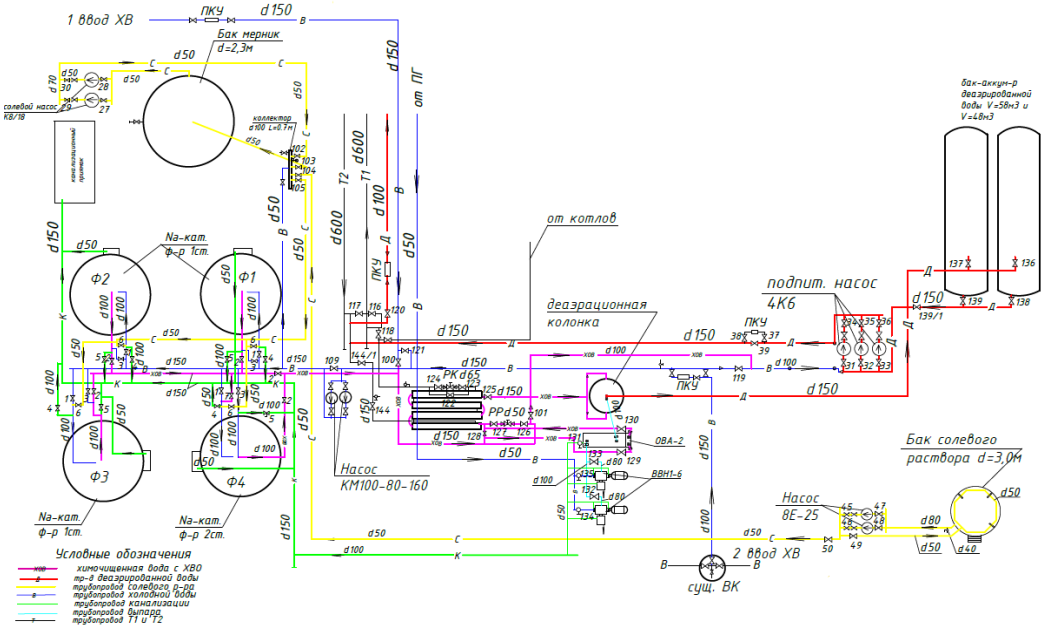

Рис. 5. Технологическая схема химподготовки водогрейной части котельной ОАО «Ульяновский патронный завод»

Fig. 5. Technological scheme of chemical preparation of the hot water part of the boiler house of JSC «Ulyanovsk Cartridge Plant»

Упрощенная схема включения деаэратора ДВ-75 приведена на рисунке 6.

В деаэраторе ДВ-75 применена двухступенчатая схема деаэрации: первая ступень - струйная, вторая – барботажная, в качестве которой используется непровальная перфорированная тарелка. Принцип работы данного деаэратора следующий. Вода, направляемая на деаэрацию, по трубе попадает на верхнюю тарелку, которая секционирована с таким расчетом, что при минимальной (30%) нагрузке в работе учувствует только часть отверстий во внутреннем секторе. Следовательно, при увеличении нагрузки включаются в работу дополнительные ряды отверстий. Секционирование верхней тарелки исключает гидравлические перекосы по пару и воде при изменениях нагрузки, а также всегда обеспечивает обработку паром струй воды. Пройдя струйную часть, вода попадает на перепускную тарелку, предназначенную для сбора и перераспределения воды на начальный участок, расположенный ниже барботажной тарелки. Перепускная тарелка имеет отверстие в виде сектора, который с одной стороны примыкает к вертикальной сплошной перегородке, идущей вниз до основания корпуса колонки. Вода с перепускной тарелки направляется на непровальную барботажную тарелку, выполненную в виде кольца с рядами отверстий, ориентированными перпендикулярно потоку воды. К барботажной тарелке примыкает водосливной порог, который проходит до нижнего основания деаэратора. Вода протекает по барботажному листу, переливается через порог и попадает в сектор, образуемый порогом и перегородкой, а затем отводится из деаэратора через трубу.

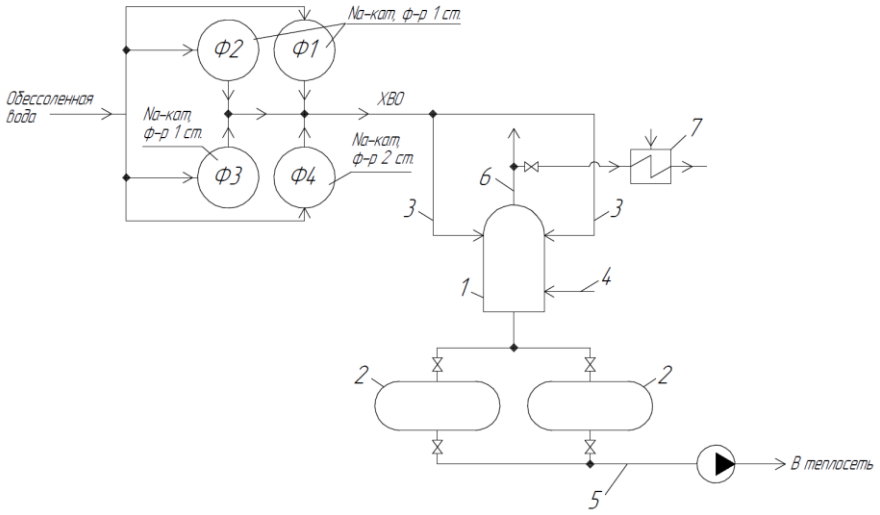

Рис. 6. Схема включения деаэратора ДВ-75:
1 – деаэрационная колонка; 2 – бак-аккумулятор; 3 – трубопровод подвода исходной воды; 4 –трубопровод подвода греющего агента; 5 – трубопровод отвода деаэрированной воды; 6 – трубопровод отвода выпара; 7 – охладитель выпара; ф1 – ф4 – фильтры.

Fig. 6. The scheme of switching on the DV-75 deaerator: 1 – deaeration column; 2 – storage tank; 3 – source water supply pipeline; 4 – heating agent supply pipeline; 5 – deaerated water discharge pipeline; 6 – vapor removal pipeline; 7 – vapor cooler; f1 - f4 – filters

Предварительно подогретая вода, которая используется в качестве греющего агента, по трубе подводится под барботажную тарелку и, попадая в область с давлением ниже атмосферного, вскипает. Под тарелкой образуется паровая подушка, и пар, проходя через отверстия, барботирует воду. Вода, оставшаяся после вскипания, по водоперепускной трубе поступает на барботажную тарелку, где проходит обработку совместно с исходным потоком воды. С увеличением нагрузки, а, следовательно, и расхода греющего агента, высота паровой подушки увеличивается, и избыточный пар перепускается в обвод барботажного листа через отверстия в перепускных трубах. Затем пар проходит через горловину в перепускной тарелке и поступает в струйный отсек, где большая часть конденсируется.

В данной статье авторами применен аналитический метод для анализа работы атмосферного деаэратора ДСА-75 и вакуумного деаэратора ДВ-75. В качестве основных критериев анализа была выбрана температура, при которой происходила деаэрация и остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде. Для анализа были выбраны месяцы с наиболее холодной температурой наружного воздуха - январь и февраль, и с более теплой температурой наружного воздуха – май, июнь. Что касается деаэратора ДВ-75, то ввиду отсутствия данных по теплым месяцам (май и июнь) анализ производился только по холодным месяцам (январь и февраль). Но, в свою очередь, для деаэратора ДВ-75 имеются данные по давлению в деаэраторе, жесткости и щелочности воды.

В таблице 1 [24] и таблице 2 [25] приведены основные технические характеристики атмосферного деаэратора ДСА-75 и вакуумного деаэратора ДВ-75.

Таблица 1

Технические характеристики деаэратора ДСА-75/25

Деаэратор	ДСА-75/25
Производительность номинальная, т/ч	75
Диапазон производительности, т/ч	22,5÷90
Давление рабочее избыточное, МПа	0,02
Температура деаэрированной воды, °С	104,25
Диапазон подогрева воды, °С	10÷50
Содержание растворенного O_2 в исходной воде, мг/дм^3	≤ 20
Концентрация O_2 в деаэрированной воде, мкг/кг	≤ 30
Объем бака, м^3	25

Таблица 2

Технические характеристики деаэратора ДВ-75

Деаэратор	ДВ-75
Производительность номинальная, т/ч	75
Давление рабочее абсолютное, МПа (кгс/см²)	0,0075-0,05 (0,075-0,5)
Давление исходной воды избыточное, МПа (кгс/см²)	0,2 (2,0)
Рабочая среда	Вода, пар
Температура деаэрированной воды, °С	40-80
Температура теплоносителя, °С	70-180
Пробное гидравлическое давление, абс., МПа (кгс/см²)	0,3 (3,0)
Максимальное давление при работе защитного устройства, абс., МПа (кгс/см²)	0,17 (1,7)
Нагрев воды при номинальной производительности миним/макс, °С	15/25
Тип охладителя выпара	ОВВ-8
Тип эжектора (Рвс 0,02 МПа)	ЭВ-60
Тип эжектора (Рвс 0,006 МПа)	ЭВ-100
Масса сухая, кг	1050

Из таблицы 1 видно, что, при нормальных условиях работы, температура деаэрированной воды на выходе из деаэратора ДСА-75 должна стремиться к температуре 104,25 °С с остаточным содержанием кислорода не более 30 мкг/кг. Также из таблицы 2 видно, что, при нормальных условиях работы, температура деаэрированной воды на выходе из деаэратора ДВ-75 должна быть в диапазоне температур 40-80 °С с остаточным содержанием кислорода не более 30 мкг/кг.

Результаты

По полученным данным авторами построены графические зависимости суточных температурных режимов в зимний и летний периоды (рис. 7-10), которые приведены ниже.

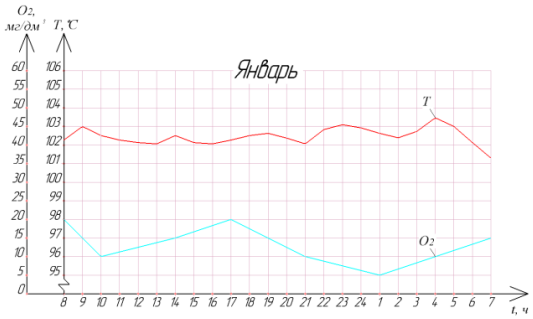

Рис. 7. Суточный график температурного режима деаэратора ДСА-75 в январе 2018 г

Fig. 7. Daily graph of the temperature regime of the DSA-75 deaerator in January 2018

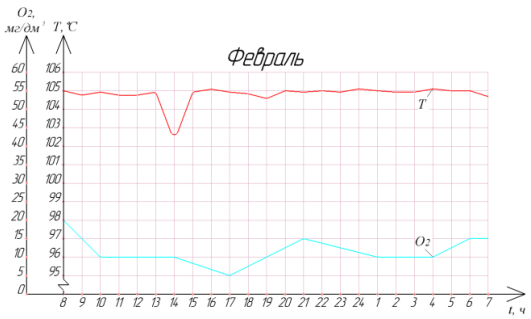

Рис. 8. Суточный график температурного режима деаэратора ДСА-75 в феврале 2018 г

Fig. 8. Daily graph of the temperature regime of the DSA-75 deaerator in February 2018

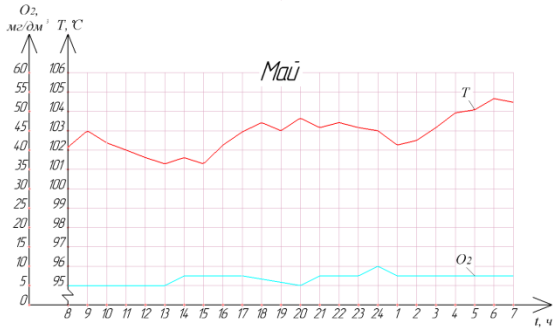

Рис. 9. Суточный график температурного режима деаэратора ДСА-75 в мае 2018 г

Fig. 9. Daily graph of the temperature regime of the DSA-75 deaerator in May 2018

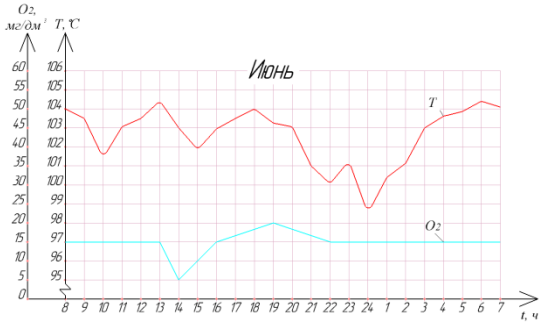

Рис. 10. Суточный график температурного режима деаэратора ДСА-75 в июне 2018 г

Fig. 10. Daily graph of the temperature regime of the DSA-75 deaerator in June 2018

Далее, для деаэратора вакуумного ДВ-75 также были построены суточные графики рисунки 11 и 12.

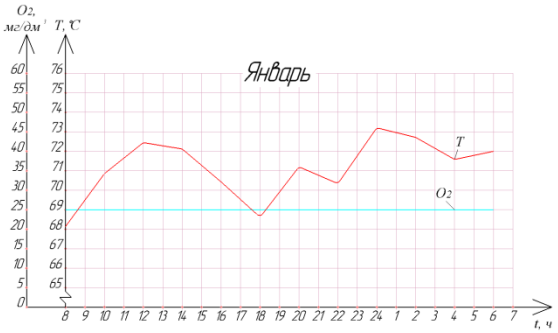

Рис. 11. Суточный график температурного режима деаэратора ДВ-75 в январе 2021 г

Fig. 11. Daily graph of the temperature regime of the DV-75 deaerator in January 2021.

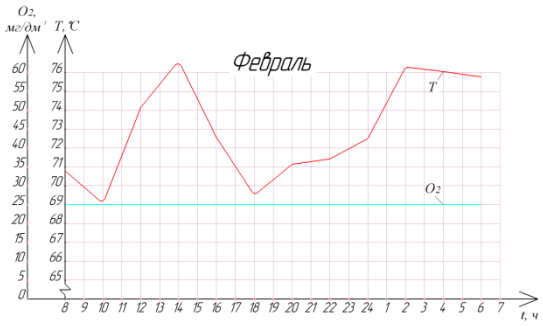

Рис. 12. Суточный график температурного режима деаэратора ДВ-75 в феврале 2021 г

Fig. 12. Daily graph of the temperature regime of the DV-75 deaerator in February 2021

Обсуждение

Из построенных графиков зависимости (рис. 7-10) по данным с атмосферного деаэратора ДСА-75 можно выделить следующее:

– в январе и феврале наблюдается достаточно стабильный температурный режим, при котором происходит атмосферная деаэрация, так как температура колеблется в малом диапазоне 101-104 °С.

– в мае температура колеблется в пределах 101-105 °С, в июне – в пределах 98-105°С, что также можно назвать стабильными температурными режимами;

– режим работы деаэратора ДСА-75 как в холодные, так и в теплые месяцы соответствует нормальным условиям работы для осуществления атмосферной деаэрации;

– содержание кислорода в деаэрированной воде на выходе из деаэратора ДСА-75 не превышает 30 мкг/кг;

– диоксид углерода полностью отсутствует в деаэрированной воде.

Что касается деаэратора вакуумного ДВ-75, то по нему ситуация аналогичная (рис. 11-12), а именно:

– в январе наблюдается колебание температуры, при которой происходит вакуумная деаэрация, в пределах 68-73 °С, что является допустимым;

– в феврале наблюдается большее колебание температур при вакуумной деаэрации, которое находится в пределах 69-77 °С;

– режим работы деаэратора ДВ-75 в холодные месяцы соответствует нормальным условиям работы для осуществления вакуумной деаэрации;

– содержание кислорода в деаэрированной воде на выходе из деаэратора ДВ-75 не превышает 30 мкг/кг;

– диоксид углерода полностью отсутствует в деаэрированной воде.

Можно заключить, что в настоящее время в рассматриваемой котельной УМУП «Городская теплосеть» система водоподготовки достаточно отлажена и выполняет свои функции, обеспечивая при этом качественную обработку воды.

Выводы

1. Рассматривая развитие деаэрационных устройств, можно отметить, что те или иные сложности и проблемы в эксплуатации крупных тепловых электростанций и небольших котельных в конечном итоге привели к созданию немалого числа разновидностей термических деаэраторов, которые в настоящее время серийно выпускаются и имеют широкий типоразмерный ряд. Эксплуатационным организациям рекомендуется, прежде всего, критически оценивать «новейшие» конструкции деаэраторов. Для достижения высокого качества деаэрированной воды, как правило, необходимо применять хорошо освоенные серийные аппараты, которыми до сих пор остаются деаэраторы, разработанные в ЦКТИ, а также создавать технологически необходимые схемные и режимные условия их эксплуатации.

2. Авторами установлено, что:

– для нормальной работы атмосферного деаэратора (при температуре не ниже 100°С) необходим источник пара, который в настоящее время в большинстве котельных отсутствует из-за их перевода в водогрейный режим;

– для обеспечения нормального стекания воды после вакуумной деаэрационной колонки в бак-аккумулятор деаэрационную колонку необходимо устанавливать на высоту, которая выбирается из расчета максимально возможного вакуума (-10 м.вод.ст.)

высоты столба воды в баке-аккумуляторе, сопротивления сливного трубопровода и перепада давлений, необходимого для обеспечения движения деаэрированной воды;

– для подачи деаэрированной воды после вакуумного деаэратора в сеть необходимо, чтобы допустимый кавитационный запас системы превышал требуемый кавитационный запас насоса;

– в настоящее время на рассматриваемой котельной УМУП «Городская теплосеть» система водоподготовки с использованием традиционного вакуумного деаэратора ДВ-75 хорошо отлажена и вполне выполняет свои функции, обеспечивая при этом качественную обработку воды.

3. В настоящей статье показана возможность перехода с атмосферной деаэрации на вакуумную. Такой переход весьма актуален на сегодняшний день на многих котельных по причине отказа от производства и потребления пара. Затраты на модернизацию рассмотренной котельной минимальны.

Литература

1. Шарапов В.И., Пазушкина О.В., Мингараева Е.В. Низкотемпературная деаэрация воды в теплоэнергетических установках / В. И. Шарапов, О. В. Пазушкина, Е. В. Мингараева; Ульян. гос. техн. ун-т. Ульяновск: УлГТУ, 2020. 202 с.

2. Sharapov V.I., Tsyura D.V. The water thermal deaeration processes management technologies // Russian national symposium on power engineering. Kazan: KSPEU.2001.

3. Малинина О.В. Технологии транспорта и утилизации выпара термических деаэраторов // Проблемы энергетики. Известия вузов. 2004. №3-4. С. 100-111.

4. Шарапов В.И., Феткуллов М.Р., Цюра Д.В. Об энергетической эффективности управления деаэраторами ТЭЦ по нескольким параметрам // Проблемы энергетики. Известия вузов. 2005. № 3-4. С. 46-54.

5. Шарапов В.И., Кузьмин А.В. О подогреве подпиточной воды теплосети основным конденсатом турбины // Проблемы энергетики. Известия вузов. 2012. № 3-4. С. 3-13.

6. Шарапов В.И.,. Кудрявцева Е.В (Мингараева), Пазушкина О.В. Массообмен и гидродинамика деаэраторов ТЭС при использовании в качестве десорбирующей среды природного газа // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т.9 № 1-2. С. 86-94.

7. Шарапов В.И., Пазушкина О.В., Золин М.В. Энергоэффективная схема включения вакуумного деаэратора в систему регенерации теплофикационной турбоустановки // С.О.К. 2019 № 6. С. 36-39.

8. Sharapov V.I., Kudryavtseva E.V. (Mingaraeva). Hydrodynamics and mass transfer deaeration of water on thermal power plants when used natural gas as a desorbing agent // Journal of Physics: Conference Series. 2017.

9. Sharapov V.I., Zamaleev M.M., Kudryavtseva E.V. Methods for Monitoring the Vacuum Seals of Turbine Systems and Vacuum Deaerators // Power Technology and Engineering. 2015. V. 49, N 4. pp. 287-290.

10. Sharapov V.I., Pazushkina O.V., Kudryavtseva E.V. Energy-Effective Method for Low-Temperature Deaeration of Make-up Water on the Heating Supply System of Heat Power Plants // Thermal Engineering. 2016. V. 63. No. 1. pp. 687-690.

11. Sharapov V.I., Kudryavtseva E.V. Energy Efficiency of Low-Temperature Deaeration of Makeup Water for a District Heating System // Power Technology and Engineering. 2016. V. 50. N 2. pp. 204-207.

12. Mayr F. Kesselbetriebstechnik, V.: Dr. Ingo Resch, 10. Auflage. 2003. Seite 392.

13. WasserBauGesellschaft Kulmbach mbH. Available at: https://www.wbg-kulmbach.de. Accessed to: 15 октября 2021 г.

14. Eurowater Wasseraufbereitung GmbH, Hamburg, Deutschland. https://www.wlw.de/de/firma/eurowater-wasseraufbereitung-gmbh-346176. Ссылка активна на 15 октября 2021 г.

15. Подчернин Д.П. Сравнение различных систем деаэрации и особенности их внедрения // Новости теплоснабжения. 2017. - № 2.

16. Журнал о котельном оборудовании. Доступно по: https://kotlotech.ru/deaerator-dsa/ Ссылка активна на 18 июля 2021 г.

17. Деаэраторы «АВАКС». // АВОК. 2004. № 6 (статья и приложенный к журналу компакт-диск).

18. Шарапов В.И. Проверка деаэратора «АВАКС» в промышленной эксплуатации / В.И. Шарапов, М.Е. Орлов // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 2 (52). С. 60–

62.

19. Шарапов В.И. Деаэрация воды в теплогенерирующих установках малой мощности // Новости теплоснабжения. 2007. № 5. С. 16-22.

20. Ледуховский Г.В., Виноградов В.Н., Шатова И.А. Реконструкция атмосферных струйных деаэраторов с применением кавитационных деаэрационных устройств «АВАКС» // Вестник ИГЭУ. 2014. № 6. С. 5–10.

21. Разинков А.А., Петухова А.Ю., Ледуховский Г.В. Характеристики вакуумно-атмосферной деаэрационной установки на базе деаэраторов "ДСА" и "АВАКС" // Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов, Пятая Всероссийская научно-практическая конференция, г. Волжский, 23-26 сентября 2014 г. / Сборник маткриалов конференции. Волжский: Филиал МЭИ в г. Волжском, 2014. 182 с. С. 132-137.

22. Leduhovsky, G.V. Modeling The Water Decarbonization Processes In Atmospheric Deaerators / G.V., Leduhovsky // Thermal engineering. 2017. V. 64. N. 2. pp. 127-133.

23. ОО Армикс. Доступно по: https://www.armatyra.org/product/9512/. Ссылка активна на 18 июля 2021 г

24. Теплотех-Комплект. Доступно по: https://tt-k.ru/Deaerator_DSA_75-25.htm. Ссылка активна на 18 июля 2021 г.

25. Промышленное ЭнергоОборудование. Доступно по: http://kes-ur.ru/store/10000138/10000586/10000588/deaerator-vakuumnyy-dv-5-deaerator-vakuumnyy-dsv-9/. Ссылка активна на 18 июля 2021 г.

Авторы публикации

Пазушкина Ольга Владимировна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова», Ульяновский государственный технический университет.

Золин Максим Вячеславович – аспирант, Ульяновский государственный технический университет.

Силкин Игорь Александрович – магистрант, Ульяновский государственный технический университет.

References

1. Sharapov VI, Pazushkina OV, Mingaraeva EV. *Nizkotemperaturnaya deaeratsiya vody v teploenergeticheskikh ustanovkakh; Ul'yan. gos. tekhn. un-t.* Ul'yanovsk : UlGTU, 2020. 202 p.

2. Sharapov VI, Tsyura DV. The water thermal deaeration processes management technologies. *Russian national symposium on power engineering*. Kazan: KSPEU.2001.

3. Malinina OV. Tekhnologii transporta i utilizatsii vypara termicheskikh deaeratorov. *Problemy energetiki. Izvestiya vuzov.* 2004;3-4:100-111.

4. Sharapov VI, Fetkullov MR, Tsyura DV. Ob energeticheskoi effektivnosti upravleniya deaeratorami TETs po neskol'kim parametram. *Problemy energetiki. Izvestiya vuzov.* 2005;3-4:46-54.

5. Sharapov VI, Kuz'min AV. O podogreve podpitochnoi vody teploseti osnovnym kondensatom turbiny. *Problemy energetiki. Izvestiya vuzov.* 2012;3-4:3-13.

6. Sharapov VI, , Kudryavtseva EV. (Mingaraeva), Pazushkina OV. Massoobmen i gidrodinamika deaeratorov TES pri ispol'zovanii v kachestve desorbiruyushchei sredy prirodnogo gaza. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. 2017;9(1-2):86-94.

7. Sharapov VI, Pazushkina OV, Zolin MV. *Energoeffektivnaya skhema vklyucheniya vakuumnogo deaeratora v sistemu regeneratsii teplofikatsionnoi turboustanovki.* S.O.K. 2019; 6:36-39.

8. Sharapov VI, Kudryavtseva EV. (Mingaraeva) Hydrodynamics and mass transfer deaeration of water on thermal power plants when used natural gas as a desorbing agent. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017.

9. Sharapov VI, Zamaleev MM, Kudryavtseva EV. Methods for Monitoring the Vacuum Seals of Turbine Systems and Vacuum Deaerators. *Power Technology and Engineering*. 2015; 49 (4):287-290.

10. Sharapov VI, Pazushkina OV, Kudryavtseva EV. Energy-Effective Method for Low-

Temperature Deaeration of Make-up Water on the Heating Supply System of Heat Power Plants. *Thermal Engineering*. 2016;63(1):687-690.

11. Sharapov VI, Kudryavtseva EV. Energy Efficiency of Low-Temperature Deaeration of Makeup Water for a District Heating System. *Power Technology and Engineering*. 2016;50(2):204-207.

12. Mayr F. Kesselbetriebstechnik, V.: Dr. Ingo Resch, 10. Auflage. 2003. Seite 392.

13. WasserBauGesellschaft Kulmbach mbH. Доступно по: https://www.wbg-kulmbach.de. Ссылка активна на 15 октября 2021 г.

14. Eurowater Wasseraufbereitung GmbH, Hamburg, Deutschland. https://www.wlw.de/de/firma/eurowater-wasseraufbereitung-gmbh-346176. Ссылка активна на 15 октября 2021 г.

15. Podchernin D.P. Sravnenie razlichnykh sistem deaeratsii i osobennosti ikh vnedreni. *Novosti teplosnabzheniya.* 2017;2.

16. Zhurnal o kotel'nom oborudovanii. Dostupno po: https://kotlotech.ru/deaerator-dsa/ Ssylka aktivna na 18 iyulya 2021 g.

17. Deaeratory «AWACS». // AVOK. 2004. № 6.

18. Sharapov VI, Orlo M.E. Proverka deaeratora «AWACS» v promyshlennoi ekspluatatsii. *Energosberezhenie i vodopodgotovka*. 2008;2 (52):60–62.

19. Sharapov VI. Deaeratsiya vody v teplogeneriruyushchikh ustanovkakh maloi moshchnosti. *Novosti teplosnabzheniya.* 2007;5:16-22.

20. Ledukhovskii GV, Vinogradov VN, Shatova IA, et al. Rekonstruktsiya atmosfernykh struinykh deaeratorov s primeneniem kavitatsionnykh deaeratsionnykh ustroistv «AWACS». *Vestnik IGEU.* 2014; 6:5-10.

21. Razinkov AA, Petukhova AYu., Ledukhovskii GV. Kharakteristiki vakuumno-atmosfernoi deaeratsionnoi ustanovki na baze deaeratorov «DSA» i «AWACS». *Resurso-energosberezhenie i ekologo-energeticheskaya bezopasnost' promyshlennykh gorodov, Pyataya Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*, g. Volzhskii, 23-26 sentyabrya 2014 g. Sbornik matkrialov konferentsii. Volzhskii: Filial MEI v g. Volzhskom, 2014;182:132-137.

22. Leduhovsky GV. Modeling The Water Decarbonization Processes In Atmospheric Deaerators. *Thermal engineering*. 2017;64(2):127-133.

23. *OOO Armiks*. Dostupno po: https://www.armatyra.org/product/9512/. Ssylka aktivna na 18 iyulya 2021 g.

24. *Teplotekh-Komplekt*. Dostupno po: https://tt-k.ru/Deaerator_DSA_75-25.htm. Ssylka aktivna na 18 iyulya 2021 g.

25. *Promyshlennoe EnergoOborudovanie*. Dostupno po: http://kes-ur.ru/store/10000138/10000586/10000588/deaerator-vakuumnyy-dv-5-deaerator-vakuumnyy-dsv-9/. Ssylka aktivna na 18 iyulya 2021 g.

Authors of the publication

Olga V. Pazushkina – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia. E-mail: o.pazushkina@yandex.ru.

Maksim V. Zolin – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia. E-mail: zolinm6@gmail.com.

Igor A. Silkin – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia.

Получено ***17.02.2022г.***

Отредактировано ***26.03.2022г.***

Принято ***26.03.2022г.***