

УДК 621.321

## Деаэрационная установка двойного назначения на основе центробежно-вихревых деаэраторов

Мошкарин А.В., д-р техн. наук, Ледуховский Г.В., Виноградов В.Н., кандидаты техн. наук, Зимин Б.А., Топоров Е.Н., инженеры, Борисов И.А., студ.

Приведено описание технологической схемы и основные проектные показатели деаэрационной установки, созданной на базе центробежно-вихревых деаэраторов и предназначенной для деаэрации подпиточной воды тепловой сети и получения при этом добавочной воды для подпитки паровых котлов.

*Ключевые слова:* деаэратор, десорбция кислорода, десорбция диоксида углерода, коррозия, защита от коррозии.

### The double purpose deaerating plant based on a centrifugal-vortical deaerator

Moshkarin A.V., doctor of science, Leduhovsky G.V., Vinogradov V.N., candidates of science, Zimin B.A., Toporov E.N., engineers, Borisov I.A., student

The description of the process flowsheet and the basic design parameters of the deaerating plant based on a centrifugal-vortical deaerator designed for heat network makeup water deaeration and additional water production for steam boilers make-up.

*Keywords:* deaerator, oxygen desorption, carbon dioxide desorption, corrosion, corrosion prevention.

Развитие деаэрационной техники в настоящее время идет, в числе прочего, по пути разработки новых конструкций деаэраторов [1]. Одним из примеров аппаратов нового типа является центробежно-вихревой деаэратор (ДЦВ) Б.А. Зими́на [2].

ДЦВ номинальной производительностью по деаэрированной воде 670 т/ч (рис. 1) состоит из корпуса 1, встроенного в центробежный сепаратор 2. Через центральное отверстие в верхней крышке 3 корпуса 1 проходит трубопровод отвода пара 4. В части корпуса 1, встроенной в центробежный сепаратор 2, имеются окна 5, расположенные над нижней торцевой крышкой 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 гидродинамической структуры вихря воды имеется кольцевая перегородка (шайба) 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 осуществляется через тангенциальные патрубки 9.

Вращательное движение деаэрируемой воды обеспечивает вскипание той части вращающегося потока, которая ближе к оси вращения, и сепарацию парогазовой фазы за границу раздела фаз. Давление воды в потоке уменьшается по мере уменьшения радиуса

вращения, в результате чего вода вскипает мельчайшими пузырьками, абсорбирующими растворенные газы. Парогазовые пузырьки вытесняются за границу раздела фаз по принципу центробежной сепарации.

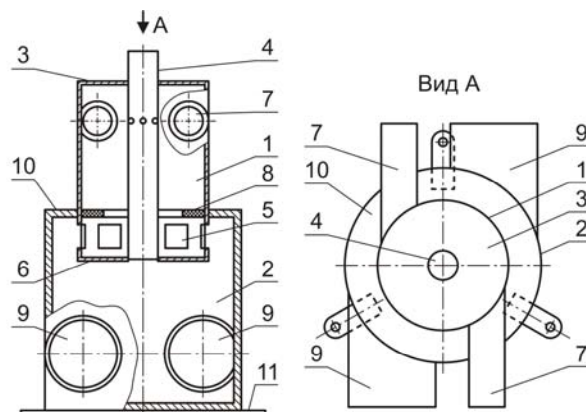


Рис. 1. Конструктивная схема деаэратора ДЦВ-670: 1 – корпус; 2 – центробежный сепаратор; 3, 6 – верхняя и нижняя торцевые крышки корпуса соответственно; 4 – трубопровод отвода пара; 5 – окна для отвода воды из корпуса; 7, 9 – подводящие и отводящие тангенциальные патрубки соответственно; 8 – кольцевая перегородка (шайба); 10, 11 – верхняя и нижняя торцевые крышки центробежного сепаратора соответственно

ДЦВ способен работать при любом давлении в трубопроводе пара, т. е. использоваться в качестве деаэратора вакуумного, атмосферного или повышенного давления. Работа в вакуумном режиме требует установки соответствующего воздухоудаляющего устройства.

Наиболее привлекательным с точки зрения удобства эксплуатации является вариант работы ДЦВ в режиме перегретой воды (для работы в таком режиме предназначена описан-

ная выше модель ДЦВ-670). В этом случае не требуется подвод греющего теплоносителя, что упрощает конструктивную схему установки и эксплуатацию оборудования. Однако при этом ДЦВ становится прямоточным деаэратором с малым временем пребывания воды, из-за чего необходима организация второй ступени деаэрации.

Прямоточность деаэратора не является существенной помехой для реализации эффективной деаэрации воды. Термодинамическое преимущество противоточного деаэратора перед прямоточным невелико [1]. Кинетическое условие эффективности прямоточной деаэрации достижимо конструктивным путем. Таким образом, названная проблема является проблемой оптимизации и решается установкой, например, капельных деаэрационных устройств (КДУ) в паровом объеме деаэрационного бака. В этом случае деаэрируемая вода подается в ДЦВ, далее поступает в КДУ, откуда сливается в деаэрационный бак. Трубопроводы выпара ДЦВ и КДУ могут быть объединены; необходимые доли выпара из ДЦВ и КДУ обеспечиваются подбором соответствующих диаметров трубопроводов выпара. Разбрызгивание воды в КДУ происходит под действием избыточного давления воды, создаваемого за счет разности геометрических высот между выходным патрубком ДЦВ и входным патрубком КДУ, а также за счет разности давлений пара в ДЦВ и над поверхностью воды в деаэрационном баке и небольшого динамического напора, создаваемого в ДЦВ.

Преимуществами ДЦВ являются его сравнительно малые габариты и, соответственно, металлоемкость (рис. 2), а также широкий рабочий диапазон изменения производительности (от 20 до 120 %). Опыт использования таких деаэраторов (в настоящее время в России установлено около ста аппаратов) показывает, что ДЦВ в совокупности с КДУ обеспечивает получение воды высокого химического качества с концентрацией растворенного кислорода в деаэрированной воде от 5 до 30 мкг/дм<sup>3</sup> при отсутствии свободной углекислоты.



Рис. 2. Общий вид смонтированного ДЦВ

Для рассматриваемой модели ДЦВ-670 при номинальной производительности по деаэрированной воде массовый расход выпара варьируется от 6,7 до 13,4 т/ч. Повышенный расход выпара, с одной стороны, является недостатком деаэраторов рассматриваемого типа, так как требует установки, например, смешивающего охладителя выпара с возвратом конденсата выпара в деаэрацию. С другой стороны, для энергетических объектов, испытывающих дефицит в добавочной воде паровых котлов, повышенный расход выпара деаэратора может стать, наоборот, его преимуществом.

Нами разработана схема двухцелевой деаэрационной установки на основе деаэраторов ДЦВ-670, предназначенная для деаэрации подпиточной воды тепловой сети и получения при этом дистиллята в качестве добавочной воды паровых котлов. Рассмотрим основные показатели работы такой установки применительно к условиям ее использования на Омской ТЭЦ-5. Проектная производительность установки по подпиточной воде тепловой сети составляет 2680 т/ч. Установка создается на основе имеющихся четырех деаэраторов подпитки теплосети типа ДСВ-800. Установка состоит из четырех автономных деаэрационных блоков (рис. 3), каждый из которых включает следующее основное оборудование:

- собственно деаэрационную установку, состоящую из центробежно-вихревого деаэратора модели ДЦВ-670 и двух капельных деаэрационных устройств типа КД-335;
- конденсатор выпара – сальниковый подогреватель ПС-250-30-0,5 (первая ступень нагрева деаэрируемой воды);
- подогреватель второй ступени типа ПСВ-650-6-25 с выносным охладителем дренажа (вторая ступень нагрева деаэрируемой воды);
- эжектор трехступенчатый паровой типа ЭП-3-25/75 со встроенным холодильником.

Для обеспечения эффективной конденсации выпара деаэрационного конденсатора выпара охлаждается полным расходом идущей на деаэрацию воды. По этой причине охлаждающая вода в холодильник эжектора отбирается перед конденсатором выпара и возвращается на вход в него. Последовательное соединение конденсатора выпара и холодильника эжектора по воде недопустимо с точки зрения обеспечения работы эжектора в рабочей зоне его характеристики. Аналогичным образом подключен и охладитель дренажа подогревателя второй ступени.

Пар от парового коллектора собственных нужд давлением 0,7 МПа используется в качестве рабочего пара эжектора и греющего пара подогревателя второй ступени. Последнее обусловлено особенностями тепловой схемы Омской ТЭЦ-5, где отсутствует паровой коллектор собственных нужд давлением 0,12 МПа. В общем случае нагрев идущей на деаэрацию воды в подогревателе второй ступени может быть

обеспечен либо низкпотенциальным паром, либо прямой сетевой водой.

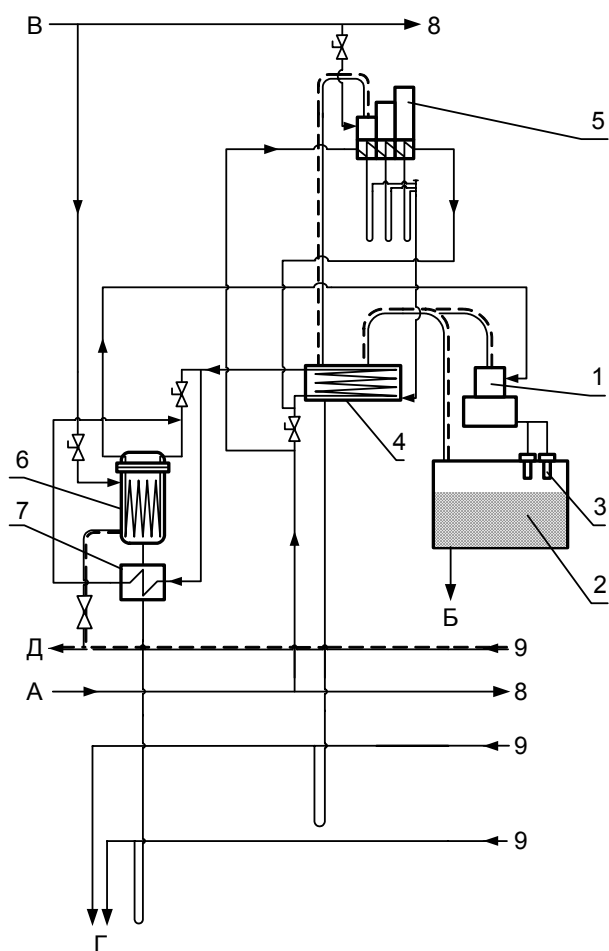


Рис. 3. Схема двухцелевого деаэрационного блока: 1 – ДЦВ; 2 – деаэрационный бак (корпус деаэратора ДСВ-800); 3 – КДУ; 4 – конденсатор выпара; 5 – пароструйный трехступенчатый эжектор; 6 – подогреватель второй ступени; 7 – охладитель дренажа подогревателя второй ступени; 8 – потоки к другим энергоблокам; 9 – потоки от других энергоблоков; А – подвод исходной воды; Б – отвод деаэрированной воды на подпитку теплосети; В – подвод пара от коллектора 0,7 МПа; Г – отвод конденсата на подпитку основного цикла электростанции; Д – отсос паровоздушной смеси

Конденсат рабочего пара и выпара последней ступени эжектора сливается в конденсатор выпара. Конденсат греющего пара подогревателя второй ступени, предварительно прошедший охладитель дренажа, а также конденсат из конденсатора выпара деаэратора подаются в баки сбора конденсата разными трубопроводами. Такая схема обеспечивает возможность сброса конденсата из конденсатора выпара при ухудшении его химического качества на конденсатоочистку без смешения с конденсатом греющего пара подогревателя второй ступени.

Производительность установки по дистилляту определяется ее производительностью по деаэрированной воде на подпитку теплосети и температурой исходной воды. Для определе-

ния режимных характеристик установки разработана математическая модель, обеспечивающая решение следующих задач:

- расчет давления всасывания эжектора в зависимости от температуры охлаждающей воды на входе в его холодильник;
- определение гидравлического сопротивления трубопровода отсоса выпара от конденсатора выпара к эжектору;
- поверочный тепловой расчет конденсатора выпара для определения расхода выпара деаэратора, который может быть сконденсирован при заданных условиях;
- расчет гидравлического сопротивления парового пространства конденсатора выпара и системы трубопроводов отсоса выпара от деаэратора до конденсатора выпара;
- поверочный тепловой расчет подогревателя второй ступени с выносным охладителем дренажа с определением требуемой температуры подогрева воды перед деаэратором для получения необходимого расхода выпара.

Анализ результатов расчета показателей работы установки позволяет заключить, что существует возможность получения дистиллята в качестве добавочной воды паровых котлов с расходом до 13 т/ч от одного деаэрационного блока (рис. 4, а). Номинальная производительность нетто по дистилляту (без учета конденсата рабочего пара эжектора и греющего пара подогревателя второй ступени) установки в целом составляет около 50 т/ч.

Удельный расход выпара деаэратора (рис. 4, б) не снижается ниже значения 10 кг/т, что обеспечивает качественную деаэрацию подпиточной воды тепловой сети. Производительность установки по дистилляту может быть увеличена, если поддерживать удельный расход выпара деаэратора на уровне более 20 кг/т. Однако при этом возникает вероятность ухудшения химического качества получаемого дистиллята из-за интенсификации капельного уноса деаэрируемой воды по трубопроводу выпара из ДЦВ (капельный унос из деаэрационного бака существенно меньше). Уменьшить величину капельного уноса можно, используя дополнительные конструктивные решения.

Требуемая температура воды на входе в деаэратор (рис. 4, в) не превосходит 90 °С, что позволяет использовать в подогревателе второй ступени в качестве греющего теплоносителя пар от коллектора собственных нужд с давлением 0,12 МПа (при его наличии) или прямую сетевую воду.

Значения температуры деаэрированной воды (подпиточной воды тепловой сети) (рис. 4, г) соответствуют увеличенным значениям температур для вакуумной деаэрации, что обеспечивает возможность применения рассматриваемой установки для подпитки теплосети с открытым водоразбором.

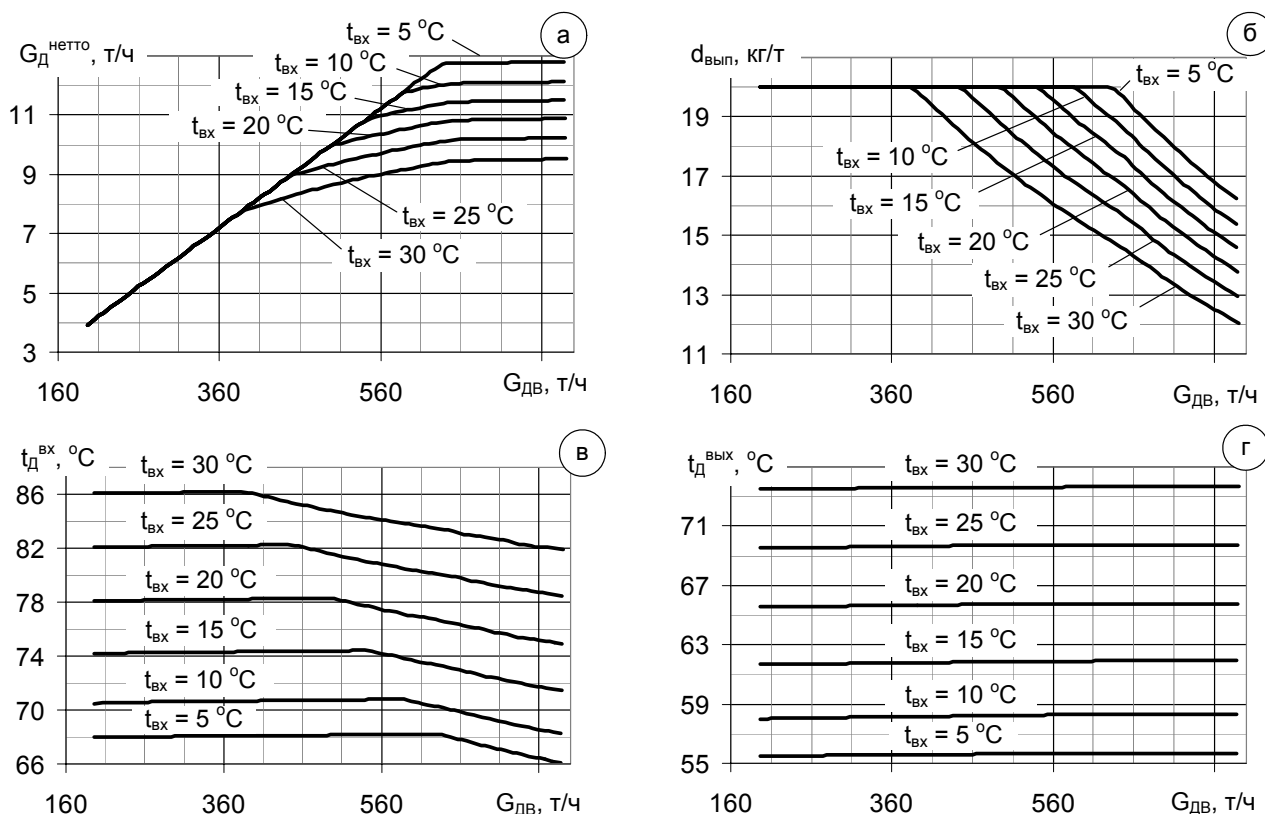


Рис. 4. Показатели работы установки (в расчете на один деаэрационный блок):  $G_{дв}$  – выработка деаэрированной воды на подпитку теплосети, т/ч;  $t_{вх}$  – температура воды на входе в установку (водопроводной воды), °C;  $G_{д}^{нетто}$  – производительность-нетто по дистилляту, т/ч;  $d_{вып}$  – удельный расход пара деаэратора, кг/т;  $t_{д}^{вх}$  – требуемая температура воды перед деаэратором (на выходе из подогревателя второй ступени), °C;  $t_{д}^{вх}$  – температура деаэрированной воды, °C

Стоимость дистиллята для подпитки основного цикла ТЭЦ, получаемого при работе установки, сопоставима со стоимостью дистиллята, производимого многоступенчатой испарительной установкой, и в несколько раз меньше стоимости обессоленной воды, получаемой, например, по методу ионного обмена.

Отметим, что предложенная схема в ближайшее время может оказаться весьма полезной при переводе вакуумных деаэраторов в атмосферный режим работы. Необходимость такого перевода обусловлена постепенным ужесточением требований к химическому качеству воды тепловых сетей открытого типа. В частности, в Постановлении Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 20 от 07.04.2009 г. «Об утверждении СанПиН 2.1.4.2496-09» [3] указано, что «...при открытой системе теплоснабжения деаэрация должна проводиться при температуре более 100 °C». И хотя энергетическое хозяйство России в настоящее время не готово к масштабной замене вакуумных деаэрационных установок атмосферными, по-видимому, направление предстоящих реконструкций следует считать заданным.

Эта проблема окажется актуальной для ТЭЦ многих городов, включая Иваново, и в еще большей степени – для отопительных котель-

ных с вакуумными деаэраторами, не имеющих паровых котлов.

Реконструкция вакуумных деаэрационных установок с использованием ДЦВ с получением конденсата для подпитки котлов или при конденсации пара в контактных охладителях и смешении его с подпиточной водой тепловой сети позволит существенно сократить капитальные затраты, по сравнению с вариантом реконструкции, предусматривающим полную замену деаэраторов на аппараты атмосферного давления.

### Заключение

Разработанная технологическая схема и оборудование двухцелевой деаэрационной установки вакуумного типа на основе центробежно-вихревых деаэраторов конструкции Б.А. Зимина обеспечивают деаэрацию подпиточной воды тепловой сети и получение при этом дистиллята в качестве добавочной воды паровых котлов.

Двухцелевые деаэрационные установки, разработанные на базе центробежно-вихревых деаэраторов Б.А. Зимина, рекомендуются для теплофикационных ТЭЦ и котельных с подключенными тепловыми сетями открытого типа, испытывающими дефицит в подпиточной воде паровых котлов.

### Список литературы

1. **Шарапов В.И.**, Цюра Д.В. Термические деаэраторы / Ульянов. гос. техн. ун-т. – Ульяновск, 2003.
2. **Деаэратор** (тепломассообменник): пат. 2131555 Рос. Федерация: F22D1/50, C02F1/20, B01D19/00 / Зимин Б.А.; зая-

витель и патентообладатель Зимин Б.А. – № 97121266/06; заявл. 09.12.1997; опубл. 10.06.1999, Бюл. № 22 (I ч.). – 4 с.

3. **Постановление** Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.04.2009 № 20 «Об утверждении СанПиН 2.1.4.2496-09», зарег. в Минюсте Российской Федерации 05.05.2009 № 13891.

Мошкарин Андрей Васильевич,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых электрических станций  
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Ледуховский Григорий Васильевич,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,  
телефон 8-910-698-99-90,  
e-mail: lgv83@yandex.ru

Виноградов Владимир Николаевич,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике,  
e-mail: admin@xhte.ispu.ru

Топоров Евгений Николаевич,  
ЗАО «Регион-Бизнес»,  
заместитель директора,  
телефон (3812) 45-02-02,  
e-mail: region\_business@mail.ru

Зимин Борис Алексеевич,  
ЗАО «Регион-Бизнес»,  
ведущий специалист,  
телефон (3812) 45-07-07,  
e-mail: region\_business@mail.ru

Борисов Иван Александрович,  
Ивановский государственный энергетический университет,  
студент,  
e-mail: admin@tes.ispu.ru