

УДК 621.311.22

## Реконструкция атмосферных струйных деаэраторов с применением кавитационных деаэрационных устройств «АВАКС»

Г.В. Ледуховский<sup>1</sup>, В.Н. Виноградов<sup>1</sup>, И.А. Шатова<sup>2</sup>, А.А. Разинков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, Российская Федерация

<sup>2</sup>ОАО «Ивгортеплоэнерго», г. Иваново, Российская Федерация  
E-mail: lgv83@yandex.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** На энергообъектах России эксплуатируется большое количество атмосферных деаэраторов типа ДСА без барботажных устройств, которые не обеспечивают получение деаэрированной воды требуемого химического качества. В ряде случаев реконструкция таких установок с организацией парового барботажа невозможна или экономически невыгодна. При этом проблема качества деаэрированной воды может быть решена путем дополнения существующего деаэратора вакуумно-атмосферным кавитационным струйным деаэрационным устройством «АВАКС». Не решены задачи выбора рациональной схемы установки и разработки методики определения ее проектных показателей.

**Методы и материалы:** Для решения задачи используются методы балансовых расчетов технологических схем энергоустановок. Показатели эффективности деаэрации воды по элементам схемы определяются экспериментальным путем.

**Результаты:** Выявлены преимущества и недостатки различных технологических схем деаэрационной установки, объединяющей деаэраторы ДСА и «АВАКС». Получены аналитические зависимости, обеспечивающие расчет проектных показателей установки для рассматриваемых вариантов схем. На основе проведенных экспериментальных и расчетных исследований определена рациональная структура технологической схемы атмосферной деаэрационной установки, реконструируемой с использованием деаэрационного устройства «АВАКС». Предложена методика расчета показателей работы установки после реконструкции.

**Выводы:** Предложенное техническое решение и выбранная технологическая схема его реализации позволяют, при необходимости, обеспечить нормативное качество деаэрированной воды для установок с атмосферными деаэраторами при относительно небольших капитальных затратах.

**Ключевые слова:** деаэрация, прямооточное деаэрационное устройство, структурная оптимизация, материальный баланс, тепловой баланс.

## Reconstruction of atmospheric jet deaerators using cavitation deaerating devices «AVACS»

G.V. Leduhovsky<sup>1</sup>, V.N. Vinogradov<sup>1</sup>, I.A. Shatova<sup>2</sup>, A.A. Razinkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation

<sup>2</sup>Open Joint Stock Company «Ivgorteploenergo», Ivanovo, Russian Federation  
E-mail: lgv83@yandex.ru

### Abstract

**Background:** A large number of atmospheric deaerators of the DSA type operated at Russian energy facilities are not equipped with bubbling devices and cannot provide deaerated water of the desired chemical quality. In some cases, reconstruction of such deaerators by installing steam bubbling devices is either impossible or too expensive. However, the problem of water quality can be solved by supplementing the existing deaerators with a vacuum-atmospheric cavitating jet deaerating device «AVACS». But this method cannot solve the problem of choosing a rational scheme of deaerating device installation or of developing a technique of design parameters determination.

**Materials and methods:** The problem is solved by the methods of balance calculations of power plant technological schemes. Water deaeration efficiency indicators in various elements of the technological scheme are determined experimentally.

**Results:** The authors have revealed the advantages and disadvantages of various technological schemes of the deaerating devices combining the DSA and «AVACS» deaerators. They have also identified analytical dependences for the calculation of design parameters of various schemes under study. Based on the experimental and computational studies, the authors have defined the rational structure of the technological scheme of the atmospheric deaerator reconstructed by the deaerating device «AVACS». A method has been suggested to calculate the performance indicators of the deaerating device after reconstruction.

**Conclusions:** The suggested technical solution and the chosen technological scheme of its realization, if necessary, can ensure the standard quality of deaerated water in atmospheric deaerator plants at relatively low capital costs.

**Key words:** deaeration, direct-flow deaerating device, structural optimization, material balance, heat balance.

Вакуумно-атмосферные кавитационные струйные деаэраторы «АВАКС» применяются в энергетике и смежных отраслях промышленности. Их эффективность по удалению коррозионно-активных газов мала – эффект деаэрации, представляющий собой отношение разности массовых концентраций газа в деаэрируемой воде до и после аппарата к массовой концентрации газа в исходной воде, как правило, не превышает  $\xi = 90\%$  (по растворенному кислороду). Для сравнения, для атмосферного струйно-барботажного деаэратора серии ДА-м  $\xi = 99,5\%$  и более. Причины такой относительно низкой эффективности деаэраторов «АВАКС» состоят в следующем: деаэратор «АВАКС» одноступенчатый, проточный, характеризуется малым располагаемым временем процесса деаэрации. Однако есть и преимущества деаэратора, обусловленные его малыми размерами, относительной дешевизной и простотой эксплуатации, а также отсутствием потребности в греющем паре.

Ранее нами показано на основании результатов натуральных испытаний деаэраторов «АВАКС» [1, 2], что использование 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 всас насоса рециркуляции (рис. 1). Причем требуемая кратность рециркуляции в конкретных условиях может достигать нескольких десятков.

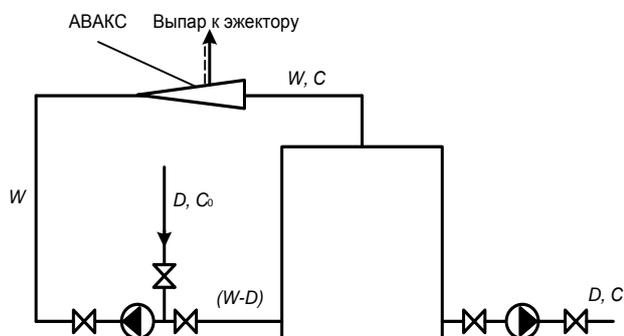


Рис. 1. Схема включения деаэратора «АВАКС» с рециркуляцией:  $D$ ,  $W$  – расходы воды;  $C_0$  и  $C$  – массовая концентрация растворенного кислорода в исходной и деаэрированной воде соответственно

Остаточная концентрация растворенного кислорода для рассмотренной схемы (рис. 1) может быть рассчитана по формуле [1]

$$C = \frac{C_0(1-\xi)}{K - (1-\xi)(K-1)}, \quad (1)$$

где  $\xi$  – эффект деаэрации;  $K$  – кратность циркуляции, вычисляемая как отношение расхода воды через деаэратор  $W$  к расходу воды потребителям  $D$ .

Естественно, наличие присосов воздуха в схеме рис. 1 исключает применимость формулы (1).

Нетрудно убедиться, что, например, при  $C_0 = 7000$  мкг/дм<sup>3</sup> и  $\xi = 0,85$  кратность циркуля-

ции  $K$ , необходимая для получения деаэрированной воды с  $C = 50$  мкг/дм<sup>3</sup>, составляет 24,5. При таких значениях  $K$  существенно возрастают удельные затраты электроэнергии на деаэрацию воды, а также капитальные затраты на само деаэрационное устройство.

Полученные результаты, тем не менее, не заставляют отказаться от деаэрационных устройств типа деаэратора «АВАКС», но показывают целесообразность совершенствования схем включения таких деаэраторов в технологические схемы энергообъектов. Ниже рассмотрен пример одного из таких технических решений, предусматривающего объединение одной схемой струйного деаэратора классической конструкции типа ДСА и деаэратора «АВАКС».

Струйно-барботажные деаэраторы серий ДА или ДА-м, как правило, обеспечивают получение деаэрированной воды надлежащего химического качества [3–5]. Однако на энергообъектах страны все еще эксплуатируется большое количество атмосферных деаэраторов серии ДСА, изготовленных в середине прошлого века. Такие деаэраторы без парового барботажа в деаэрационной колонке зачастую не имеют барботажа и в деаэрационном баке. Эффективность деаэрации воды этих аппаратов обычно не удовлетворяет нормам [6, 7]. Часто деаэраторы реконструируются с организацией парового барботажа, и тогда это решает проблему качества деаэрированной воды. Однако в ряде случаев такая реконструкция экономически нецелесообразна или невозможна, поскольку барботажный пар должен иметь давление, большее, чем давление основного пара [3–5]. Для одного из таких случаев выполнена разработка рассматриваемого технического решения.

На энергообъекте эксплуатируется атмосферный деаэратор ДСА-100 [3, 4] со струйной колонкой, включающей два струйных отсека. Основная режимная характеристика деаэратора, полученная экспериментальным путем при исходной массовой концентрации растворенного кислорода  $C_0 = 7020$  мкг/дм<sup>3</sup>, показана на рис. 2, согласно которому нормативная массовая концентрация растворенного в деаэрированной воде кислорода, равная в данном случае  $C_n = 50$  мкг/дм<sup>3</sup>, обеспечивается не во всем регулировочном диапазоне нагрузок деаэратора.

В качестве варианта реконструкции предложена установка дополнительного деаэрационного устройства «АВАКС» номинальной производительностью 130 т/ч (максимально – 160 т/ч). Рассматриваются два варианта технологической схемы такой установки: с включением деаэратора «АВАКС» перед деаэратором ДСА по ходу воды (рис. 3,а) либо установка его на трубопровод рециркуляции деаэрированной воды (рис. 3,б).

Необходимо отметить, что первоначально рассматривался еще один вариант технологической схемы, аналогичный варианту на рис. 3,а, но с пропуском через деаэратор «АВАКС» всего

потока воды, включая поток, предварительно прошедший через охладитель выпара. Однако такая схема признана нереализуемой, поскольку при этом слив воды из проточного деаэрационного устройства должен быть организован в трубопровод, а не в емкость со свободным уровнем, роль которой в двух других схемах выполняет смесительный колодец перед верхней распределительной тарелкой деаэратора ДСА-100. В таких условиях на сливе воды из деаэратора «АВАКС» создается противодавление, величина которого зависит от нагрузки установки, что приводит к неустойчивости гидродинамической ситуации в вихревой зоне деаэратора «АВАКС».

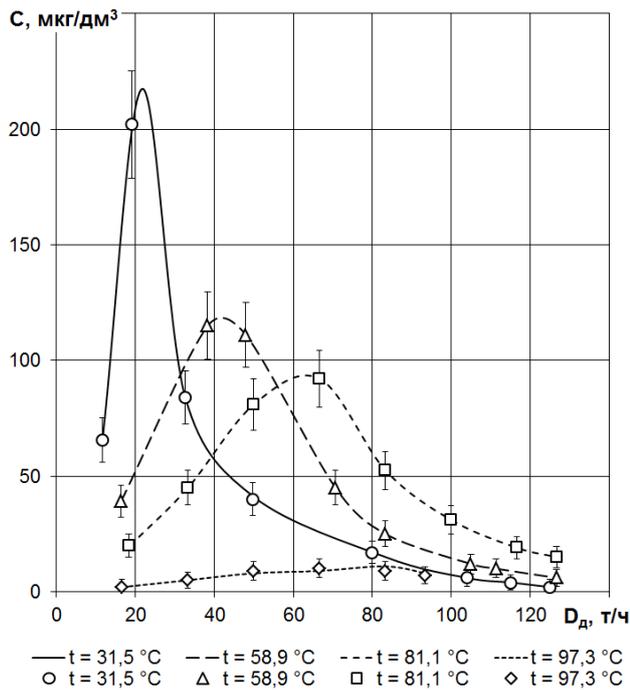


Рис. 2. Основная режимная характеристика деаэратора ДСА-100:  $D_d$  – расход деаэрированной воды;  $C$  – массовая концентрация растворенного кислорода в деаэрированной воде;  $t$  – температура воды перед деаэратором; точки – экспериментальные данные; линии – аппроксимация опытных данных

Для рассматриваемых технологических схем путем решения систем уравнений материального и теплового балансов получены выражения, обеспечивающие расчет массовой концентрации растворенного кислорода в деаэрированной воде, производимой установкой:

– для варианта схемы на рис. 3,а

$$C = \frac{C_0}{\xi K + (1 + 2a) + \xi_{ДСА} \frac{1 + K}{1 - \xi_{ДСА}}}, \quad (2)$$

$$a = \frac{c_p^D t_d + d_{вып} h_{вып} - c_p^{вх} t_{вх}}{h_{п} - c_p^D t_d},$$

где  $\xi_{ДСА}$  – относительный эффект деаэрации в деаэраторе ДСА, ед.;  $a$  – коэффициент, зависящий от параметров теплогидравлического режима деаэратора ДСА;  $c_p$  – изобарная теплоемкость, кДж/(кг·град);  $t$  – температура, °С;  $d_{вып}$  – удельный расход выпара деаэратора, ед.;  $h$  –

энтальпия; индексы «д», «вх», «вып» и «п» относятся к деаэрированной воде, воде на входе в установку, выпару деаэратора и греющему пару деаэратора соответственно, кДж/кг;

– для варианта схемы на рис. 3,б

$$C = C_0 (1 - \xi b) (1 - \xi_{ДСА}), \quad (3)$$

где  $b$  – отношение расхода воды  $W$  через деаэратор «АВАКС» к полному расходу воды на установку  $D$  (т. е. параметр  $b$  в схеме по рис. 3,б вычисляется так же, как кратность циркуляции  $K$  в схеме по рис. 3,а, но всегда  $b \leq 1$ ).

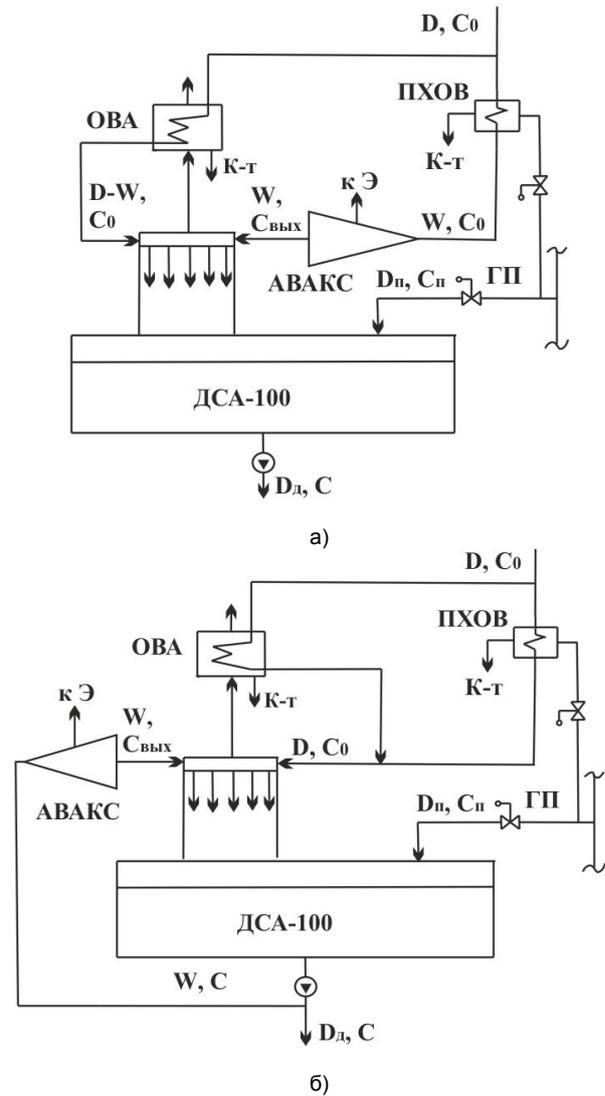


Рис. 3. Варианты схем вакуумно-атмосферной деаэрационной установки на базе деаэраторов ДСА и «АВАКС»: ПХОВ – подогреватель химически очищенной воды; ОВА – охладитель выпара; Э – эжектор; ГП – греющий пар; К-т – конденсат

Далее рассмотрим результаты практических расчетов. Примем для обеих схем температуру воды перед деаэратором ДСА-100 неизменной и равной 70 °С (поскольку в настоящее время отсутствуют экспериментальные данные, характеризующие работу деаэратора «АВАКС» при другой температуре), а удельный расход выпара этого деаэратора зададим на уровне 2,5 кг на тонну деаэрированной воды (т.е.  $d_{вып} = 0,0025$ ). В расчетах будем использовать характерные для

атмосферных деаэраторов значения энтальпии пара и греющего пара:  $h_{\text{вып}} = 2780$  кДж/кг;  $h_{\text{п}} = 2795$  кДж/кг.

Значение  $\xi_{\text{ДСА}}$  определяется по основной режимной характеристике деаэратора ДСА (рис. 2) для соответствующей температуры исходной воды  $t_{\text{вх}}$  при каждом значении расхода деаэрированной воды следующим образом:

$$\xi_{\text{ДСА}} = 1 - \frac{C}{C_0}. \quad (4)$$

Эффективность деаэрации воды в деаэраторе «АВАКС», характеризуемая значением эффекта деаэрации  $\xi$ , установлена в ходе экспериментальных исследований [8]. Приведем основные положения данного этапа работы.

Экспериментальные исследования проведены на стенде предприятия-изготовителя деаэраторов «АВАКС» – Кинешемского машиностроительного завода (г. Кинешма, Ивановская обл.). Схема установки приведена на рис. 4. Стенд состоит из двух контуров: деаэрационного и эжекционного. Деаэрационный контур включает в себя собственно деаэратор 1, насос 3 для подачи воды в деаэратор, а также бак деаэрированной воды 4, оборудованный змеевиковым паровым подогревателем воды и устройством для создания паровой подушки. Эжекционный контур включает в себя бак-газоотделитель 6 с водопроводной водой, на котором установлен водоструйный эжектор ВТИ, а также насос эжектирующей воды 7.

Испытательный стенд оборудован средствами измерения расходов и параметров теплоносителей:

- массового расхода воды через деаэратор (ультразвуковой расходомер);
- давление воды до и после деаэратора (образцовые манометры с условной шкалой типа МО);
- разрежения в начале линии отсоса пара (образцовый мановакуумметр с условной шкалой типа ВО);

- температуры воды до и после деаэратора и температуры пара в начале линии отсоса (спиртовые термометры);

- массовой концентрации растворенного в воде до и после деаэратора кислорода (амперометрические мембранные кислородометры МАРК-301Т и МАРК-302Т, а также дополнительный контроль колориметрическим методом с метиленовым голубым).

В ходе испытаний после подготовки эжекционного контура к работе бак 4 деаэрационного контура заполнялся недеаэрированной Na-катионированной водой до минимального уровня. Температура воды устанавливалась на требуемом уровне путем подачи пара в змеевиковый поверхностный подогреватель воды. После этого включался в работу эжекционный контур для заполнения водой трубопроводов и деаэратора, размещенных над баком 4.

Через подготовленный таким образом к работе деаэратор 1 насосом 3 осуществлялась прокачка воды с поддержанием заданного давления воды перед устройством. В ходе испытаний деаэратор работал в режиме рециркуляции воды. Замеры параметров выполнялись с интервалом по времени 5 минут. Результаты испытаний установки приведены в таблице. Там же указаны рассчитанные по формуле, аналогичной (4), значения эффекта деаэрации  $\xi$ .

Выполнено обобщение экспериментальных данных (рис. 5). По результатам анализа сделан вывод, что эффект деаэрации  $\xi$  не зависит от уровня концентрации растворенного кислорода в исходной воде и может быть принят с учетом погрешности экспериментального определения массовой концентрации растворенного в воде кислорода равным  $\xi = (0,847 \pm 0,007)$ .

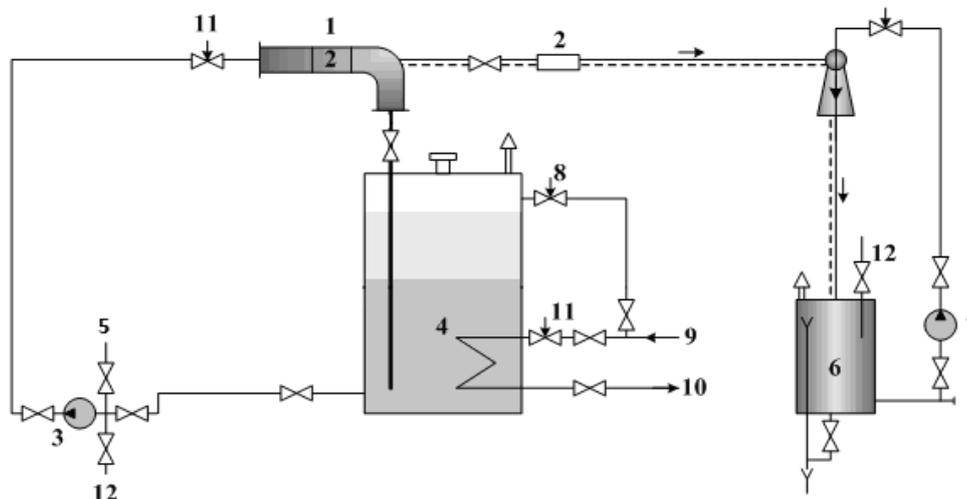


Рис. 4. Схема экспериментальной установки: 1 – деаэратор «АВАКС»; 2 – смотровая вставка из кварцевого стекла; 3 – циркуляционный насос; 4 – бак деаэрированной воды; 5 – подвод Na-катионированной воды; 6 – бак-газоотделитель; 7 – насос эжектирующей воды; 8 – регулятор давления пара в паровой подушке; 9 – подвод пара; 10 – отвод конденсата; 11 – регулирующий клапан; 12 – подвод водопроводной воды

## Результаты испытаний деаэратора «АВАКС»

Время от начала измерений, мин	Результаты измерений (расход воды через деаэратор $20 \pm 1$ т/ч)								
	Давление абсолютное, кгс/см <sup>2</sup>		Температура воды, °С		Абсолютное давление в начале линии отсоса пара, кгс/см <sup>2</sup>	Относительная величина выпара, кг/т	Массовая концентрация растворенного в воде кислорода, мкг/дм <sup>3</sup>		Эффект деаэрации по растворенному кислороду $\xi$ , ед.
	перед деаэратором	после деаэратора	перед деаэратором	после деаэратора			перед деаэратором	после деаэратора	
0	–	–	72	72	–	–	7000	7000	0
5	3,0	0,02	72	69	0,30	5,4	4780	750	0,84
10	3,0	0,02	71	68	0,29	5,4	3230	490	0,85
15	3,0	0,02	71	68	0,29	5,4	2250	320	0,86
20	3,0	0,02	70	66	0,27	7,1	1550	230	0,85
25	3,0	0,02	70	66	0,27	7,1	1030	160	0,84
30	3,0	0,02	71	67	0,27	5,4	700	100	0,86
40	3,0	0,02	70	67	0,28	5,4	330	50	0,85

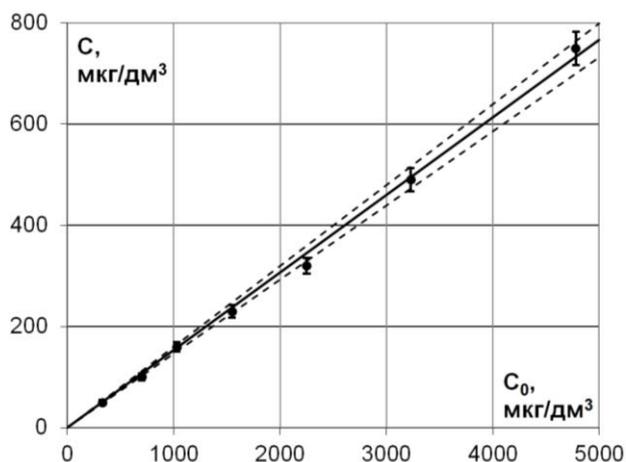


Рис. 5. Экспериментальные данные по эффективности деаэрации воды в деаэраторе «АВАКС»: точки – окончательные результаты измерения в опытах; сплошная линия – аппроксимация опытных данных (метод наименьших квадратов); пунктирные линии – границы доверительного интервала существования действительных значений массовой концентрации растворенного в воде за деаэратором кислорода (доверительная вероятность 0,95)

С учетом полученных выражений (2)–(4), принятых значений теплофизических параметров теплоносителей в установке, а также экспериментальных данных по деаэратору «АВАКС» выполнены расчеты основной режимной характеристики установки для двух рассматриваемых вариантов технологической схемы. Результаты представлены на рис. 6.

Полученные расчетные результаты свидетельствуют, что вариант установки деаэратора «АВАКС» на линии рециркуляции деаэрированной воды (рис. 3,б) предпочтительнее варианта с последовательной установкой двух деаэраторов на потоке исходной воды (рис. 3,а), поскольку в последнем случае не удастся добиться существенного уменьшения остаточной концентрации растворенного в деаэрированной воде кислорода. Это обусловлено тем, что в схеме по рис. 3,а при малой гидравлической нагрузке установки значение параметра  $b$  в формуле (3) оказывается относительно малым (около 0,1 при минимальной нагрузке), поскольку расход воды через охладитель выпара фиксирован (в данном случае на уровне 25 т/ч). Уменьшение расхода воды через охладитель выпара при уменьшении гид-

равлической нагрузки деаэратора с соответствующим увеличением параметра  $b$  возможно, но должно быть автоматизировано. Причем при автоматизации требуется регулировать еще и расход выпара деаэратора, чтобы избежать тепловой перегрузки охладителя выпара. Такое решение существенно усложняет схему установки и эксплуатацию оборудования и, кроме того, может привести к ухудшению эффективности деаэрации воды в деаэраторе ДСА из-за нарушения нормальной вентиляции парового пространства деаэрационной колонки при уменьшении гидравлической нагрузки.

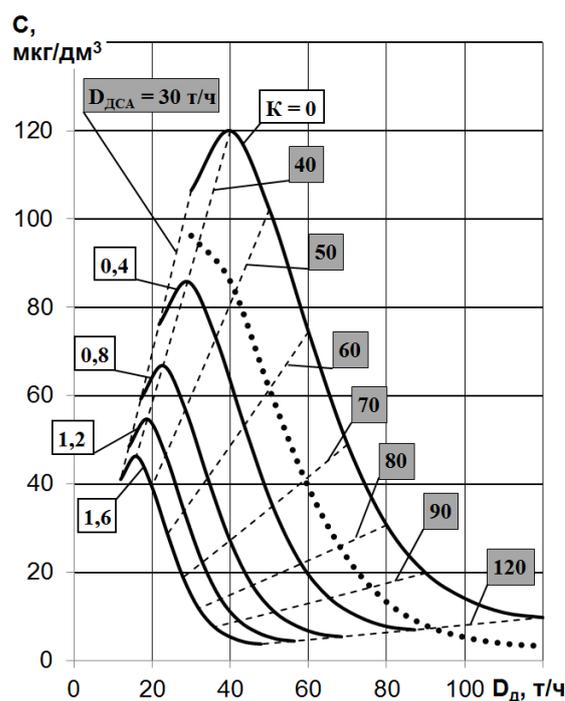


Рис. 6. Основная режимная характеристика вакуумно-атмосферной деаэрационной установки на базе деаэраторов ДСА и «АВАКС»: пунктирной линией показана характеристика для технологической схемы рис. 3,а; прочие линии составляют характеристику технологической схемы рис. 3,б;  $D_d$  – расход деаэрированной воды потребителям;  $D_{ДСА}$  – расход деаэрированной воды деаэратора ДСА-100

Таким образом, возможна установка дополнительного деаэрационного устройства «АВАКС» в соответствии с технологической схемой рис. 3,б. Это позволит получать воду тре-

буемого химического качества во всем диапазоне изменения гидравлической нагрузки установки путем соответствующего регулирования кратности циркуляции К. Режимным недостатком схемы является существенное сужение регулировочного диапазона по расходу деаэрированной воды потребителям при увеличении кратности циркуляции. Однако варьирование кратности циркуляции от минимальной до максимальной позволяет охватить весь диапазон гидравлических нагрузок установки.

Компоновочные решения рассматриваемого варианта реконструкции установки предполагают размещение деаэратора «АВАКС» на 2–5 м выше деаэрационной колонки деаэратора ДСА в целях обеспечения нормального слива воды из прямоточного деаэрационного устройства на верхнюю распределительную тарелку струйной колонки. Этот слив должен предусматривать организацию гидрозатвора соответствующей высоты. Эжектор деаэратора «АВАКС», который может быть как паро-, так и водоструйным (может быть использован и механический вакуумный насос), размещается на площадке обслуживания деаэратора ДСА. При использовании пароструйного эжектора охлаждение его холодильника может осуществляться водой в параллель с охладителем выпара деаэратора ДСА.

Предложенное техническое решение и выбранная технологическая схема его реализации позволяют, при необходимости, обеспечить нормативное качество деаэрированной воды для установок с атмосферными деаэраторами при относительно небольших капитальных затратах.

#### Список литературы

1. Шатова И.А., Барочкин Е.В., Ледуховский Г.В. Выбор схемы включения прямоточных деаэрационных устройств // Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования: материалы IV Рос. науч.-практич. конф. – Иваново, 2005. – С. 63–65.
2. Шатова И.А., Барочкин Е.В., Ледуховский Г.В. Оценка влияния октадециламина на деаэрацию химочищенной воды в прямоточных деаэрационных устройствах // Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования: материалы IV Рос. науч.-практич. конф. – Иваново, 2005. – С. 66–69.
3. Оликер И.И. Термическая деаэрация воды в отопительно-производственных котельных и тепловых сетях. – Л.: Стройиздат, 1972. – 137 с.
4. Оликер И.И., Пермяков В.А. Термическая деаэрация воды на тепловых электростанциях. – Л.: Изд-во «Энергия», 1971. – 185 с.

*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) 26-99-31, e-mail: lgv83@yandex.ru

*Виноградов Владимир Николаевич,*

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени 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

5. Шарапов В.И., Цюра Д.В. Термические деаэраторы / Ульянов. гос. техн. ун-т. – Ульяновск, 2003. – 560 с.

6. Ледуховский Г.В. Совершенствование технологии десорбции кислорода в струйно-барботажных деаэраторах атмосферного давления: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. – Иваново, 2008. – 226 с.

7. Коротков А.А. Повышение эффективности декарбонизации воды термическими деаэраторами атмосферного давления: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. – Иваново, 2013. – 161 с.

8. Шатова И.А. Совершенствование защиты от стояночной коррозии углеродистой стали котлов на основе применения ингибиторов октадециламина и М-1: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. – Иваново, 2005. – 148 с.

#### References

1. Shatova, I.A., Barochkin, E.V., Ledukhovskiy, G.V. Vyb or skhemy v klyucheniya pryamotochnykh deaeratsionnykh ustroystv [Selecting the connection scheme for direct-flow deaerating device]. *Materialy IV Rossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Povyshenie effektivnosti teploenergeticheskogo oborudovaniya»* [Proceedings of the IVth Russian Research-to-Practice Conference «Heat Power Equipment Efficiency Improvement»]. Ivanovo, 2005, pp. 63–65.
2. Shatova, I.A., Barochkin, E.V., Ledukhovskiy, G.V. Ot-senka vliyaniya oktatetsilamina na deaeratsiyu khimochishchennoy vody v pryamotochnykh deaeratsionnykh ustroystvakh [Assessing the impact of octadecylamine on deaeration of chemically treated water in direct-flow deaerating devices]. *Materialy IV Rossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Povyshenie effektivnosti teploenergeticheskogo oborudovaniya»* [Proceedings of the IVth Russian Research-to-Practice Conference «Heat Power Equipment Efficiency Improvement»]. Ivanovo, 2005, pp. 66–69.
3. Olikier, I.I. *Termicheskaya deaeratsiya vody v otopitel'no-proizvodstvennykh kotel'nykh i teplovykh setyakh* [Thermal deaeration of water at industrial heating plants and heat networks]. Leningrad, Stroyizdat, 1972. 137 p.
4. Olikier, I.I., Permyakov, V.A. *Termicheskaya deaeratsiya vody na teplovykh elektrostantsiyakh* [Thermal deaeration of water at heat power stations]. Leningrad, Energiya, 1971. 185 p.
5. Sharapov, V.I., Tsyura, D.V. *Termicheskie deajeratory* [Deaerating heaters]. Ulyanovsk, 2003. 560 p.
6. Ledukhovskiy, G.V. *Sovershenstvovanie tekhnologii desorbtsii kisloroda v struyno-barbotaznykh deaeratorakh atmosfernogo davleniya*. Diss. kand. tekhn. nauk [Technological Development of Oxygen Desorption in Spray-Bubble Atmospheric Deaerators. Cand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, 2008. 226 p.
7. Korotkov, A.A. *Povyshenie effektivnosti dekarbonizatsii vody termicheskimi deaeratorami atmosfernogo davleniya*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of thermal water decarbonization by atmospheric pressure deaerators. Cand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, 2013. 161 p.
8. Shatova, I.A. *Sovershenstvovanie zashchity ot stoyanochnoy korrozii uglerodistoy stali kotlov na osnove primeneniya ingibitorov oktatetsilamina i M-1*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving of protection against corrosion of carbon steel in boilers based on inhibitors of octadecylamine and M-1. Cand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, 2005. 148 p.

*Шатова Ирина Анатольевна,*  
ОАО «Ивгортеплоэнерго»,  
кандидат технических наук, начальник службы контроля и диагностики тепловых энергоустановок,  
телефон (4932) 38-72-65.

*Разинков Антон Александрович,*  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
студент кафедры тепловых электрических станций,  
телефон (4932) 26-99-31.