

## ИСПАРИТЕЛИ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

**В.С. Рыбин, Ю.В. Безганс**

Работа посвящена оценке состояния оборудования и технологии термического обессоливания воды для нужд теплоэнергетики, а также перспективам ее совершенствования. Вакуумные испарители (ИМВ) являются отечественной разработкой, внедренной на электростанциях РФ и Казахстана. Распространение ИМВ сдерживается высокой стоимостью оборудования и необходимостью использования оборотной системы охлаждения для конденсации вторичного пара.

*Ключевые слова:* дистилляция, термическая деаэрация, тепло-гидравлические режимы, сварка открытой дугой, ультразвуковая дефектоскопия.

Теплоэнергетический комплекс и другие отрасли промышленности нуждаются в использовании для технологических целей обессоленной воды высокого качества.

В современной отечественной энергетике производство обессоленной воды осуществляется преимущественно химическими методами и методом обратного осмоса. Традиционными недостатками указанных методов являются:

- высокая себестоимость обессоленной воды, связанная с высокой стоимостью реагентов и мембран,
- высокие трудозатраты при транспортировании химреактивов, перезагрузке и регенерации фильтров,
- экологические проблемы, обусловленные значительными объемами производственных стоков,
- зависимость от поставок импортного оборудования, комплектующих и материалов.

Альтернативой химическим методам обессоливания являются термические методы. Испарители поверхностного типа конструкции ЦКТИ успешно эксплуатируются в течение многих лет на отечественных предприятиях. Недостатком этих аппаратов является низкая тепловая эффективность, связанная, в том числе, с проблемой утилизации низкопотенциального вторичного избыточного пара.

Наиболее экономичными из аппаратов термоподготовки воды являются вакуумные. К таким аппаратам относятся испарители мгновенного вскипания (ИМВ), разработка которых была начата в УралВТИ, а после прекращения централизованного финансирования доведена до промышленного применения специалистами научно-производственного предприятия «ЭКОТЕХ» и ЗАО «ИКСА».

В настоящее время в эксплуатации на тепловых электростанциях России и Казахстана находятся 20 термообессоливающих комплексов на базе ИМВ.

Термообессоливающая установка на базе ИМВ включает следующее оборудование:

– собственно испаритель ИМВ (ИМВ производительностью 20...50 т/ч выполнен в виде двух прямоугольных корпусов размерами: 6,5×1,5×6 м и общей массой около 80...120 т),

– вакуумный деаэратор (специальное оборудование, включен в тепловую схему испарителя по воде и пару),

– головной подогреватель (серийный пароводяной подогреватель с поверхностью теплообмена 100...200 м<sup>2</sup>),

– насосное оборудование (обеспечивает циркуляцию концентрата и отвод получаемого дистиллята),

– эжекционный контур (насос – эжектор – бак) обеспечивает вакуумирование системы,

– средства КИП и автоматики (4–5 регуляторов для поддержания работы аппарата в автоматическом режиме) [1–4].

Принцип действия ИМВ заключается в генерации пара при многократном адиабатном вскипании воды в ступенях испарителя, которая осуществляется в условиях вакуума в свободном объеме аппарата. Это обстоятельство в сочетании со ступенчатостью процесса упаривания исходной воды позволяет снизить опасность зарастания внутренних объемов аппарата накипью. При этом имеется возможность заменить химические методы умягчения исходной воды на коррекционные, основанные на ее ингибировании, что существенно снизит эксплуатационные затраты и экологические проблемы при получении обессоленной воды.

Опыт эксплуатации установок с ИМВ на ТЭС, расположенных в разных регионах страны и использующих воду разных водоисточников, подтвердил их высокую эффективность работы. Качество получаемого дистиллята характеризуется следующими показателями:

общая жесткость	1 мкг-экв/кг
УЭП	0,5...1 мкСм/см
содержание натрия	до 15 мкг/кг
содержание кремния	до 20 мкг/кг
содержание железа	до 20 мкг/кг
содержание кислорода	до 20 мкг/кг

Получаемый дистиллят ИМВ отличается высоким качеством и пригоден для питания котлов давлением до 140 атм.

Вследствие полной автоматизации эксплуатации ИМВ не требует привлечения дополнительно обслуживающего персонала. По опыту действующих установок контроль их режима работы обеспечен штатным персоналом при расширении зоны обслуживания.

В тепловую схему ТЭС ИМВ, как правило, включены по эквипотенциальной схеме без снижения тепловой экономичности станции. При такой схеме включения ранее используемый в тепловой схеме ТЭС пар для подогрева исходной воды перед ХВО используется в головном подогревателе ИМВ, а исходная вода подогревается до 40 °С в последних ступенях ИМВ. В этом случае не требуется дополнительная выработка пара на ТЭС и отсутствует недовыработка электрической энергии. Возможны и другие схемы включения ИМВ.

Благодаря низким потерям тепла удельная выработка дистиллята составляет 8...9 т на 1 т пара, используемого в процессе дистилляции в качестве теплоносителя.

Опыт эксплуатации ИМВ в энергосистемах ТГК-16 (ОАО «Татэнерго») и ОАО «Башкирэнерго» показывает, что производство обессоленной воды на ИМВ требует в 2–3 раза меньших затрат по сравнению с существующими традиционными установками химического обессоливания. На Казанской ТЭЦ-3 при суммарной производительности ИМВ 100 т/ч годовая экономия составляет 9,6 млн руб. в ценах 2002 г., на Уфимской ТЭЦ-2 при производительности 50 т/ч – 9,2 млн руб.

Испарители обладают высокой ремонтпригодностью. Для восстановления их работоспособности не требуются импортные материалы и комплектующие. Ремонт ИМВ любой сложности выполняется силами ремонтного подразделения ТЭС или монтажной организации.

Факторами, сдерживающими распространение ИМВ на отечественных предприятиях, являются высокие капитальные затраты, обусловленные значительной металлоемкостью оборудования и высокими трудозатратами изготовления, а также необходимость использования оборотной системы охлаждения для конденсации пара последней ступени аппарата. Даже с учетом низкой температуры пара на выходе ИМВ отвод тепла вследствие скрытой теплоты парообразования (~ 614 ккал/кг пара) является значительным. Расчет схем ИМВ с ограничением отвода вторичного тепла до значений, необходимых только для нагрева подпиточной воды, показал снижение производительности установки на 25...30 % при неизменных капитальных затратах, что является неприемлемым.

В период 2006–2013 гг. на Набережночелнинской ТЭЦ и Салаватской ТЭЦ введены в эксплуатацию три деаэрационно-дистилляционных установки нового типа (деаэраторы двойного назначе-

ния ДДН), на которых обессоленную воду (дистиллят) получают в схеме водоподготовки подпитки теплосети из выпара вакуумного деаэратора.

Химическая подготовка воды для получения дистиллята ограничивается коррекционной обработкой, ингибированием исходной воды применительно к условиям открытой теплосети, что предопределяет особенно низкую себестоимость получаемого дистиллята.

На ТЭЦ в схемах водоподготовки подпиточной воды теплосети повсеместно используются термические деаэраторы, в которых удаление коррозионно-агрессивных газов (кислорода и углекислого газа) происходит за счет нагрева воды до состояния кипения и дальнейшего выпаривания. Многочисленными исследованиями доказано, что эффективность деаэрации возрастает по мере увеличения выпара. Однако увеличение выпара ведет к увеличению тепловых потерь, перерасходу топлива и дополнительным финансовым затратам, а потому требует применения специальных утилизаторов тепла и, следовательно, дополнительных капиталовложений. В подавляющем большинстве случаев эксплуатационная служба ТЭЦ снижает интенсивность режимов деаэрации в ущерб качеству, что ведет к коррозии городских тепловых сетей.

Проект совмещения деаэрации и дистилляции в одном аппарате способствует повышению эффективности деаэрации и снижению стоимости получения обессоленной воды. При этом наиболее значимые достоинства проекта заключаются в следующем:

- увеличение выпара при деаэрации подпитки теплосети одновременно повышает качество деаэрации и увеличивает выработку дистиллята,

- деаэрация осуществляется в вакуумном режиме с минимальными тепловыми потерями и затратами электроэнергии для рециркуляции теплоносителя на нагрев деаэрированной воды,

- нагрев деаэрируемой воды производится низкпотенциальным паром (70...100 °С) или горячей водой,

- деаэрация осуществляется на режимах с максимально возможным расходом выпара, что обеспечивает низкое остаточное содержание кислорода,

- выпар деаэрированной воды используется для получения дистиллята путем очистки стандартными методами (сепарация влаги и отвод неконденсирующихся газов) и конденсации в поверхностном теплообменнике,

- охлаждение выпара осуществляется потоком воды, подаваемой на деаэрацию, что исключает затраты электроэнергии на циркуляцию охлаждающего оборотного контура и непродуктивные тепловые потери,

- обмен воды в контуре водоструйного эжектора системы вакуумирования осуществляется также за счет потока воды, подаваемой на деаэра-

цию, что полностью исключает непродуктивные тепловые затраты,

– объем выпара не превышает 5...8 %, что не снижает качества подпиточной воды теплосети, подвергаемой деаэрации, и не требует применения дополнительных технологических мер и финансовых затрат,

– получение обессоленной воды не требует дополнительных химических, физических методов и соответственно, дополнительных затрат, поскольку в качестве исходной среды используется подпиточная вода теплосети с соответствующей менее затратной технологией водоподготовки,

– технологический процесс отличается высокой экологической чистотой, что обусловлено отсутствием производственных стоков,

– в целом, получаемая таким образом обессоленная вода, пригодная для питания котлов давлением до 14 МПа, является побочным продуктом термической деаэрации подпиточной воды теплосети, вследствие чего затраты на ее производство обусловлены, главным образом, амортизацией капитальных затрат.

Вместе с тем следует учесть, что вследствие высокой коррозионной активностью исходной (недеаэрированной) подпиточной воды теплосети при температурах выше 40 °С требуется использование коррозионно-стойкой стали для изготовления теплопередающих поверхностей аппарата, что ведет к увеличению его стоимости. Однако с учетом низких эксплуатационных затрат проект является достаточно перспективным.

К настоящему времени аппараты с рассматриваемой тепловой схемой (ДДН) внедрены и успешно эксплуатируются на Набережночелнинской ТЭЦ и Салаватской ТЭЦ. Разработку проектов ДДН выполняли применительно к ТЭЦ с открытой системой теплоснабжения, в которых предусмотрена необходимость подготовки, в том числе деаэрации, значительных объемов подпиточной воды теплосети. Разработанные конструкции рассчитаны на выработку 15...40 т/ч дистиллята, получаемого конденсацией выпара при термической деаэрации подпиточной воды теплосети расходом 1000 т/ч. Привязка эффективности применения аппарата к открытым системам теплоснабжения, которые в ограниченном количестве используются преимущественно в крупных городах, существенно сокращают область применения ДДН.

Моделирование теплогидравлических режимов дает основания для разработки проектов ДДН с одним циркуляционным контуром, рассчитанным на выработку дистиллята до 30...45 т/ч при расходе воды на деаэрацию до 500 т/ч. Проект характеризуется высокими капитальными и очень низкими эксплуатационными затратами, что даже при высоких капитальных затратах позволяет надеяться на приемлемый срок окупаемости.

Целесообразно рассмотреть проекты совмещения ИМВ и ДДН, у которых второй контур вы-

полняет функции деаэратора подпитки теплосети в диапазоне расходов 50...200 т/ч, что характерно для многочисленных ТЭЦ с закрытой системой теплоснабжения.

В настоящее время совместными усилиями специалистов ЮУрГУ и ООО «Экотех» выполняется проработка технических проектов термических комплексов по деаэрации подпиточной воды теплосети расходом до 200 т/ч с одновременной выработкой обессоленной воды, в ходе которой необходимо оптимизировать тепловую схему установки, площадь теплообмена с учетом стоимости используемой стали и теплогидравлические режимы, обеспечивающие возможность получения качественного дистиллята.

Для снижения стоимости изготовления оборудования целесообразно внедрение менее затратных сварочных технологий, в частности, применение оборудования и материалов для механизированной (полуавтоматической) сварки открытой дугой [5, 6] самозащитной порошковой проволокой, что обеспечивает качественную защиту дуги в условиях мелкосерийного производства на универсальном сборочно-сварочном оборудовании. Предлагаемая технология сварки не требует применения газовой и флюсоподающей аппаратуры, что существенно снижает трудовые и финансовые затраты.

В ходе отработки технологии использования сварки порошковыми проволоками при изготовлении ИМВ опробованы режимы на постоянном токе обратной полярности с применением источников питания с жесткими внешними характеристиками.

Подготовка и сборка металла под сварку производилась аналогично ранее применяемой технологии при ручной дуговой сварке. Сварку выполняли порошковыми проволоками ПП-АН7 и ППВ-5, которые предназначены для всех видов сварных соединений в нижнем, вертикальном и горизонтальном на вертикальной плоскости пространственных положениях.

Используемые режимы сварки представлены в таблице. При токах 200 и 300 А коэффициент наплавки соответственно составляет 10,0 и 13,1 г/(А·ч). В среднем производительность по наплавленному металлу достигает 5 кг/ч.

Для уменьшения разбрызгивания и улучшения защиты расплавленного металла от взаимодействия с атмосферой сварку выполняют короткой дугой. Опробованные режимы сварки обеспечивают хорошее формирование шва, легкую отделимость шлака и удовлетворительные потери электродного металла на разбрызгивание. Испытания механических свойств металла шва и сварного соединения не проводились. В соответствии с требованиями проектной документации изделие подвергалось гидравлическим испытаниям:

– паровые камеры, работающие в условиях вакуума, под избыточным давлением 0,2 МПа,

– водяные камеры под избыточным давлением 0,5 МПа.

## Режимы сварки

Тип сварного соединения	Толщина металла, мм	Номер слоя	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Вылет проволоки, мм
Нижнее положение шва						
Тавровое без разделки	8–12	Первый	2,0	150–200	20–31	15–30
		Последующий		200–250	22–26	20–40
		Первый	2,3	150–200	21–22	15–30
		Последующий		250–300	24–26	30–50
Вертикальное положение шва						
Тавровое без разделки	8–12	Первый	2,0	140–170	20–22	15–30
		Последующий		180–200	21–23	15–30
		Первый	2,3	140–170	20–22	15–30
		Последующий		230–270	22–24	20–40

По предварительной оценке в сравнении с методом ММА (сваркой покрытыми электродами) сварка порошковой проволокой имеет более высокую производительность наплавки (выше до 30 %), что позволяет снизить производственные расходы на сварочные работы.

В соответствии с требованиями проектной документации конструкция аппарата должно обладать не только прочностью, но и высокой герметичностью. Поэтому значительная часть сварных соединений аппарата должна подвергаться тщательному контролю. Для этих целей традиционно применяют гидравлические испытания, что, учитывая габариты аппарата, требует значительных трудовых и финансовых затрат.

Вместе с тем, согласно нормативным документам, возможно, а по финансовым соображениям целесообразно для контроля сварных соединений из углеродистых сталей применение менее затратного ультразвукового контроля с одно- и двухуровневой оценкой качества [7].

В связи с тем, что рабочие камеры аппарата работают в условиях вакуума, нарушение их герметичности проявляется не в виде наружных утечек, а в резком снижении качества вырабатываемого дистиллята (из-за возникновения внутренних перетоков). Применение ультразвукового метода для выявления несплошностей в элементах аппарата из углеродистых сталей, возникающих в процессе изготовления, а также в режиме эксплуатации, является менее затратным и потому перспективным направлением осуществления производственного и эксплуатационного контроля взамен трудоемких гидравлических испытаний.

Реализация перечисленных направлений позволит снизить капитальные и эксплуатационные затраты и тем самым повысить инвестиционную привлекательность внедрения отечественных аппаратов термического обессоливания.

**Литература**

1. Петин, В.С. Новое водоподготовительное оборудование / В.С. Петин, В.С. Рыбин, О.Г. Никулин // Сборник докладов X всероссийского научно-

практического семинара «Обеспечение безопасности и экономичности энергетического оборудования», Санкт-Петербург, 23–26 ноября 2002 г. – СПб.: НПО ЦКТИ, 2004. – С. 182–185.

2. Петин, В.С. Новая энерго-ресурсоэффективная технология водоподготовки на базе испарителей ИМВ «Экотех» / В.С. Петин, В.В. Тропин, В.С. Рыбин // Труды V Международного симпозиума «Ресурсоэффективность и энергосбережение», Казань, 1–2 декабря 2004 г. / под общ. ред. А.М. Пахомова, Е. В. Мартынова, Л.П. Аблятьевой. – Казань: Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова-Ленина, 2005. – С. 201–209.

3. Подготовка обессоленной воды на термообессоливающих комплексах / В.С. Петин, О.Г. Салашенко, В.С. Рыбин и др. // Сборник научных трудов «Повышение надежности и эффективности работы тепломеханического оборудования ТЭС / ОАО «Инженерный центр энергетики Урала. Филиал «УралВТИ-Челябэнергосетьпроект». – Челябинск: Цицеро, 2005. – 230 с.

4. Экологически чистая технология водоподготовки на электростанциях ОАО «Татэнерго» / И.Ш. Фардиев, В.С. Петин, В.С. Рыбин и др. // Повышение надежности и эффективности работы тепломеханического оборудования ТЭС: сб. науч. тр. / ОАО «Инженерный центр энергетики Урала. Филиал «УралВТИ-Челябэнергосетьпроект». – Челябинск: Цицеро, 2005. – С. 196–201.

5. Норин, П.А. Технологические характеристики открытой сварочной дуги / П.А. Норин, А.Ю. Третьяков, А.М. Осипов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2012. – Вып. 19, № 12 (271). – С. 214–217.

6. Норин, П.А. Анодное падение напряжения / П.А. Норин, А.М. Осипов // Тематический сборник научных трудов «Прогрессивные технологии в машиностроении» / гл. ред. В.И. Гузеев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 184–187.

7. Основы ультразвукового контроля металла и сварных соединений: учеб. пособие / Д.М. Шахматов, М.В. Шахматов, А.М. Осипов и др. – Челябинск: ООО «ЦПС Сварка и контроль», 2010. – 247 с.

---

**Рыбин Владимир Семенович**, канд. техн. наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); vsrybin@gmail.com.

**Безганс Юрий Викторович**, магистрант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); smoke200483@mail.ru.

*Поступила в редакцию 3 марта 2014 г.*

---

**Bulletin of the South Ural State University**  
**Series "Metallurgy"**  
**2014, vol. 14, no. 2, pp. 84–88**

---

## **EVAPORATORS OF INSTANT BOILING UP: THE CONDITION AND APPLICATION PERSPECTIVES**

**V.S. Rybin**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
vsrybin@gmail.com,

**Yu.V. Bezgans**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
smoke200483@mail.ru

The paper is devoted a state estimation of the equipment and technique of thermal waters desalting for needs of power systems, and also to perspectives of its perfecting. Vacuum evaporators (evaporators of instant boiling up) are the domestic working out introduced on power stations of the Russian Federation and Kazakhstan. Spreading evaporators of instant boiling up restrains in high cost of the equipment and necessity of use of the reverse coolant system for condensation of secondary steam.

*Keywords: distillation, thermal deaeration, heat-hydraulic conditions, welding by an open arc, hypersonic flaw inspection.*

### **References**

1. Petin V.S., Rybin V.S., Nikulin O.G. [The New Water Preparatory Equipment]. *Sbornik dokladov X vserossiyskogo nauchno-prakticheskogo seminar "Obespechenie bezopasnosti i ekonomichnosti energeticheskogo oborudovaniya"* [Collection of Reports of the 10th All-Russian Scientific-Practical Seminar "Safety and Profitability of Utilities Equipment"]. St. Petersburg, 2002, pp. 182–185. (in Russ.)
2. Petin V.S., Tropin V.V., Rybin V.S. [New Energy and Resource Saving Technique of Water Preparation on the Basis of IMV "Ekotekh" Evaporators]. *Trudy V Mezhdunarodnogo simpoziuma "Resursoeffektivnost' i energosberezhenie"* [Proceedings of the 5th International Symposium "Resource and Power Saving"]. Pakhomov A.M., Martynov E.V. and Ablatypova L.P. (Eds.). Kazan, Kazan St. Univ. Publ., 2004, pp. 201–209. (in Russ.)
3. Petin V.S., Salashenko O.G., Rybin V.S. et al. [Preparation of Demineralized Waters with Thermoelastolayer Complexes]. *Povyshenie nadezhnosti i effektivnosti raboty teplomekhanicheskogo oborudovaniya TES* [Increasing Reliability and Overall Performance of Thermomechanical Equipment of Thermoelectric Power Stations]. Chelyabinsk, Cicero Publ., 2005, p. 187–195. (in Russ.)
4. Fardiev I.Sh., Petin V.S., Rybin V.S. et al. [Non-Polluting Technology of Water Preparation on Power Stations of JSC "Tatenergo"]. *Povyshenie nadezhnosti i effektivnosti raboty teplomekhanicheskogo oborudovaniya TES* [Increasing Reliability and Overall Performance of Thermomechanical Equipment of Thermoelectric Power Stations]. Chelyabinsk, Cicero Publ., 2005, p. 196–201. (in Russ.)
5. Norin P.A., Tret'yakov A.Yu., Osipov A.M. [Technical Characteristics of Open Arc]. *Bull. of the South Ural St. Univ. Series "Machine Building"*, 2012, no. 12 (271), issue 19, pp. 214–217. (in Russ.)
6. Norin P.A., Osipov A.M. [Anode Voltage Drop]. *Progressivnye tekhnologii v mashinostroenii* [Progressive Technologies in Machine Building]. Guzeev V.I. (Ed.). Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2008, p. 184–187. (in Russ.)
7. Shakhmatov D.M., Shakhmatov M.V., Osipov A.M. et al. *Osnovy ul'trazvukovogo kontrolya metalla i svarnykh soedineniy* [The Fundamentals of Ultrasonic Control of Metal and Welded Joints]. Chelyabinsk, TsPS Welding and Control Publ., 2010. 247 p.

*Received 3 March 2014*