

УДК 621.182.12

А.А. КУДИНОВ

С.К. ЗИГАНШИНА

## ВАКУУМНО-КАВИТАЦИОННЫЙ ДЕАЭРАТОР САМАРСКОЙ ГРЭС

VACUUM-CAVITATION DEAERATOR OF SAMARA STATE DISTRICT POWER STATION

Представлены результаты экспериментальных исследований вакуумно-кавитационного деаэратора подпиточной воды Самарской ГРЭС. Результаты исследования экспериментальной модели и опытно-промышленной установки позволили внедрить метод вакуумно-кавитационной деаэрации в центральной отопительной котельной Самарской ГРЭС.

**Ключевые слова:** вакуум, кавитация, деаэратор, химически очищенная вода, температура насыщения, растворенный кислород, удаление, деаэрированная вода, тепловые испытания.

В настоящее время противокоррозионную обработку питательной воды паровых котлов и подпиточной воды систем теплоснабжения производят в основном путем физической десорбции растворенных в воде газов. В качестве физических десорберов применяются теплообменники аппараты различных конструкций. Первоначальное выделение диоксида углерода из исходной воды производится в декарбонизаторах, а окончательное удаление растворенных кислорода и диоксида углерода осуществляется в термических деаэраторах за счет нагрева и диспергирования воды в потоке пара и последующего удаления образовавшейся парогазовой смеси – выпара [1, 2].

Термическая деаэрация позволяет снизить содержание кислорода и диоксида углерода в обрабатываемой воде до величин, допускаемых нормами Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей<sup>1</sup>. В качестве дополнительных средств противокоррозионной обработки воды на заключительной стадии водоподготовки применяются различные методы химического связывания растворенных коррозионно-активных газов с помощью едкого натра, аммиака, гидразина, сульфата натрия и др.

Обязательным условием глубокой деаэрации воды в термических деаэраторах является нагрев деаэрируемой воды до температуры насыщения  $t_s$

The paper presents the results of the experimental research of vacuum-cavitation deaerator of streaming water used in Samara state district power station. A study of the experimental model of this deaerator and its pilot industrial installation allowed the introduction of vacuum-cavitation deaeration in the central heating plant of Samara state district power station.

**Key words:** vacuum, cavitation, deaerator, chemically purified water, saturation temperature, dissolved oxygen, removal, deaerated water, thermal tests.

соответствующей давлению в деаэраторе. По способу достижения температуры насыщения  $t_s$  деаэрируемой воды термические деаэраторы бывают двух типов: 1) деаэраторы-подогреватели; 2) деаэраторы перегретой воды.

В деаэратор-подогреватель деаэрируемая вода поступает при температуре на 10-30 °С ниже  $t_s$ . В деаэраторе вода подогревается до температуры  $t_d$ , приближающейся к  $t_s$ , но всегда меньшей чем  $t_s$  [2]. Невозможность достижения  $t_s$  объясняется тем, что для нагрева воды до  $t_s$  требуется бесконечно большая поверхность теплообмена, так как в результате нагрева воды температурный напор  $\Delta t_s = t_s - t_d$  стремится к нулю. Для повышения эффективности работы деаэраторы-подогреватели имеют развитые поверхности теплообмена, расположенные в зоне подогрева воды, и специальные барботажные устройства, что усложняет их конструкцию и снижает надежность. Наименьшей надежностью обладают дырчатые листы, с помощью которых организуется поверхность теплообмена. Каждый лист имеет несколько тысяч отверстий диаметром 8-10 мм, которые в процессе работы деаэратора засоряются и интенсивно корродируют в горячей, частично деаэрируемой воде.

В деаэраторе перегретой воды подогрев деаэрируемой воды не производят, так как она подается в деаэратор перегретой, т.е. при температуре, превышающей  $t_s$ . В деаэраторе часть перегретой деаэри-

<sup>1</sup> Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: СПО ОРГРЭС, 2003. 320 с.

руемой воды превращается в пар, а оставшаяся часть воды приобретает температуру  $t_g$ , соответствующую давлению в деаэраторе. В этом случае отпадает необходимость организации теплообмена второй ступени подогрева и деаэрации в виде барботажного листа, что значительно упрощает конструкцию деаэратора.

Несмотря на многие преимущества деаэраторы перегретой воды в настоящее время не нашли широкого применения в промышленности и на ТЭЦ. Это обусловлено тем, что устройства (форсунки), применяемые для распыливания деаэрируемой воды, имеют несовершенную конструкцию, на них образуются солевые отложения, из-за чего происходит грубое распыливание, что приводит к снижению интенсивности десорбции газов из воды в пар и к повышению их концентрации в деаэрируемой воде.

Поэтому на отечественных ТЭЦ для десорбции растворенных газов из подпиточной воды тепловых сетей применяются, как правило, вакуумные струйно-барботажные деаэраторы горизонтального типа серии ДВ (ДСВ) производительностью 400-1200 м<sup>3</sup>/ч конструкции НПО ЦКТИ (Санкт-Петербург) совместно с Саратовским заводом энергетического машиностроения (СЗЭМ). В соответствии с ГОСТ 16860-88 деаэраторы должны обеспечивать содержание кислорода в деаэрированной воде не более 50 мкг/дм<sup>3</sup> [3].

На кафедре ТЭС Самарского государственного технического университета разработан и внедрен в центральной отопительной котельной (ЦОК) Самарской ГРЭС деаэратор перегретой воды, который назван вакуумно-кавитационным [3]. Способ деаэрации химически очищенной воды основан на применении явления кавитации в движущемся потоке жидкости [4, 5]. В потоке движущейся жидкости (воды) создаются условия для понижения статического давления до значения, равного упругости насыщенного пара при данной температуре. Вода вскипает, что обеспечивает достаточно глубокую дегазацию воды одновременно во всем объеме. Для случая, когда в деаэраторе поддерживается давление меньше атмосферного, такой способ деаэрации химически очищенной воды назван вакуумно-кавитационным [3]. При реализации данного способа деаэрации воды не нужно подавать в деаэратор греющий теплоноситель и не требуется создавать специальных устройств для дробления потока на тонкие струйки и мелкие капли, а также устройств для увеличения поверхности массообмена теплоносителей, так как греющий теплоноситель отсутствует.

Таким образом, вакуумно-кавитационный способ деаэрации воды заключается в том, что в деаэраторе поддерживается с помощью эжектора давление более низкое, чем давление насыщения при температуре, до которой нагрета деаэрируемая вода. За счет этого вода, подаваемая в деаэратор, оказывается перегретой и вскипает. Для реализации данного метода деаэрации воды была создана экспериментальная установка, включенная в технологическую схему деаэратора типа ДСА-200 ЦОК Самарской ГРЭС Волжской территориальной генерирующей компании.

Центральная отопительная котельная Самарской ГРЭС Волжской территориальной генерирующей компании снабжает теплом ряд микрорайонов г. Самары. Система теплоснабжения открытого типа используется на отопление и горячее водоснабжение жилых зданий и коммунально-бытовых объектов. Теплопроизводительность ЦОК составляет 600 Гкал, проектная величина подпитки теплосети – 2000 т/ч. По первоначальному проекту подготовка подпиточной воды осуществлялась по следующей схеме: 1) частичное умягчение воды на Н-катионитных фильтрах при «голодной регенерации»; 2) освобождение воды от СО<sub>2</sub> в декарбонизаторах; 3) подогрев воды до температуры 60÷80 °С в поверхностных подогревателях типов ОГ-130 и МВН 2052-36 горячей сетевой водой; 4) деаэрация воды в вакуумных деаэраторах паром, образующимся из перегретой воды.

Деаэрация производилась в четырех деаэрационных колонках типа ДСА-200 и четырех колонках типа ДСА-300. Колонки размещены на четырех баках – аккумуляторах, по две однотипные колонки на каждом баке. Номинальная производительность деаэраторов составляет 2000 м<sup>3</sup>/ч (два деаэратора производительностью по 400 т/ч и два деаэратора производительностью по 600 т/ч каждый).

Одним из недостатков в работе ЦОК была плохая деаэрация подпиточной воды. Причина заключалась в том, что в соответствии с проектом в ЦОК были установлены деаэраторы типа ДСА (атмосферного типа), рассчитанные на подвод в качестве греющего теплоносителя пара от постороннего источника. Однако в действительности деаэрация подпиточной воды осуществлялась под вакуумом с помощью собственного пара, образующегося при вскипании перегретой воды. Деаэрация воды в таких деаэраторах происходила недостаточно глубоко. Вследствие этого качество подпиточной воды по содержанию СО<sub>2</sub> и О<sub>2</sub> в 2÷3 раза превышало нормируемые ПТЭ величины, составляющие соответственно

0 и 50 мг/дм<sup>3</sup>. Особенно ухудшалось качество деаэрированной воды при нагрузках деаэраторов, близких к номинальным. Такое положение вело к интенсивной коррозии трубопроводов тепловых сетей и оборудования котельной. Проведенные в 1973 г. работы по наладке режимов деаэрации желаемых результатов не дали. Было принято решение выполнить реконструкцию деаэраторов ЦОК Самарской ГРЭС. Для этих целей применен вакуумно-кавитационный способ деаэрации химически очищенной воды, основанный на использовании явления кавитации в движущемся потоке жидкости.

С целью внедрения теоретических разработок была создана экспериментальная установка, состоящая из деаэрационной колонки и кавитатора, включенная в технологическую схему деаэратора ст. № 2 ЦОК, на которой были проведены исследования. Ответственным исполнителем работы являлся старший преподаватель кафедры ТЭС Куйбышевского политехнического института В.И. Муравьев. Результаты исследований опубликованы в [3].

Следующим этапом работы было создание опытно-промышленной установки, деаэрация воды в которой осуществляется вследствие кавитации в движущемся потоке жидкости. Работа выполнялась также в ЦОК Самарской ГРЭС. Для этих целей использовался бак-аккумулятор ДСА ст. №4, который имеет вместимость 75 м<sup>3</sup>, длину 11,5 м, диаметр 3,2 м. Деаэратор подвергался следующему переоборудованию.

1. Деаэрируемая вода подводится в паровой объем бака через сопла переменного поперечного сечения – кавитационно-разгонные устройства (КРУ) [4, 5].

2. КРУ с помощью фланцев прикреплены к патрубкам  $d_y=300$  мм, вваренным в обе торцевые стенки бака. На каждом баке-аккумуляторе установлены 4 КРУ, по два с каждого торца. Расстояние между осями соседних по торцу КРУ по горизонтали составля-

ет 1000 мм, расстояние по вертикали между осями КРУ и осью бака – 1000 мм.

3. Проложен трубопровод  $d_y=200$  мм для подвода деаэрируемой воды к КРУ.

4. Для измерения расхода воды через КРУ на трубопроводах установлены измерительные шайбы (диафрагмы).

5. В баке установлены три поворотных пароотборника для отбора проб деаэрируемой воды из движущегося в паровом пространстве бака пароводяного потока с целью контроля десорбции по длине потока.

6. Поверхностный подогреватель деаэрируемой воды заменен на подогреватель смешивающего типа.

В целом схема и устройства вакуумирования деаэратора были оставлены без изменений. Общий вид кавитационно-разгонных устройств (сопл переменного поперечного сечения) и деаэратора представлены на рис. 1, 2.

Деаэрационная установка, снабженная четырьмя КРУ-80-4,5 и смешивающим подогревателем, обеспечивала устойчивую деаэрацию воды при расходах деаэрируемой воды в пределах 160÷500 т/ч. При этом в деаэрированной воде свободная углекислота отсутствовала, а среднее значение концентрации кислорода в деаэрированной воде составляло 10 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1). В целом установка работала надежно. При температуре греющей воды в интервале 126÷135 °С и в интервале давлений 2,7÷4,8 ата в смешивающем подогревателе отсутствовали гидравлические удары. Анализ работы деаэратора показал, что для глубокой деаэрации воды необходимо, чтобы степень перегрева воды была не менее 3,5 °С. Также при больших расходах деаэрируемой воды (свыше 800 т/ч) проявились недостатки в работе охладителей эжекторов, отчего вакуум в деаэраторе ухудшался, не достигалась требуемая степень перегрева и, как следствие, увеличивалась концентрация СО<sub>2</sub> и О<sub>2</sub>.



Рис. 1. Кавитационно-разгонные устройства бака-аккумулятора деаэратора ДСА-200

Таблица 1

## Результаты испытаний вакуумно-кавитационного деаэратора

Расход воды, т/ч			Температура воды, °С				$\Delta t_{\text{пер'}}$ °С	Абсолютное давление, кгс/см <sup>2</sup>		Остаточная концентрация, мкг/дм <sup>3</sup>	
$G_{\text{хов}}$	$G_{\text{см}}$	$G_{\text{г}}$	$t_{\text{хов}}$	$t_{\text{г}}$	$t_{\text{см}}$	$t_{\text{д}}$		$p_{\text{см}}$	$p_{\text{д}}$	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
500	800	300	40	135	76	72,5	3,5	2,7	0,35	0	10
450	680	230	51	131	78	74	4,0	4,4	0,38	0	10
435	650	215	46	123	72	68,2	3,8	4,1	0,29	0	10
400	610	210	49	134	78	74	4,0	3,3	0,38	0	10
350	700	350	32	128	80	75	5,0	3,8	0,40	0	10
190	320	130	43	126	87	81	6,0	4,3	0,50	0	10
160	340	180	45	126	78	84	4,0	4,5	0,57	0	10

Примечание. Концентрация CO<sub>2</sub> в химочищенной воде на входе в деаэратор составляла 2,2-2,8 мг/дм<sup>3</sup>.

Было выявлено, что для обеспечения безопасной работы смешивающего подогревателя и бака-аккумулятора деаэратора в случае аварийного снижения давления деаэрируемой воды перед смешивающим подогревателем целесообразно установить автоматически действующий клапан, прекращающий подачу греющей воды в подогреватель. Для предупреждения эрозии подпиточных насосов уровень деаэрированной воды в баке-аккумуляторе следует поддерживать не ниже геометрической оси бака. Необходимо улучшить работу вакуумирующих устройств.

Результаты исследования экспериментальной модели и опытно-промышленной установки позволили внедрить метод вакуумно-кавитационной деаэрации в ЦОК Самарской ГРЭС. В настоящее время в котельном цехе установлены 4 деаэраторные установки, каждая из которых включает в себя следующее оборудование:

1. Бак-аккумулятор деаэрированной воды объемом 75 м<sup>3</sup>, длиной 11,5 м и диаметром 3,2 м.
2. Четыре КРУ максимальной производительностью 250 т/ч каждая (производительность деаэратора 1000 т/ч).

3. Смешивающий подогреватель производительностью 1000 м<sup>3</sup>/ч.

4. Два охладителя выпара.

5. Четыре водоструйных эжектора.

6. Бак эжекторной воды объемом 8 м<sup>3</sup>.

7. Два гидрозатвора, которые служат для предохранения бака деаэратора от разрушения при повышении вакуума.

Внутри корпуса деаэратора установлены 4 отражательных экрана для увеличения площади соприкосновения воды и пара. Деаэрированная вода подается на насосы подпиточной воды по трубопроводу, который врезан в нижнюю часть бака-аккумулятора. В нижнюю часть бака-аккумулятора врезан дренажный трубопровод  $d_y=100$  мм. По воде и вакууму деаэраторы соединены уравнительными трубопроводами  $d_y=300$  мм и  $d_y=150$  мм соответственно. В верхней части корпуса деаэратора есть две врезки трубопроводов  $d_y=300$  мм, по которым происходит отсос паровоздушной смеси эжекторами. Контроль за уровнем воды и вакуумом в деаэраторе, за температурой воды на входе и выходе из деаэратора осуществляется с помощью вторичных приборов, установленных на главном щите

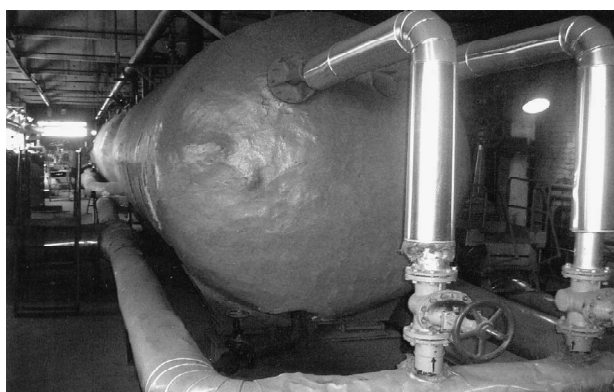


Рис. 2. Общий вид деаэратора

управления, и первичных, установленных непосредственно на деаэраторе. Схема включения вакуумно-кавитационного деаэратора в систему теплоснабжения Самарской ГРЭС представлена на рис. 3.

Осенью 2009 г. были проведены обследования вакуумно-кавитационных деаэраторов ЦОК Самарской ГРЭС, результаты обследований представлены в табл. 2.

Анализ результатов обследования показал, что вакуумно-кавитационные деаэраторы, установленные в ЦОК Самарской ГРЭС, и в настоящее время работают достаточно эффективно. Средние значения содержаний кислорода в деаэрированной воде

составляют: 4,5; 5,0; 13,6; 7,1 мкг/дм<sup>3</sup> соответственно для деаэратора ст. № 1, 2, 3, 4. Норма содержания растворенного O<sub>2</sub> в подпиточной воде тепловых сетей – не более 50 мкг/дм<sup>3</sup>. Концентрация CO<sub>2</sub> в воде после всех деаэраторов равна нулю.

На кафедре ТЭС СамГТУ разработан кавитационный деаэратор избыточного давления  $p_{\text{изо}}=0,2$  кгс/см<sup>2</sup> (давление в баке-аккумуляторе деаэратора  $p_{\text{абс}}=1,2$  ата). Минимальное возможное, по условиям отсутствия вскипания, давление воды перед соплом переменного поперечного сечения составляет 2,4 ата. Основным отличием установки с

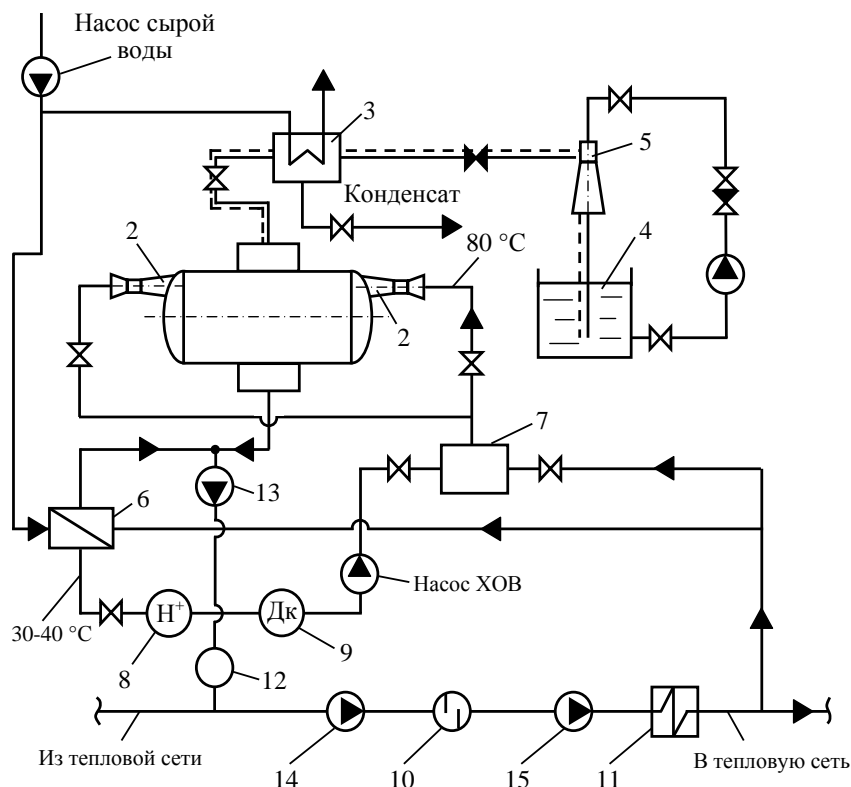


Рис. 3. Схема включения вакуумно-кавитационного деаэратора:

- 1 – корпус деаэратора; 2 – сопло переменного поперечного сечения; 3 – охладитель выпара;  
4 – расходный бак эжектора; 5 – водоструйный эжектор; 6, 7 – подогреватели исходной и химочищенной воды;  
8 – Н-катионитный фильтр; 9 – декарбонизатор; 10 – фильтр; 11 – водогрейный котел; 12 – узел подпитки;  
13, 14, 15 – соответственно подпиточный, бустерный и сетевой насосы

Таблица 2

Содержание кислорода O<sub>2</sub>, мкг/дм<sup>3</sup>, в деаэрированной воде

Дата	Расход воды, т/ч	Давление $p$ , кгс/см <sup>2</sup>	Температура воды $t_{\text{в}}$ , °C	Перегрев воды $\Delta t_{\text{в}}$ , °C	Станционный номер деаэратора			
					№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
26.12. 2009	550	0,65	76,8	4,5	3,5	3,5	7,5	7,0
27.12. 2009	578	0,62	78,7	4,5	4,0	5,5	17,5	6,0
28.12. 2009	580	0,64	77,4	4,5	3,0	4,5	8,0	6,0
29.12. 2009	579	0,64	77,4	4,5	8,0	5,0	16,5	11,0
30.12. 2009	564	0,62	78,7	4,5	4,0	6,5	18,5	5,5

вакуумно-кавитационным деаэратором от установок с деаэратором избыточного давления является то, что в последнем отсутствует эжектор, а отвод пара осуществляется за счет разности давлений в баке-аккумуляторе и атмосферного.

Для повышения эффективности деаэрации воды на переменных режимах работы деаэратора целесообразно повысить интенсивность процесса десорбции газов из деаэрируемой воды за счет установки между диффузорным участком КРУ и корпусом деаэратора ступенчатой камеры Эйфеля<sup>2</sup>.

Работа деаэратора осуществляется следующим образом (рис. 4). Деаэрируемая вода, температура которой выше температуры насыщения при давлении в корпусе 1, поступает в конфузорный участок 5 КРУ, где разгоняется до больших скоростей. Падение статического давления в потоке деаэрируемой воды в участке 5 приводит к возникновению центров парообразования и выделению паровых пузырьков.

В цилиндрическом участке 6 происходит дальнейшее падение статического давления до величины, меньшей давления насыщения при температуре воды в потоке, что приводит к вскипанию деаэрируемой воды во всем объеме с образованием паровой фазы. Вследствие увеличения объема потока пароводяная смесь на выходе из цилиндрического участка 6 разгоняется до скорости звука и поступает в диффузорный участок 7, в котором статическое давление падает, происходит кипение и разгон потока до сверхзвуковой скорости. В процессе разгона потока деаэрируемой воды в сопле вода дробится на мелкие капли, что приводит к увеличению поверхности массообмена, интенсифицируется турбулизация потока и, как следствие, активизация выделения растворенных газов в паровую фазу.

Из диффузорного участка 7 сверхзвуковая струя поступает в ступенчатую камеру Эйфеля 8, в которой образуется область 9 пониженного давления, ограниченная торцевой и цилиндрической стенками камеры и внешней границей струи. В области 9 давление понижается и становится ниже давления в корпусе 1 деаэратора, образуется вихревая зона, где осуществляется возвратное движение частиц потока. В этом случае значительно повышается интенсивность процессов турбулизации и массообмена. В результате повышается активизация выделения растворенных в воде газов в паровую фазу. Поступающий в корпус 1 кипящий поток деаэрируемой воды разделяется на пар с выделившимися газами и воду. Выпар удаля-

ется из корпуса через патрубок 4, а деаэрированная вода отводится через патрубок 3.

Таким образом, установка между диффузорным участком КРУ и корпусом деаэратора ступенчатой камеры Эйфеля позволяет интенсифицировать процессы турбулизации и массообмена в потоке деаэрируемой воды, что повышает эффективность работы деаэратора.

В заключение отметим, что в соответствии с требованием СанПиН 2.1.4.2496 -09 (п. 3.3.4) деаэрация подпиточной воды открытых систем теплоснабжения должна проводиться при температуре более 100 °С. Этот вопрос изучался многими учеными и, в частности, профессором В.И. Шараповым, результаты изложены в [6-8]. Для оценки применимости вакуумных деаэраторов в водоподготовительных установках открытых систем теплоснабжения проведен анализ поведения патогенных микроорганизмов при технологически оптимальных температурах вакуумной деаэрации подпиточной воды. Санитарно-показательными микробами, определение которых необходимо в воде, являются микробы группы кишечной палочки и энтерококки. Данные по термостойкости этих бактерий и других патогенных микроорганизмов (сальмонеллы, холерного вибриона и др.) показывают, что полное уничтожение их гарантируется в результате выдержки воды при температуре 70 °С в течение 1 ч или при температуре 60 °С в течение 2 ч. Таким образом, оптимальная для вакуумной деаэрации по условиям экономичности температура 60 °С позволяет обеспечить термическую дезинфекцию воды.

Вытеснение атмосферных деаэраторов вакуумными в водоподготовительных установках открытых систем теплоснабжения в 70-е гг. прошлого столетия было обусловлено стремлением исключить недостатки, присущие атмосферным аппаратам: низкое качество деаэрации, малая единичная производительность, низкая экономичность, особенно при подготовке больших объемов подпиточной воды.

При расходе подпиточной воды теплосети 5000-6000 м<sup>3</sup>/ч, характерном для ТЭЦ Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Самары и других крупных городов, годовая экономия приведенных затрат при использовании вакуумных деаэраторов вместо атмосферных достигает десятков миллионов рублей. Отсюда следует, что замена вакуумной деаэрации подпиточной воды открытых систем теплоснабжения на атмосферную, предписываемая СанПиН 2.1.4.2496-09, связана с колоссальными народнохозяйственными издержками и на практике не может быть осуществлена.

<sup>2</sup> Положительное решение по заявке № 2010139877/06 от 27.07.12. Деаэратор перегретой воды / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина, Н.В. Борисова.

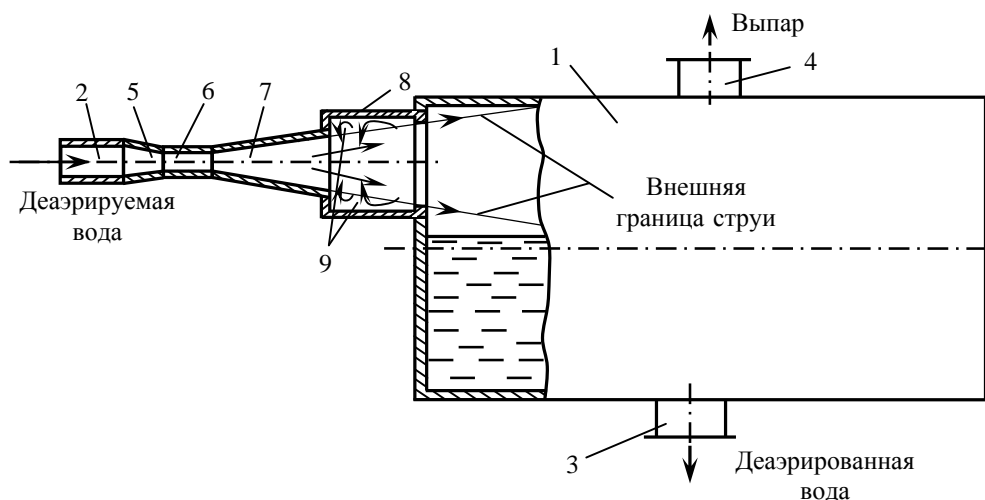


Рис. 4. Вакуумно-кавитационный деаэратор

Следует отметить, что бактериологические показатели горячей сетевой воды на участках системы теплоснабжения, подключенных как к ТЭЦ с вакуумными деаэраторами, так и к станциям с атмосферными деаэраторами подпиточной воды, одинаковы, т.е. способ деаэрации практически не сказывается на эпидемической надежности открытых систем теплоснабжения [8].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. М.: Издательство МЭИ, 2006. 309 с.
2. Кудинов А.А., Панамарев Ю.С., Обухов Д.В., Кожин Д.Б. Исследование режимов работы вакуумных деаэраторов сетевой воды Самарской ТЭЦ и их реконструкция // Электрические станции. 2010. № 2. С. 38-40.
3. Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Борисова Н.В., Шамшурина Г.И. Исследование режимов работы вакуумно-кавитационных деаэраторов Самарской ГРЭС // Электрические станции. 2011. № 2. С. 38-42.
4. Патент № 2321545 (RU). МПК<sup>7</sup> С 02 F 1/20. Способ работы деаэратора перегретой воды / Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Кувыкин А.С. // Б.И. № 10, 2008.
5. А.С. № 635045 (СССР). С 02 В 1/10. Деаэратор перегретой воды / В.Д. Муравьев, В.Б. Черепанов, А.Г. Свердлов и др. // Б.И. № 44. 1978.
6. Шаратов В.И. Подготовка подпиточной воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов. М.: Энергоатомиздат, 1996. 176 с.
7. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. М.: Машиностроение, 2011. 374 с.
8. Зимин Б.А. Нужно ли запрещать работу вакуумных деаэраторов? // Энергетик. 2009. № 12. С. 15-16.

© Кудинов А.А., Зиганшина С.К., 2014

Об авторах:

#### КУДИНОВ Анатолий Александрович

доктор технических наук, профессор кафедры общей и прикладной физики и химии  
Самарский государственный архитектурно-строительный университет  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (846) 273-66-21  
E-mail: GIT.2008@mail.ru

#### ЗИГАНШИНА Светлана Камилловна

кандидат технических наук, доцент  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,  
тел. (846) 332-42-31  
E-mail: tes@samgtu.ru

#### KUDINOV Anatoly

Doctor of Engineering Science, Professor of the General and Application-Oriented Physics and Chemistry Chair  
Samara State University of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (846) 273-66-21  
E-mail: GIT.2008@mail.ru

#### ZIGANSHINA Svetlana

PhD in Engineering Science, Associate Professor  
Samara State Technical University  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244,  
tel. (846) 332-42-31  
E-mail: tes@samgtu.ru

Для цитирования: Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Вакуумно-кавитационный деаэратор Самарской ГРЭС // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 3(16). С. 96-102.