

УДК 621.187.12

О. Н. Вольская^а, А. А. Чураков^а, Е. П. Боровой^б, М. В. Халиповский^а

^а Волгоградский государственный технический университет

^б Волгоградский государственный аграрный университет

БЕЗРЕАГЕНТНЫЙ МЕТОД ДЕГАЗАЦИИ ПОДПИТОЧНОЙ И ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОСЕТИ

Предложенный авторами метод вакуумной дегазации подпиточной и питательной воды теплосети основан на методе инженера И. Г. Комарчева, который является основоположником безреагентного метода удаления диоксида углерода из воды водогрейных котельных и ТЭЦ. Главная задача авторов — предложить метод удаления агрессивных газов подпиточной и питательной воды теплосети, который заменит дорогостоящее, металлоемкое и громоздкое оборудование котельных и ТЭЦ на экономичное и простое в эксплуатации. В отличие от декарбонизаторов метод вакуумной дегазации исключает необходимость иметь воздухоподогреватели, проводить периодические перегрузки и промывки насадки (кольца Рашига) и другие ремонтные работы на декарбонизаторах, что значительно облегчит условия эксплуатации схем декарбонизации воды.

Ключевые слова: многоступенчатый эжектор, вакуумный дегазатор, декарбонизация воды, безреагентный способ удаления диоксида углерода.

При эксплуатации тепловых станций и водогрейных котельных часто возникает задача максимального удаления агрессивных газов из подпиточной и питательной воды теплосети.

Для понимания, в каком оборудовании или при каком процессе возникает высокая концентрация агрессивных газов, которая отрицательно влияет на работу не только самих котлов, но и теплотрассы, подводящей тепло и горячую воду к потребителю, обратимся к принципиальной схеме обычной водогрейной котельной (рис. 1).

Высокая концентрация диоксида углерода (CO_2) появляется в результате процесса Н-катионирования (см. рис. 1, позиция 2).

При обработке воды на фильтрах, работающих в режиме так называемой «голодной» регенерации и при подкислении в схемах подпитки теплосети (см. рис. 1, позиция 3).

Для удаления CO_2 из питательной воды энергетических котлов с целью предупреждения коррозионных разрушений пароконденсатного тракта используются физические и химические способы декарбонизации. Физические методы значительно дешевле, чем химические, т. к. не требуют применения специальных реагентов [1, 2].

Удаление CO_2 в декарбонизаторах, получивших широкое распространение на тепловых станциях и котельных, основано на стремлении растворенного в воде диоксида углерода в соответствии с законом Генри — Дальтона прийти в равновесие с парциальным давлением этого газа в продуваемом воздухе. Если концентрация CO_2 в воде выше той, которая соответствует указанному закону, то происходит выделение этого газа из воды в воздух.

Выделение CO_2 из воды протекает тем интенсивнее, чем больше достигается поверхность контакта воздуха с водой, что может быть обеспечено при

высокой степени дробления потока воды на элементарные струйки. В рассматриваемом случае эффективность режима декарбонизации будет определяться, по-видимому, скоростью выделения CO_2 из воды.

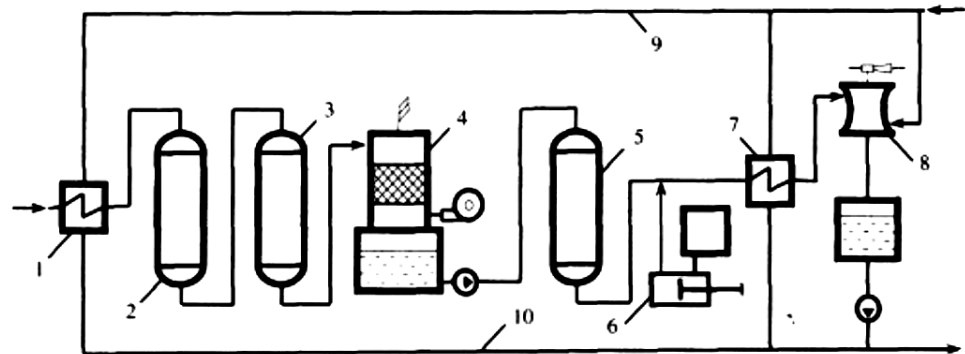


Рис. 1. Принципиальная схема водоподготовительной установки водогрейной котельной: 1 — подогреватели исходной воды; 2 — Н-катионитовые фильтры; 3 — буферные фильтры; 4 — декарбонизаторы; 5 — Na-катионитовые фильтры; 6 — узел ввода силиката натрия; 7 — подогреватель химочищенной воды; 8 — вакуумный деаэрактор; 9 — коллектор сетевой воды после водогрейных котлов; 10 — обратный сетевой трубопровод

С этой точки зрения нельзя признать декарбонизаторы оптимальным конструктивным решением для удаления CO_2 из обрабатываемой воды, т. к. имеющаяся в них насадка, состоящая из колец Рашига, не может обеспечить достаточно высокую степень дробления потока воды, а следовательно, обеспечить оптимальную поверхность контакта воды и воздуха [3—5].

Основоположителем безреагентного метода удаления свободной углекислоты из воды с помощью многоступенчатого эжектора является изобретатель, к. т. н., И. Г. Комарчев — учитель О. Н. Вольской, одного из авторов данной статьи, которая проработала с изобретателем более 10 лет в проектно-институте «Роспромколхозпроект» (далее — «Волгоградпроект») и выполняла не только проекты по этой теме, но и руководила пусконаладочными работами, внедряя данный метод.

Первостепенная задача внедрения метода И. Г. Комарчева — не нарушая технологической схемы существующей котельной, подключить многоступенчатый эжектор в кратчайшие сроки для бесперебойной работы оборудования, добиваясь максимального удаления CO_2 из воды наиболее экономичным физическим способом.

Как видно на рис. 2, метод И. Г. Комарчева может быть использован самостоятельно или с декарбонизатором.

В тех случаях, когда метод многоступенчатой эжекции применяется самостоятельно, например, при отсутствии декарбонизаторов в схеме обессоливания воды (рис. 2, а), каскадный эжектор монтируется в трубопровод, идущий в бак частично обессоленной воды. В этом случае количество ступеней эжектора необходимо рассчитывать из начальных и конечных условий режима декарбонизации.

Если же метод И. Г. Комарчева применяется в сочетании с декарбонизатором с целью улучшения условий его работы (рис. 2, б), то количество сту-

пеней эжектора может быть ограничено в зависимости от желаемого эффекта частичной декарбонизации воды после эжектора. Промышленная проверка этого метода на установке Волгоградской ТЭЦ-2 по приготовлению подпиточной воды теплосети методом Н-голодной регенерации показала вполне удовлетворительные результаты. Остаточное содержание CO_2 в воде составляло 1...4 мг/л.

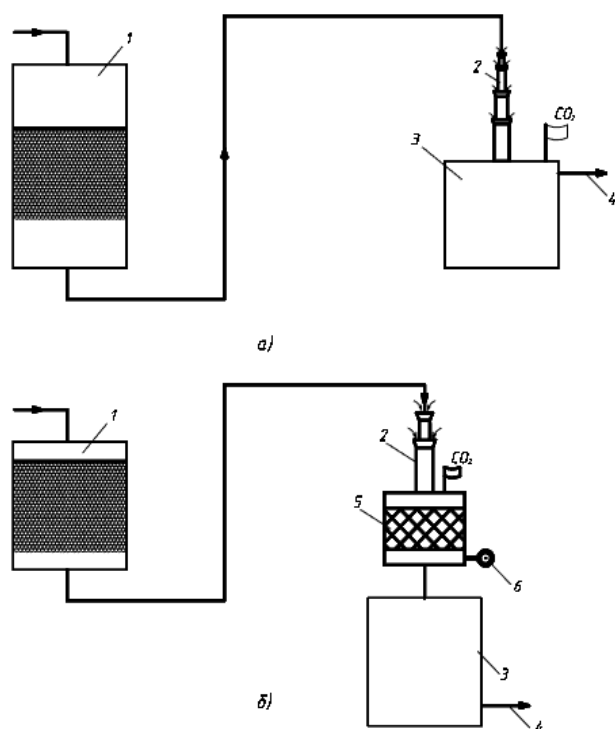


Рис. 2. Схема включения многоступенчатого эжектора И. Г. Комарчева:
 а — схема работы многоступенчатого эжектора без декарбонизатора;
 б — схема работы многоступенчатого эжектора с декарбонизатором:
 1 — фильтр; 2 — многоступенчатый эжектор И. Г. Комарчева; 3 — бак с воздухоотделителем;
 4 — обработанная вода к потребителю; 5 — декарбонизатор; 6 — вентилятор

На Михайловской ТЭЦ в Волгоградской области осуществлен вариант согласно рис. 2, б на водоподготовительной установке приготовления добавочной воды котлов, работающей по схеме Н-На-катионирования. Комбинированный метод удаления CO_2 позволил в 2...3 раза улучшить эффект декарбонизации по сравнению с проектной схемой. При этом 80 % общего содержания CO_2 в обрабатываемой воде удалилось после многоступенчатого эжектора, а оставшаяся доля — на декарбонизаторе. Остаточное содержание в воде CO_2 не превышало 1,3 мг/л.

Декарбонизация по методу И. Г. Комарчева осуществляется на основе непрерывных и одновременно протекающих процессов так называемого объемного вскипания CO_2 и интенсивного дробления капель воды в потоке эжектируемого воздуха при прямоточном движении в ограниченном объеме и плотной упаковке капель. При этом используется эффект десорбции CO_2 , главным образом, в момент дробления капли [6].

Технологическая схема, основанная на вакуумно-эжекционном способе с использованием вакуумно-эжекционной установки, показана на рис. 3.

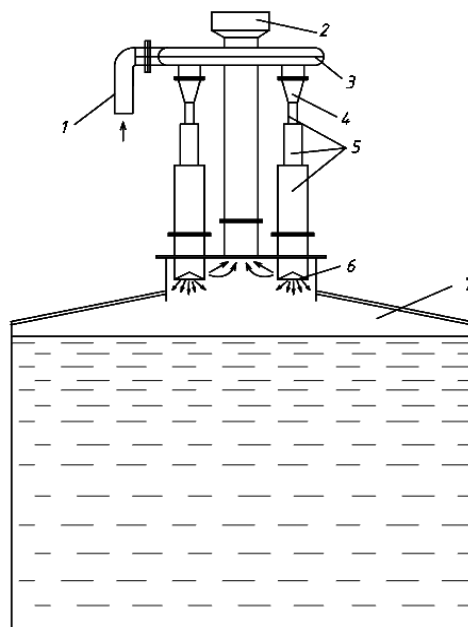


Рис. 3. Схема компоновки установки по методу И. Г. Комарчева:
1 — вход воды; 2 — удаление воздуха, насыщенного CO_2 ; 3 — распределительное кольцо;
4 — вакуумно-распылительная головка; 5 — камеры смешения; 6 — бак

Принцип работы установки заключается в следующем: содержащая CO_2 вода подается по трубопроводу в многоступенчатый эжектор И. Г. Комарчева, сопло которого представляет собой вакуумно-распылительную головку 4. После нее предусмотрен ряд ступеней эжекции воздуха, представляющих собой несколько соосно установленных труб 5 с последовательно увеличивающимися диаметрами, каждая из которых является собой конфузор с камерой смешения [7].

Поток воды, проходя через вакуумно-распылительную головку, образует вакуумных зоны, создающие условия для объемного вскипания находящихся в воде газов (CO_2 , O_2 и др.). Это способствует выделению значительной части газов из воды и разрушению целостности струи. При выходе из вакуумно-распылительной головки газоводяной поток эжектирует окружающий воздух, входит в камеру смешения ступени и, после прохождения 1...4 диаметров ее цилиндрической части, заполняет весь объем уже в виде водовоздушной дисперсной системы. Находясь в таком состоянии, поток после первой ступени эжектора служит эжектирующей средой для второй ступени, где происходит образование более диспергированной системы. Этот процесс, продолжающийся во всех последующих ступенях эжектора, приводит к образованию однородной дисперсной системы, обладающей значительной поверхностью контакта мелкодробленых капель воды с воздухом (до 100 тыс. $\text{м}^2/\text{м}^3$). Это создает оптимальные условия для ускоренного перехода CO_2 из воды в воздух.

Уменьшение скорости потока в последующих ступенях эжектора приводит к снижению устойчивости капель воды в потоке, к тонкодисперсному состоянию. Происходит процесс коалесценции — мелкие капли группируются в более крупные.

Подготовленный таким образом поток обрабатываемой воды направляется на отражательную пластину 8, на которой осуществляется отделение воздуха, насыщенного CO_2 , от воды. Воздух отводится в атмосферу, а обработанная вода в технологическую цепь.

На процесс массопередачи влияет ряд факторов, в частности, температура и давление воды перед многоступенчатым эжектором [8]. На графике рис. 4, построенном по результатам испытаний, видно, что изменение температуры воды влечет за собой изменение кинетики десорбции CO_2 .

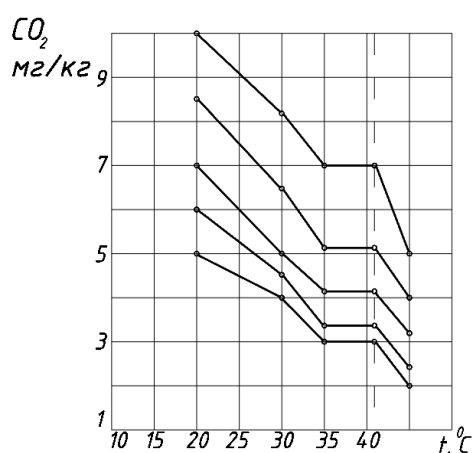


Рис. 4. Остаточное содержание CO_2 в воде после многоступенчатого эжектора, установленного за фильтрами, работающими с «голодной» регенерацией, в зависимости от температуры воды (Волгоградская ТЭЦ-2)

Повышение температуры воды уменьшает поверхностное натяжение в каплях, которое способствует увеличению кинетики десорбции CO_2 . В температурном диапазоне от 35 до 42 $^\circ\text{C}$ кинетика CO_2 остается постоянной, что объясняется отсутствием изменения поверхностного натяжения в этом интервале. Таким образом, величина поверхностного натяжения влияет на кинетику десорбции CO_2 .

Из рассмотрения графиков (рис. 5 и 6), построенных по результатам испытаний, следует, что увеличение давления, повышающее производительность, не влияет на эффективность процесса, установки устойчиво работают в широком диапазоне режимов. Следует отметить, что перегрузки не оказывали негативного влияния, а наоборот, повышение давления повышало эффективность процесса.

Вышеописанный метод И. Г. Комарчева позволяет решить вопрос извлечения CO_2 еще более экономичным физическим способом, который предлагают авторы данной статьи.

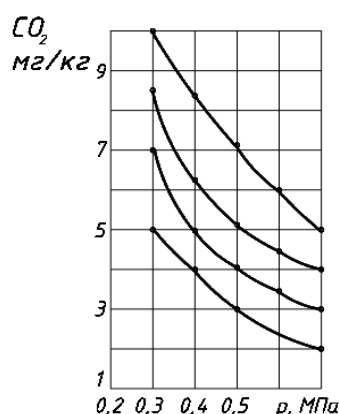


Рис. 5. Остаточное содержание CO_2 в воде после многоступенчатого эжектора, установленного за фильтрами, работающими с «голодной» регенерацией, в зависимости от давления перед многоступенчатым эжектором (Волгоградская ТЭЦ-2, содержание в воде CO_2 90 мг/кг)

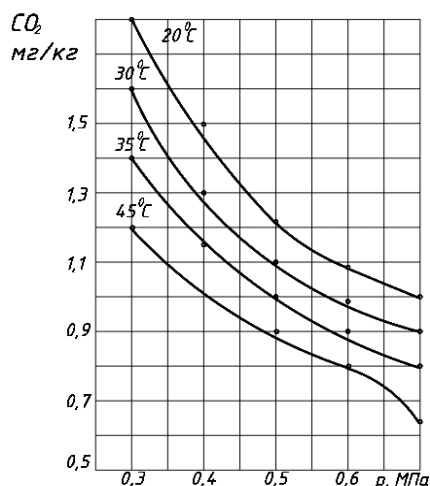


Рис. 6. Остаточное содержание CO_2 в воде после многоступенчатого эжектора, установленного за фильтрами, работающими с обессолеванием, в зависимости от давления воды перед эжектором (Волгоградская ТЭЦ-2, содержание в воде диоксида углерода 15 мг/кг)

Для реализации предложения по удалению CO_2 из подпиточной и питательной воды теплосети не требуется громоздкого, металлоемкого и дорогостоящего оборудования. Данная схема представлена на рис. 7. Основным элементом схемы является дегазатор вакуумный, встраиваемый в существующий трубопровод, минуя декарбонизатор (см. рис. 1, б) или бак с воздухоотделителем (см. рис. 1, а), которые впоследствии можно в схемах реконструировать, т. е. удалить. Это решение особенно актуально для вновь строящихся котельных и ТЭЦ. В этом случае применение комплексной методики водоподготовки — тандем декарбонизации воды с деаэрацией, целесообразно заменить на вакуумный дегазатор, предлагаемый авторами (рис. 8).

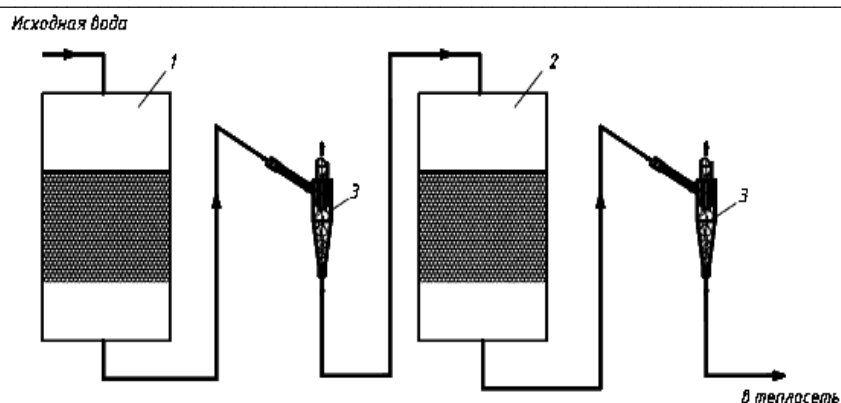


Рис. 7. Принципиальная схема водоподготовительной установки водогрейной котельной с вакуумным дегазатором: 1 — H-катионитовый фильтр; 2 — Na-катионитовый фильтр; 3 — вакуумный дегазатор

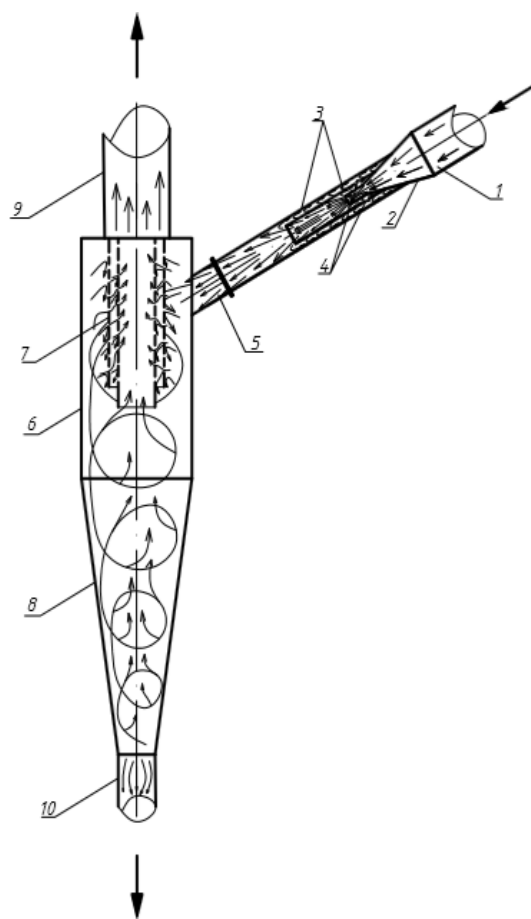


Рис. 8. Вакуумный дегазатор: 1 — подвод воды после фильтров; 2 — сопло распылительной головки; 3 — 2-ступенчатая вакуумная камера; 4 — перфорации; 5 — питающая насадка; 6 — цилиндр замкнутой зоны; 7 — перфорации цилиндра; 8 — коническая зона; 9 — патрубок отвода газов; 10 — патрубок отвода воды

Принцип действия вакуумного дегазатора основан на подаче воды под давлением через распылительную головку 2 в вакуумную камеру 3. Образующийся на выходе вакуумной камеры 3 поток водогазовой смеси попадает в цилиндрическую замкнутую зону с перфорацией 4. Под действием удара о перфорированные стенки цилиндров 7 внутри них возникает устойчивый воздушный столб для отвода газовой фазы вверх, а жидкую фазу подают в замкнутую коническую зону 8 с образованием спирального вихря с вертикальной осью и уменьшающимся книзу радиусом закрутки вихря, разделяют поток под действием центробежной силы на жидкую и газовую фазы и отводят жидкую фазу вниз, а остатки газов уходят вверх по образовавшемуся устойчивому воздушному столбу трубы 9.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Веселовская Е. В., Шишло А. Г. Опыт применения перспективных технологий водоподготовки на отечественных тепловых электростанциях // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2016. № 2(190). С. 62—66.
2. Веселовская Е. В., Луконина О. В., Шишло А. Г. Современные проблемы реконструкции водоподготовительных установок теплоэнергетических предприятий // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2012. № 2. С. 63—66.
3. Кудрявцева (Мингараева) Е. В., Шаранов В. И. Повышение энергетической эффективности ТЭЦ путем совершенствования технологий деаэрации подпиточной воды теплосети // IX семинар вузов по теплофизике и энергетике: сб-к материалов докладов международной конференции. 2015. Т. 3. Казань: КГЭУ, 2015. С. 91—99.
4. Чупова А. В., Галковский В. А. Деаэрация как способ защиты теплоэнергетического оборудования от коррозии // Науковедение. Т. 9. 2017. № 2. С. 43—47.
5. Кудрявцева (Мингараева) Е. В., Шаранов В. И. Массообменная эффективность низкотемпературной деаэрации и декарбонизации подпиточной воды теплосети на ТЭЦ // Тезисы докладов и сообщений XV Минского международного форума по тепломассообмену. 2016. Т. 3. С. 352—355.
6. Комарчев И. Г., Богданов В. Ф. Новый физический метод удаления свободной угольной кислоты из воды // Энергетик. 1978. № 3. С. 29—30.
7. Комарчев И. Г. Безреагентный метод удаления диоксида углерода из воды // Электрические станции. 1988. № 8. С. 43—45.
8. Гамарник В. Г., Вольская О. Н., Запорожцева Н. А. Способ очистки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения и устройство для его осуществления: пат. № 2282594 Российская Федерация, МПК⁵¹ CO2F 1/74 BO1F 3/04.

© Вольская О. Н., Чураков А. А., Боровой Е. П., Халиповский М. В., 2025

Поступила в редакцию
в декабре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Вольская О. Н., Чураков А. А., Боровой Е. П., Халиповский М. В. Безреагентный метод дегазации подпиточной и питательной воды теплосети // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 167—175. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_167.

Об авторах:

Вольская Ольга Николаевна — канд. техн. наук, доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olgavolska@mail.ru

Чураков Алексей Александрович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-0810-8177

Боровой Евгений Павлович — д-р с/х наук, проф., зав. каф. мелиорации земель и комплексного использования водных ресурсов, Волгоградский государственный аграрный университет (ВолГГАУ). Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26; borovoy.e.p@mail.ru

Халиповский Михаил Владимирович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; khalipovsky@yandex.ru

Olga N. Volskaya^a, Alexey A. Churakov^a, Evgeny P. Borovoy^b, Mikhail V. Khalipovsky^a

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Volgograd State Agrarian University*

A NON-REACTIVE METHOD OF DEGASSING THE MAKE-UP AND FEED WATER OF THE HEATING NETWORK

The method of vacuum degassing of make-up and feed water of the heating system proposed by the authors is based on the method of engineer I.G. Komarchev, who is the founder of the reagent-free method of removing carbon dioxide from the water of hot water boilers and thermal power plants. The main task of the authors is to propose a method for removing aggressive gases from the make-up and feed water of the heating network, which will replace expensive, metal-intensive and bulky equipment of boiler houses and thermal power plants with easy-to-operate and economical equipment. Unlike decarbonizers, the vacuum degassing method eliminates the need to have blowers, carry out periodic overloads and flushing of the nozzle (Raschig rings), as well as carry out other repair work on decarbonizers, which will greatly facilitate the operating conditions of water decarbonization schemes.

Key words: multistage ejector, vacuum degasser, water decarbonization, non-reactive method of carbon dioxide removal.

For citation:

Volskaya O. N., Churakov A. A., Borovoy E. P., Khalipovsky M. V. [A non-reactive method of degassing the make-up and feed water of the heating network]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 1, pp. 167—175. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_167.

About authors:

Olga N. Volskaya — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olgavolska@mail.ru

Alexey A. Churakov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0810-8177

Evgeny P. Borovoy — Doctor of Agricultural Sciences, Prof., Volgograd State Agrarian University. 26, University Avenue, Volgograd, 400002, Russian Federation; borovoy.e.p@mail.ru

Mikhail V. Khalipovsky — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; khalipovsky@yandex.ru