

УДК 621.311.22

Анализ процесса дегазации в центробежно-вихревых деаэраторах

А.Н. Росляков¹, Г.В. Ледуховский¹, В.П. Жуков¹, Е.В. Барочкин¹, Б.А. Зимин², В.Н. Виноградов¹
¹ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
²ЗАО «Регион-Бизнес», г. Москва, Российская Федерация
E-mail: zhukov-home@yandex.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Центробежно-вихревые деаэраторы конструкции Б.А. Зимина в последнее время широко используются в энергетике благодаря удачному сочетанию в них удовлетворительной эффективности, широкого диапазона регулирования рабочих нагрузок и малой металлоемкости. Выбор их конструкции и технологических режимов происходит на основе экспериментальных исследований или обобщения опыта эксплуатации существующих установок. В связи с этим проведение теоретических исследований процессов теплопереноса в этих деаэраторах в целях определения оптимальных конструкций и эффективных режимов их работы является актуальным.

Методы и материалы: Описание процесса удаления из воды растворенного газа в центробежно-вихревом деаэраторе проводится с использованием базовых соотношений теоретической механики и гидродинамики.

Результаты: Разработана одномерная модель движения парогазовых пузырьков в вихревом центробежном потоке воды, получены ее аналитическое и численное решения. Найдено характерное время всплытия парогазового пузырька в центробежном потоке воды.

Выводы: На основе предложенного описания удаления растворенного газа из вихревого потока воды стала возможной постановка задач по совершенствованию конструкции и режимов работы центробежно-вихревого деаэратора, решение которых имеет важное значение для энергетической и смежных отраслей промышленности.

Ключевые слова: деаэрация, массоперенос, центробежный поток, вихревой поток, уравнение движения, двухфазная среда, закон движения, закон изменения скорости, оценка эффективности.

Analysis of degassing in centrifugal vortex deaerators

A.N. Roslyakov¹, G.V. Leduhovsky¹, V.P. Zhukov¹, E.V. Barochkin¹, B.A. Zimin², V.N. Vinogradov¹
¹Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
²ZAO «Region-Business», Moscow, Russian Federation
E-mail: zhukov-home@yandex.ru

Abstract

Background: Centrifugal vortex deaerators designed by B.A. Zimin have recently been widely used in power industry as they are rather efficient, have a wide range of workload regulation modes and a low metal content. Their design and technological modes are chosen based on experimental studies or by generalizing experience of the existing installations. Therefore, theoretical investigations of heat and mass transfer in these deaerators in order to determine the optimum design and efficient modes of their work are relevant.

Methods and materials: Fundamental equations of theoretical mechanics and hydrodynamics are used to describe the process of removing dissolved gas from water in a centrifugal vortex deaerator.

Results: We have developed a one-dimensional model of the motion of gas bubbles in a centrifugal flow of water, found its analytical and numerical solutions, determined the characteristic time of a vapor-gas bubble ascent in a centrifugal flow of water.

Conclusions: Based on the proposed description of the removal of dissolved gas from the centrifugal flow of water, it became possible to state problems of improving the design and operation modes of centrifugal vortex deaerators. Solving these problems is important for power and related industries.

Key words: deaeration, mass transfer, centrifugal flow, vortex flow, equation of motion, two-phase medium, law of motion, law of velocity variation, efficiency evaluation.

Деаэрационные установки на тепловых электрических станциях и в котельных используются для предотвращения коррозии энергетического оборудования путем удаления из воды коррозионно-активных газов [1]. Наряду с традиционными струйными, барботажными, пленочными (в том числе, щелевыми, форсуночными) деаэрационными установками [1–3] в настоящее время все большую популярность приобретает

центробежно-вихревой деаэратор (ДЦВ) конструкции Б.А. Зимина [4], в котором удалось существенно интенсифицировать процесс массообмена за счет вихревой организации потока в рабочей зоне. Выбор типоразмера и технологических режимов таких аппаратов происходит обычно на основе экспериментальных исследований или обобщения опыта эксплуатации существующих установок. Экспериментальные исследова-

ния процессов деаэрации в этих аппаратах, несмотря на очевидные преимущества, связаны с существенными временными и ресурсными затратами. В связи с этим проведение теоретических исследований процессов тепло-массопереноса в центробежно-вихревых деаэраторах в целях определения оптимальных конструкций и эффективных режимов их эксплуатации является актуальным. Тематика исследований, направленных на повышение энергетической эффективности деаэраторного оборудования, соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, утвержденным указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011, что дополнительно подтверждает актуальность работы.

Целью исследования является разработка математического описания процесса деаэрации воды в центробежно-вихревом деаэраторе в целях повышения эффективности его работы.

Для достижения поставленной цели последовательно решаются следующие задачи:

- разработка модели движения перегретой жидкости и парогазовых пузырьков в центробежном вихревом потоке жидкости;

- получение аналитического и численного решений динамического уравнения движения парогазового пузырька при одномерной постановке задачи и оценка на основе полученных решений времени пребывания пузырька в слое жидкости;

- проведение анализа эффективности процесса деаэрации на основе сопоставления времени пребывания деаэрируемой воды в центробежно-вихревой ступени аппарата и времени, необходимого для выхода парогазовых пузырьков из воды.

Объектом исследования является центробежно-вихревой деаэратор конструкции Б.А. Зимины, в который для дегазации подается перегретая вода. Предмет исследования – процессы массопереноса в центробежно-вихревом деаэраторе.

Принципиальная схема центробежно-вихревого деаэратора приведена на рис. 1. Деаэратор состоит из корпуса 1, встроенного в центробежный сепаратор 2. Через центральное отверстие в верхней крышке 3 корпуса 1 проходит труба для отвода пара 4. В части корпуса 1, встроенной в центробежный сепаратор 2, имеются окна 5, расположенные над днищем корпуса 6. Направляемая на деаэрацию вода, перегретая относительно температуры насыщения при давлении в паровом пространстве деаэратора, подается через тангенциальные подводящие патрубки 7. Благодаря тангенциальному подводу поток воды приобретает вращательное движение внутри корпуса. Для организации вихревого потока воды имеется кольцевая перегородка 8, разделяющая входной и выходной отсеки корпуса 1. Из выходного отсека корпуса 1 через окна 5 вода поступает в центробежный сепаратор 2.

Для предотвращения гашения вихря воды вместо окон 5 могут быть использованы короткие тангенциальные патрубки. Отвод воды из центробежного сепаратора 2 осуществляется через специальные тангенциальные патрубки.

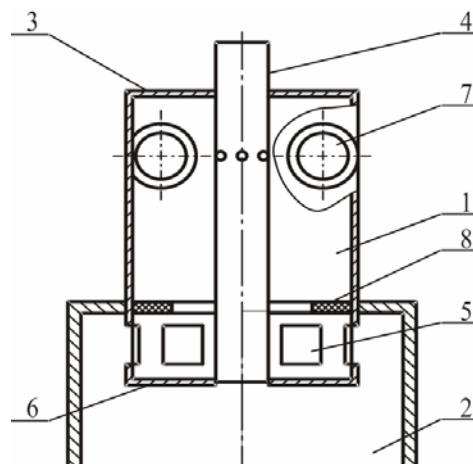


Рис. 1. Конструктивная схема центробежно-вихревого деаэратора: 1 – корпус; 2 – центробежный сепаратор; 3 – верхняя торцевая крышка корпуса; 4 – трубопровод отвода пара; 5 – окна для отвода воды из корпуса; 6 – днище корпуса; 7 – подводящие тангенциальные патрубки; 8 – кольцевая перегородка (шайба)

Основное внимание уделяется анализу процесса деаэрации в первой ступени центробежно-вихревого деаэратора (рис. 1, поз. 1). Анализ процессов эвакуации воды и газа из второй ступени аппарата (рис. 1, поз. 2) выходит за пределы области настоящего исследования.

Для предварительной оценки качества деаэрации вводится специальный критерий. Качество деаэрации предлагается оценивать путем сопоставления двух характерных времен процесса: времени пребывания деаэрируемой воды в ступени и времени, необходимого для выхода парогазового пузырька из вихревого потока воды. Для качественной деаэрации в ступени время пребывания воды в ступени $t_{\text{преб}}$ должно быть больше времени всплытия пузырька на поверхность вихревого потока $t_{\text{деар}}$, т. е. $t_{\text{преб}} > t_{\text{деар}}$. Время пребывания жидкости в ступени однозначно определяется производительностью аппарата: чем больше производительность, тем меньше время пребывания воды в ступени. При разработке конструкций или при выборе режима необходимо обеспечить наилучшее для данной технологии сочетание качества деаэрированной воды и производительности установки.

Для определения времени пребывания жидкости в деаэраторе используется известное из химических технологий выражение для времени пребывания материала в реакторе [5], которое определяется как отношение массы загрузки аппарата к массовому расходу через аппарат:

$$t_{\text{преб}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{апп}} / D, \quad (1)$$

где $t_{\text{преб}}$ – время пребывания воды в ступени; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность воды; $V_{\text{апп}}$ – заполненный жидко-

стью объем деаэратора; D – массовая производительность деаэратора по исходной воде.

Время, необходимое для выхода парового пузырька из закрученного потока воды $t_{\text{деар}}$, предлагается оценивать из следующих модельных соображений. Считается, что перегретая жидкость на входе в центробежно-вихревую зону практически мгновенно вскипает. Образовавшиеся в рабочем объеме ступени пузырьки газа начинают интенсивно перемещаться в радиальном направлении к центру. Лимитировать удаление растворенных газов из воды очевидно будут пузырьки, которые образуются на внешней поверхности вихревого слоя, вблизи стенки аппарата (при $r = r_0$) (рис. 2). Время всплытия таких пузырьков определяет время, необходимое для полного выхода пузырьков газа из воды. Если пузырек успеет при его образовании на стенке покинуть слой жидкости за время, меньшее времени пребывания жидкости в аппарате, то процесс удаления газа, находящегося в паровых пузырьках, происходит полностью. Если часть образовавшихся пузырьков не успевает покинуть слой за время пребывания жидкости в ступени, то часть растворенного газа, находящегося в этих пузырьках, уносится из ступени вместе с водой.

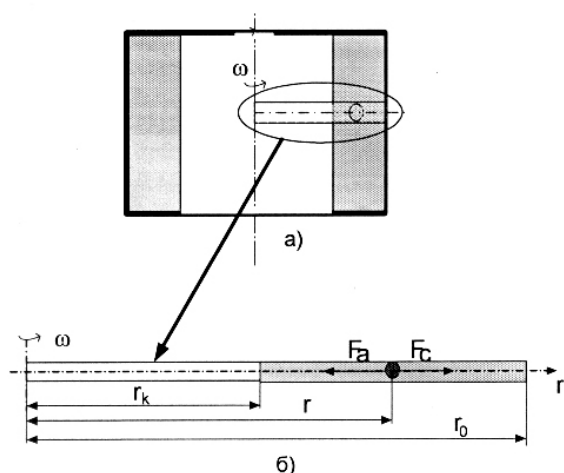


Рис. 2. Модельное представление центробежно-вихревого потока жидкости в ДЦВ (а) и схема сил, действующих на пузырек в радиальном направлении, для одномерного случая постановки задачи (б)

При разработке модели для оценки времени всплытия пузырька приняты следующие допущения. Вихревое движение жидкости представляется как квазитвердое [6], при котором проскальзывание между слоями вращающейся жидкости отсутствует, и вся жидкость в ступени вращается с одинаковой угловой скоростью ω . Система моделирования представлена на рис. 2,а в виде радиального элемента, вращающегося с указанной угловой скоростью. Выбранная система координат, показанная на рис. 2,б, вращается вместе с выделенным элементом с той же угловой скоростью.

Для описания движения пузырька во вращающейся неинерциальной системе отсчета не-

обходимо дополнительно учесть центробежную силу. Таким образом, на пузырек газа вдоль радиальной оси в выбранной системе отсчета действуют сила Архимеда, сила сопротивления и центробежная сила. Сила Архимеда в радиальном направлении определяется проекцией веса вытесненной жидкости на радиальную ось. Вертикальная проекция веса определяется силой тяжести, горизонтальная составляющая веса – центробежной силой. Величина горизонтальной проекции силы Архимеда зависит от объема пузырька, плотности вытесненной жидкости и центробежного ускорения. Вертикальная составляющая силы Архимеда с учетом значений крутки потока в ДЦВ существенно меньше (на один-два порядка) радиальной составляющей этой силы. По этой причине вертикальная проекция силы Архимеда не оказывает существенного влияния на характер движения пузырька. Для описания движения пузырька в неинерциальной системе отсчета дополнительно учитывается центробежная сила, направленная от оси вращения. Действие центробежной силы учитывается в уравнении через введение обобщенной силы Архимеда, величина которой определяется суммированием величин центробежной силы и традиционной силой Архимеда, отнесенной к массе пузырька:

$$\frac{F_A}{m} = \frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}} \omega^2 r, \quad (2)$$

где m – масса газа в пузырьке; F_A – обобщенная сила Архимеда; ω – угловая скорость вращения жидкости.

Кроме силы Архимеда на пузырек в радиальном направлении действует сила сопротивления, величина которой, отнесенная к массе пузырька сферической формы, записывается, согласно [6], в виде

$$\frac{F_c}{m} = -\frac{3}{8} \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}} \frac{c_f}{R} |v|, \quad (3)$$

где F_c – сила сопротивления; v – скорость пузырька газа радиусом R ; $\rho_{\text{г}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ – плотности газа и жидкости соответственно; $c_f = f(\text{Re})$ – коэффициент сопротивления в функции от числа Рейнольдса [6].

Дифференциальное уравнение движения в общем случае является нелинейным дифференциальным уравнением в силу нелинейного характера зависимости коэффициента сопротивления от скорости движения [6]. В частном случае, для которого справедлив закон сопротивления Стокса, дифференциальное уравнение становится линейным, вид которого в традиционных для теории колебания обозначениях [7] записывается следующим образом:

$$\ddot{r} + 2n\dot{r} + k^2 r = 0, \quad (4)$$

$$\text{где } k^2 = \frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}} \omega^2; \quad 2n = \frac{3}{8} \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}} \frac{c_f}{R} |v|.$$

Для линейного однородного дифференциального уравнений второго порядка (4) найдено

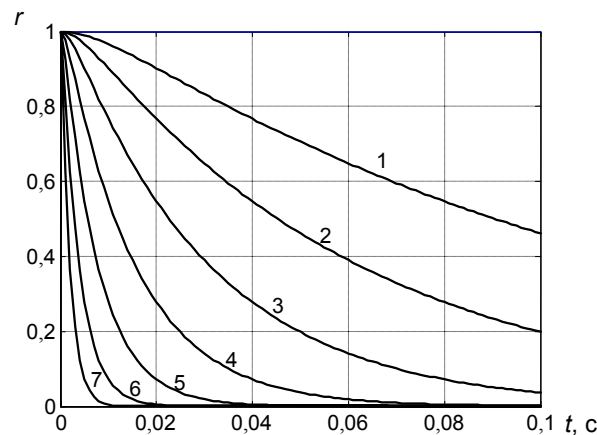
[7] аналитическое решение, описывающее закон движения пузырька вдоль радиуса и закон изменения во времени радиальной скорости:

$$\begin{aligned} r &= C_1 \exp(k_1 t) + C_2 \exp(k_2 t), \\ \dot{r} &= C_1 k_1 \exp(k_1 t) + C_2 k_2 \exp(k_2 t), \end{aligned} \quad (5)$$

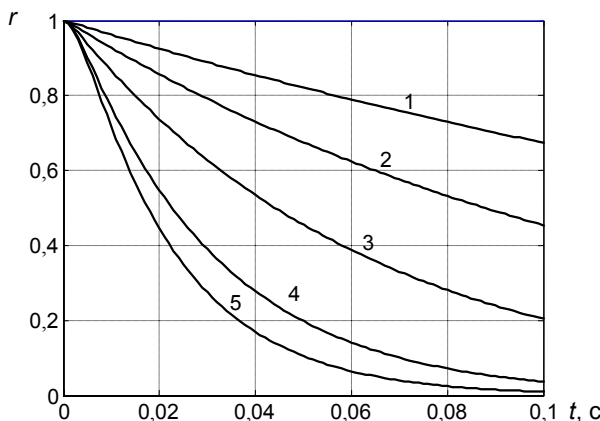
где $k_1 = -n + \sqrt{n^2 - k^2}$, $k_2 = -n - \sqrt{n^2 - k^2}$ – действительные корни характеристического уравнения (4), а постоянные интегрирования C_1 , C_2 находятся из начальных условий $r(0) = r_0$, $v(0) = 0$ в виде

$$C_1 = \frac{r_0 k_2}{k_2 - k_1}, \quad C_2 = \frac{r_0 k_1}{k_1 - k_2}. \quad (6)$$

Результаты расчетного анализа решения (5) с учетом (6) представлены на рис. 3, 4.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость радиальной координаты пузырька от времени: а – при разной степени крутки потока, которой соответствуют разные значения критерия Фруда: 1 – $Fr = 0,1$; 2 – $Fr = 0,4$; 3 – $Fr = 1,6$; 4 – $Fr = 6,4$; 5 – $Fr = 25,6$; 6 – $Fr = 102,4$; 7 – $Fr = 409,6$; б – при разных значениях коэффициента сопротивления: 1 – $n = 18 \cdot 10^3$; 2 – $n = 36 \cdot 10^3$; 3 – $n = 90 \cdot 10^3$; 4 – $n = 180 \cdot 10^3$; 5 – $n = 900 \cdot 10^3$ (при $Fr = 102,4$; $r_0 = 1$ м)

На рис. 3,а представлены зависимости радиальной координаты от времени при различных значениях критерия Фруда [5] ($Fr = \omega^2 r / g$, где g – ускорение свободного падения), которым соответствуют разные значения угловой скорости потока жидкости. На рис. 3,б представлены аналогичные зависимости для различных значений приведенного коэффициента сопротивления.

Данные зависимости при известных значениях радиальной координаты внутреннего слоя жидкости позволяют оценить время, необходимое для выхода парогазового пузырька из слоя жидкости.

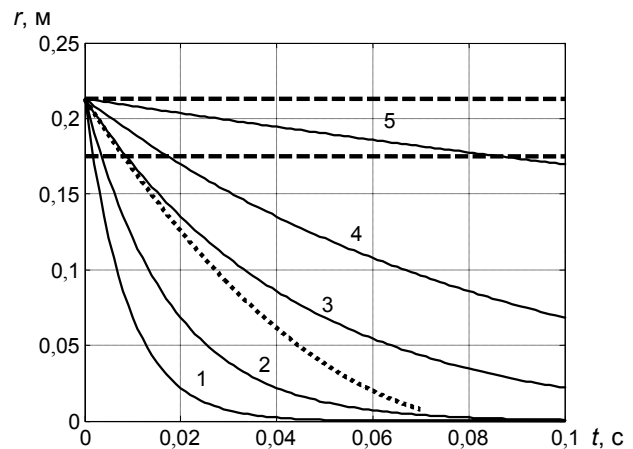


Рис. 4. Зависимости радиальной координаты пузырька от времени в промышленном аппарате ДЦВ-400: сплошные линии – при законе сопротивления Стокса; пунктирная линия – при законе сопротивления Ньютона при $Fr = 94,6$; штриховые линии соответствуют координатам внешнего и внутреннего слоев жидкости в центробежно-вихревой ступени; цифры соответствуют обозначениям на рис. 3,б

Расчетный пример, результаты которого приведены на рис. 4, выполнен для промышленного деаэратора ДЦВ-400. Геометрические размеры внешнего и внутреннего радиусов кольцевого слоя жидкости показаны на рис. 4 горизонтальными штриховыми линиями. Сплошные линии на рис. 4 соответствуют математическому описанию движения пузырьков (закон Стокса), для которого найдено аналитическое решение (5) при различных значениях коэффициента сопротивления. Следует отметить, что для характерных в вихревой ступени ДЦВ скоростей жидкости наиболее подходит закон сопротивления Ньютона [6].

Для оценки погрешности, вносимой от использования закона Стокса, и уточнения значений полученных результатов получено решение динамического уравнения движения для закона сопротивления Ньютона.

Аналогичные приведенным на рис. 4 результаты расчета получены путем численного решения уравнения движения для закона сопротивления Ньютона. Для получения численного решения дифференциальное уравнение движения приводится к машинному виду, т. е. записывается в виде системы двух дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = v, \\ \frac{dv}{dt} = -\frac{3}{8} \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}} \frac{C_f}{R} |v| v - \frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}} \omega^2 r. \end{cases} \quad (7)$$

Для численного решения системы дифференциальных уравнений (7) использован метод Рунге – Кутты четвертого порядка, который хоро-

шо зарекомендовал себя на практике для решения таких задач [8]. Результаты численного решения представлены на рис. 4 пунктирной линией. Сопоставление полученных расчетных зависимостей показывает, что для условий ДЦВ погрешность, вносимая использованием закона сопротивления Стокса ($n = 90 \cdot 10^3$, $Fr = 94,6$), при определении времени пребывания пузырька в вихревом потоке в условиях промышленного аппарата не превысила 2 %, что следует признать допустимым для выполнения инженерных расчетов.

Расчетное время, необходимое для удаления газа из вихревого потока, составляет в рассматриваемом примере 0,086 с, а время пребывания жидкости в ступени при различных значениях производительности аппарата в диапазоне значений от 200 до 400 т/ч, согласно (1), изменяется от 0,037 до 0,019 с. Таким образом, проведенные оценки показывают, что в исследованном диапазоне изменения производительности деаэратора первая, центробежно-вихревая, ступень не позволяет провести качественную деаэрацию воды. Время пребывания воды в этой ступени существенно меньше времени, необходимого для выхода из слоя парогазовых пузырьков. Однако эта ступень является необходимой для реализации начальной стадии процесса деаэрации, основанной на так называемом начальном эффекте [1, 9].

Под начальным эффектом деаэрации под вакуумом понимается следующее. При резком уменьшении давления в системе (в данном случае – при попадании воды в центробежно-вихревую зону) водный раствор газа оказывается пересыщенным, причем отклонение системы от равновесия будет тем больше, чем больше разность фактической температуры воды и температуры насыщения при данном давлении. Суммарная упругость газов и водяных паров становится больше внешнего давления. Система стремится вернуться к равновесному состоянию, но, поскольку эвакуация газа через поверхность раздела фаз затруднена, начинается скоротечный процесс образования зародышей новой фазы в виде пузырьков в потоке жидкости. Начальный эффект деаэрации в этом случае определяется как отношение количества растворенного газа, эвакуированного из потока воды, к начальному содержанию его в этом потоке.

И.И. Оликером с коллегами [9] получены экспериментальные данные, характеризующие величину начального эффекта для вакуумного струйно-барботажного деаэратора. В частности, максимальное значение начального эффекта по растворенному кислороду оценивается в 80 %, а в большинстве случаев он составляет 40–60 %. Прогнозируемое для тех же условий равновесное значение остаточной концентрации растворенного кислорода в воде за деаэратором соответствует уменьшению его концентрации на 95 % и более. Это означает, что величина начального эффекта при данном соотношении фактической тем-

пературы потока и температуры насыщения при давлении в деаэраторе лимитируется скоростью отвода газовых пузырьков за границу раздела фаз, что, в свою очередь, определяется гидродинамическими условиями реализации процесса.

Выполненная для рассматриваемого случая центробежно-вихревой деаэрации расчетная оценка показывает, что располагаемое время процесса (время пребывания воды в ступени) существенно меньше времени, необходимого для выхода газовых пузырьков из потока воды. То есть начальный эффект в этой ступени оказывается незавершенным. Завершение процесса протекает уже в центробежном сепараторе деаэратора.

Дальнейшие исследования планируется проводить в направлении уточнения модели первой ступени деаэрации путем привлечения для анализа гидродинамической обстановки в системе специализированных программных пакетов [10], с одной стороны, и построения модели процесса во второй ступени аппарата для оценки ее вклада в удаление из воды растворенных газов, с другой. Кроме того, требуют уточнения кинетические характеристики процессов закипания перегретой воды при попадании в зону вакуума, парообразования в ней, а также процессов перехода растворенных газов в дисперсное состояние при уменьшении растворимости газов для различных условий подачи теплоносителей в ступень.

Список литературы

1. **Шарапов В.И., Цюра Д.В.** Термические деаэраторы. – Ульяновск: Ульянов. гос. техн. ун-т., 2003. – 560 с.
2. **Эволюция** межфазной поверхности теплообмена в барботируемом слое / В.П. Жуков, Е.В. Барочкин, А.Ю. Ненаезников и др. // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 4. – С. 12–16.
3. **Оптимальное** управление межфазной поверхностью в барботажной ступени атмосферных деаэраторов / Е.В. Барочкин, В.П. Жуков, А.Ю. Ненаезников и др. // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 4. – С. 58–62.
4. **Пат.** № 2131555 Российская Федерация F22D1/50, C02F1/20, B01D19/00. Деаэратор / Б.А. Зимин. Опубл. 10.06.1999 г.
5. **Касаткин А.Г.** Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
6. **Мизонов В.Е., Ушаков С.Г.** Аэродинамическая классификация порошков. – М.: Химия, 1989. – 160 с.
7. **Лойцянский Л.Г.** Курс теоретической механики. – М.: Наука, 1982. – 640 с.
8. **Корн Г.** Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Высш. шк., 1973. – 500 с.
9. **Оликер И.И.** Термическая деаэрация воды в отопительно-производственных котельных и тепловых сетях. – Л.: Стройиздат, 1972. – 137 с.
10. **Применение** пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: учеб. пособие / Т.В. Кондратин, Б.К. Ткаченко, М.В. Березникова и др. – М.: МФТИ, 2005. – 104 с.

References

1. Sharapov, V.I., Tsyura, D.V. *Termicheskie deaeratory* [Deaerating heaters]. Ul'yanovsk, UGTU, 2003. 560 p.
2. Barochkin, E.V., Zhukov, V.P., Nenaeznikov, A.Yu., Belyakov, A.N., Roslyakov, A.N. *Vestnik IGEU*, 2012, issue 4, pp. 12–16.

3. Zhukov, V.P., Barochkin, E.V., Nenaeznikov, A.Yu., Belyakov, A.N., Roslyakov, A.N. *Vestnik IGEU*, 2012, issue 4, pp. 58–62.

4. Zimin, B.A. *Deaerator* [Deaerator]. Patent RF, no. 2131555, 1999.

5. Kasatkin, A.G. *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii* [Basic processes and devices of chemical technology]. Moscow, Khimiya, 1971. 784 p.

6. Mizonov, V.E., Ushakov, S.G. *Aerodinamicheskaya klassifikatsiya poroshkov* [Aerodynamic classification of powders]. Moscow, Khimiya, 1989. 160 p.

7. Loytsyanskiy, L.G. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki* [Course of Theoretical Mechanics]. Moscow, Nauka, 1982. 640 p.

8. Korn, G. *Spravochnik po matematike* [Mathematics Handbook]. Moscow, Vysshaya shkola, 1973. 500 p.

9. Olikier, I.I. *Termicheskaya deaeratsiya vody v otopitel'no-proizvodstvennykh kotel'nykh i teplovykh setyakh* [Thermal deaeration of water in heating and industrial boilers and heat networks]. Leningrad: Stroyizdat, 1972. 137 p.

10. Kondratin, T.V., Tkachenko, B.K., Bereznikova, M.V., Evdokimov, A.V., Zuev, A.P. *Primenenie paketov prikladnykh programm pri izuchenii kursov mekhaniki zhidkosti i gaza* [Application of software packages in fluid mechanics courses]. Moscow, MFTI, 2005. 104 p.

Росляков Антон Николаевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,
аспирант кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,
телефон (4932) 41-60-56, 26-99-31.

Ледуховский Григорий Васильевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,
телефон (4932) 41-60-56, 26-99-31,
e-mail: lgv83@yandex.ru

Жуков Владимир Павлович

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. А, ауд. 202,
телефон (4932) 26-97-45,
e-mail: zhukov-home@yandex.ru

Барочкин Евгений Витальевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,
телефон (4932) 41-60-56, 26-99-31,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Зимин Борис Алексеевич,

ЗАО «Регион-Бизнес»,
ведущий специалист,
адрес: г. Москва, ул. Б. Тульская, д. 46,
e-mail: region_business@mail.ru

Виноградов Владимир Николаевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 432,
e-mail: V.N.Vinogradov@mail.ru