

Научная статья  
УДК 536.246

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕАЭРАТОРА ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКОЙ ТЭЦ

**Наталья Константиновна Кузьмина<sup>1</sup>, Илья Олегович Трофимов,  
Никита Сергеевич Василевский, Владимир Александрович Мунц**

Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> [KuzmiNatalia24@yandex.com](mailto:KuzmiNatalia24@yandex.com)

**Аннотация.** В работе описана модернизация деаэрата двойного назначения при переходе части абонентов на закрытую систему теплоснабжения. Описанная интенсификация теплообмена позволяет повысить производительность выпарных аппаратов до двух раз.

**Ключевые слова:** испарительная техника, интенсификация теплообмена, испарение и конденсация

**Для цитирования:** Модернизация деаэрата двойного назначения Набережночелнинской ТЭЦ / Н. К. Кузьмина, И. О. Трофимов, Н. С. Василевский, В. А. Мунц // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения — 2021 = Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021 : сборник научных трудов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. С. 129–135.

Original article

## MODERNIZATION OF A DUAL-FUNCTION DEAERATOR AT NABEREZHNYE CHELNINSKAYA CHPP

**Natalia K. Kuzmina<sup>1</sup>, Ilya O. Trofimov, Nikita S. Vasilevsky, Vladimir A. Munz**

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> [KuzmiNatalia24@yandex.com](mailto:KuzmiNatalia24@yandex.com)

---

© Кузьмина Н. К., Трофимов И. О., Василевский Н. С., Мунц В. А., 2023

**Abstract.** The paper describes the modernization of a dual-purpose deaerator in the transition of some subscribers to a closed heat supply system. The described intensification of heat transfer makes it possible to increase the productivity of the evaporators up to two times.

**Keywords:** evaporative technology, heat transfer intensification, evaporation and condensation

**For citation:** Kuzmina N. K., Trofimov I. O., Vasilevsky N. S. and Munz V. A. (2023). Modernizatsiya deaeratora dvoynogo naznacheniya Naberezhnochelninskoy TETs [Modernization of a dual-function deaerator at Naberezhnye Chelninskaya CHPP]. *Ehnergo- i resursosberezhenie. Ehnergoobespechenie. Netradicionnyye i vozobnovlyayemye istochniki ehnergii. Atomnaya ehnergetika. Danilovskie chteniya — 2021* [Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021]. Ekaterinburg: Ural University Publishing House, 2023. P. 129–135. (In Russ).

**Н**абережночелнинская ТЭЦ входит в состав АО «Татэнерго» и является одной из десяти крупнейших тепловых станций России. Потребителями тепловой энергии являются жилые массивы Автозаводского и Центрального района города, заводы КАМАЗа.

В 1969 г. для обеспечения электрической и тепловой энергией Камского автомобильного завода и города Набережные Челны Совет Министров СССР Постановлением № 796 от 7 октября 1969 г. принял решение о строительстве ТЭЦ КАМАЗа. Проектирование ТЭЦ было поручено Львовскому отделению института «Теплоэлектропроект». Электрическая мощность ТЭЦ была определена в 820 МВт.

Территория станции расположена на землях промкомзоны Автозавода и компоновочно увязана с генеральным планом промышленного узла города Набережные Челны.

В системе подготовки исходной воды для подпитки теплосети используется деаэратор двойного назначения ДДН-1000/40. Деаэратор двойного назначения ДДН-1000/40 предназначен для получения 40 т/ч чистой дистиллированной воды из потока воды подпитки теплосети расходом 1000 т/ч. Общий вид аппарата представлен на рис. 1.

Аппарат состоит из деаэратора — подогревателя контактного (ПК) и испарителя.

Деаэратор является смешивающим головным подогревателем испарителя. В корпусе деаэратора к потоку исходной воды, подогретой в конденсаторе испарителя, подмешивается горячая вода. За счет ор-

ганизации подвода тепла производится первая стадия деаэрации и организация первичного перегрева потока воды.

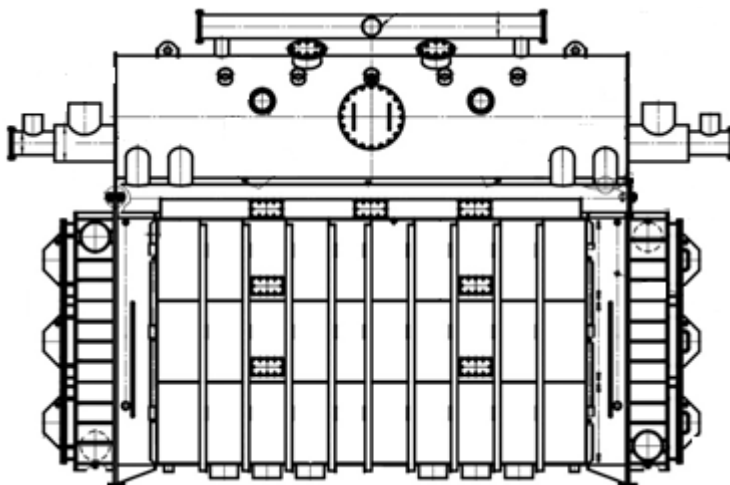


Рис. 1. Общий вид деаэратора двойного назначения ДДН-1000/40

Испаритель состоит из трех ступеней. Каждая ступень включает в себя:

- расширитель, в который подается перегретая вода на испарение;
- конденсатор пара, предназначенный для конденсации полученного пара и регенерации тепла в установке;
- сепараторы для очистки образовавшегося пара от капель кипящей воды.

Главной особенностью данной конструкции является совмещение всех функциональных элементов в одном аппарате.

В связи с переходом части абонентов на закрытую систему теплоснабжения расход подпиточной воды для теплосети снизился с 1000 до 500 т/ч, однако расход дистиллята для подпитки котлов необходимо поддерживать на том же уровне.

Теплообмен при конденсации определяется толщиной пограничного слоя (рис. 2) — слоя конденсата — образовавшегося на трубках, в значительной степени уменьшающего коэффициент теплопередачи в этих процессах. Пленка конденсата выступает в роли изоляционного материала. Чем толще слой конденсата, тем менее эффективным становится теплообмен. Это приводит к увеличению площади теплообмена. Подобный режим носит название пленочной конденсации.

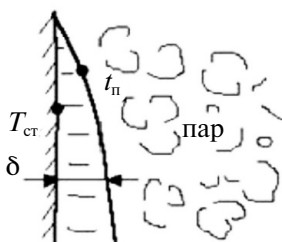


Рис. 2. Механизм влияния пленки конденсата на характеристики теплообмена [1, с. 139]

Совместно со специалистами компании ООО «Реиннольц Лаб» существующий аппарат был модифицирован. Для сохранения текущих габаритов необходимо интенсифицировать теплообмен в аппарате так, чтобы снизить расход исходной воды в два раза. В качестве решения данной задачи было использовано внедрение поперечно-кольцевых турбулизаторов (накатки) на теплообменной поверхности.

При пленочной конденсации эффект интенсификации теплообмена на наружной поверхности труб обусловлен действием поверхностного натяжения на пленку конденсата. Чем толще и равномернее пленка конденсата, тем больше ее термическое сопротивление, поэтому для обеспечения существенной интенсификации теплообмена снаружи труб необходима такая геометрия, которая обеспечивала бы эффективный срыв пленки конденсата или ее стекание в канавки с уменьшением толщины на остальных участках трубы, создавая приближение капельной конденсации. Достигается это путем придания выступающей части трубы выпуклой формы и плавного сопряжения поверхностей канавок и выступающих частей трубы (рис. 3).

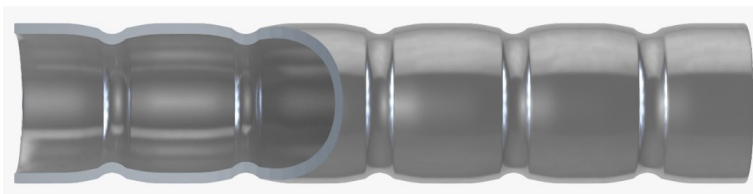


Рис. 3. Профиль трубы с поперечно кольцевыми турбулизаторами

Интенсификация теплоотдачи практически не зависит от температурного напора. Коэффициент теплоотдачи увеличивается в 1,8–2,65 раз, причем тем больше, чем больше глубина канавок, чем мень-

ше их шаг и чем меньше радиус закругления выступающих частей труб  $R$ . Таким образом, полученные опытные данные обобщаются зависимостью, подходящей для расчета коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве при конденсации на горизонтальных трубах с поперечно-кольцевыми турбулизаторами (ПКТ) [2, с. 283]:

$$\frac{\alpha}{\alpha_{\text{гл}}} = 2,469 \left( 1 - \frac{R}{D_{\text{н}}} \right) \left( 1 - 0,379 \frac{t}{D_{\text{н}}} \right) e^{3,65 \left( 1 - \frac{d_{\text{н}}}{D_{\text{н}}} \right)}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\text{гл}}$  определяется по известной формуле [1]:

$$\bar{\alpha} = 0,7284 \sqrt[4]{\frac{rg\rho_{\text{ж}}^2\lambda_{\text{ж}}^3}{\mu_{\text{ж}}(t_{\text{н}} - t_{\text{ст}})d}}. \quad (2)$$

Со стороны трубного пространства так же, как и при гладких трубах, коэффициент теплоотдачи определяется через безразмерное число Нуссельта, определяющееся по соотношению [3, с. 103]:

$$Nu = Nu_0 \left\{ 1 + \left[ 2,64 \text{Re}^{0,036} \text{Pr}^{0,024} \left( \frac{h}{D} \right)^{0,212} \left( \frac{t}{D} \right)^{-0,21} \left( \frac{\angle a}{90} \right)^{0,29} \right]^7 \right\}^{1/7}, \quad (3)$$

где  $Nu_0$  — значение критерия Нуссельта для расчета гладкой трубы, определяемое по формуле:

$$Nu = 0,023 \text{Re}_{\text{ж}}^{0,8} \text{Pr}_{\text{ж}}^{0,43} \left( \frac{\text{Pr}_{\text{ж}}}{\text{Pr}_{\text{ст}}} \right)^{0,25}. \quad (4)$$

Таким образом, за счет использования накатки удалось получить необходимое количество дистиллята — 40 т/ч из 500 т/ч исходной воды при сохранении габаритов аппарата. Полученная конструкция ДДН-500/40 является уникальной и в настоящий момент эксплуатируется в Набережночелнинской ТЭЦ в соответствии с рассчитанными режимами.

### Список источников

1. Королев В. Н. Тепломассообмен. Екатеринбург : Изд-во Урал ун-та, 2013. 249 с.
2. Эффективные поверхности теплообмена / Э. К. Калинин, Г. А. Дрейцер, И. З. Копп, А. С. Мякочин. М. : Энергоатомиздат, 1998. 408 с.

3. Попов И. А., Махьянов Х. М., Гуреев В. М. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена. Интенсификация теплообмена : монография / под общ. ред. Ю. Ф. Гортышова. Казань : Центр инновационных технологий, 2009. 560 с.

## References

1. Korolev V. N. Heat and mass transfer. Ekaterinburg : Ural University Publishing House, 2013. 249 p.

2. Effective heat transfer surfaces / E. K. Kalinin, G. A. Dreitzer, I. Z. Kopp, A. S. Myakochin. M. : Energoatomizdat, 1998. 408 p.

3. Popov I. A., Makhyanov H. M., Gureev V. M. Physical foundations and industrial application of heat transfer intensification. Intensification of heat exchange : a monograph / under the general editorship of Yu. F. Gortyshov. Kazan : Center of Innovative Technologies, 2009. 560 p.

## Информация об авторах

**Наталья Константиновна Кузьмина** — студентка Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [KuzmiNatalia24@yandex.com](mailto:KuzmiNatalia24@yandex.com)

**Илья Олегович Трофимов** — магистрант кафедры теплоэнергетики и теплотехники Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [trofimovil@rambler.ru](mailto:trofimovil@rambler.ru)

**Никита Сергеевич Василевский** — ассистент кафедры теплоэнергетики и теплотехники Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [n.s.vasilevsky@urfu.ru](mailto:n.s.vasilevsky@urfu.ru)

**Владимир Александрович Мунц** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики и теплотехники Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [v.a.munts@urfu.ru](mailto:v.a.munts@urfu.ru)

## Information about the authors

**Natalia K. Kuzmina** — Student of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [KuzmiNatalia24@yandex.com](mailto:KuzmiNatalia24@yandex.com)

**Ilya O. Trofimov** — Undergraduate Student of the Department of Thermal Power Engineering and Heat Engineering of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [trofimovil@rambler.ru](mailto:trofimovil@rambler.ru)

**Nikita S. Vasilevsky** — Assistant of the Department of Thermal Power Engineering and Heat Engineering of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [n.s.vasilevsky@urfu.ru](mailto:n.s.vasilevsky@urfu.ru)

**Vladimir A. Munz** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Thermal Power Engineering and Heat Engineering of the Ural Power Engineering Institute of Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [v.a.munts@urfu.ru](mailto:v.a.munts@urfu.ru)