

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2021)

---

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/JBVN5702>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/NFHL8964>**\*А. К. Кинжибекова, А. Т. Кауртаева**Торайғыров университет,  
Республика Казахстан, г.Павлодар

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА НА ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

*Условия работы теплоэнергетического оборудования электрических станции играют существенную роль при производстве тепловой и электрической энергии. Низкие показатели работы оборудования снижают экономические показатели эффективности работы станции в целом. Объектом исследования является теплоэнергетическое оборудование. Цель исследования будет заключаться в повышении качества работы теплоэнергетического оборудования станции и снижении затрат на ремонтные и эксплуатационные расходы. Проведенный анализ показал, что одним из случаев отказа работы оборудования стало повышение уровня воды в ПВД. По результатам обследования приходим к выводу, что причиной повреждения труб змеевиков ПВД энергоблока явилось совместное воздействие водородного охручивания и углекислотной коррозии. В целях современного и безопасного ввода в работу ПВД принято решение выполнить изменение в схеме отвода неконденсирующихся газов на ПВД.*

*Ключевые слова: питательная вода, регенеративный подогрев, подогреватель высокого давления, обследование, разрушение.*

### **Введение**

В условиях современного рынка электроэнергии предъявляются повышенные требования к надежности и экономичности генерирующего оборудования ТЭС. К мощным теплоэнергетическим агрегатом предъявляются дополнительные требования, обусловленные необходимостью длительной работы в течении отопительного периода без остановок.

Как показывает опыт эксплуатации, у каждого типоразмера агрегата в ряде узлов имеются конструктивные недостатки, устранение которых могло бы значительно повысить их надежность. Кроме того, за время, прошедшее с момента ввода в эксплуатацию турбин, котлов появились новые разработки,

применение которых также могло бы значительно повысить надежность и экономичность уже эксплуатируемых агрегатов.

Для решения задачи повышения надежности и экономичности эксплуатируемых мощных энергетических агрегатов необходимо проведение комплекса натуральных исследований в условиях эксплуатации по возможности применения и эффективности реализации ряда разработанных мероприятий для каждого типоразмера агрегата.

Регенеративный подогрев основного конденсата и питательной воды является одним из важнейших методов повышения экономичности современных ТЭС. Регенеративный подогрев осуществляется паром, отработавшим в турбине. Греющий пар, совершив работу в турбине, конденсируется затем в подогревателях. Выделенная этим паром теплота фазового перехода возвращается в котел [1].

В зависимости от начальных параметров пара и количества отборов пара на регенерацию относительное повышение КПД турбоустановки за счет регенерации составляет от 7 до 15 %, что сопоставимо с эффектом, получаемым от повышения начальных параметров пара перед турбиной.

Регенерацию можно рассматривать как процесс комбинированной выработки энергии с внутренним потреблением теплоты пара, отбираемого из турбины. Регенеративный подогрев воды снижает потерю теплоты с отработавшим паром в конденсаторе турбины [2].

От эффективности работы элементов системы регенеративного подогрева зависит качество подготовки питательной воды в частности, и выработка электрической энергии в целом.

### **Материалы и методы**

В системе регенеративного подогрева питательной воды важную роль играют подогреватели высокого давления. От качества их работы зависит надежность всей системы. Таким образом особую важность приобретает анализ состояния ПВД.

Проведенный анализ работы системы подогрева питательной воды на ТЭС показал, что одним из случаев отказа работы оборудования стало повышение уровня воды в ПВД. После вскрытия ПВД и проведения осмотра трубной части ПВД было установлено, что произошло повреждение спиральных змеевиков в зоне охлаждения пара ПВД (Рис.1).



Рисунок 1 – Общий вид системы змеевиков ПВД после вскрытия

В ходе осмотра установлена, что наружная поверхность труб змеевиков была покрыта рыхлыми многослойными отложениями темно-коричневого цвета (Рис.2).



Рисунок 2 – Наружная поверхность труб змеевиков

Змеевики ПВД энергоблока выполнены из труб 32 мм, материал – сталь 20. Время эксплуатации труб до момента повреждения составляло 20 183 часа. Разрушение произошло на «гибах» труб и имеют вид хрупких продольных трещин длиной 220-250 мм, расположенных по нейтральным линиям «гиба». Наружная поверхность труб спирали покрыта рыхлыми многослойными отложениями темно-коричневого цвета толщиной до 3 мм. На поверхности труб обнаружены язвы диаметром до 5 мм. Утонение стенки труб за счет коррозионного износа в местах язв достигало 50 %.

Внешним осмотром установлено, что разрушение спирали трубы произошло по нейтральным зонамгиба с 2-х диаметрально-противоположных сторон и носит сквозной продольный характер. Трещины ступенчатые, извилистые, протяженность их распространения составляет 25 мм, и 45 мм. Толщина стенки трубы в зоне распространения трещин составляет 4,8 мм, вне зоны – 4,8 мм (нейтральная зонагиба спирали).

На наружной поверхности разрушенного отрезка спирали наблюдается грубый слой окислов темно-бурого цвета местами отслоившейся. Толщина слоя окислов достигает 2,0 мм. В местах отслоившихся окислов металла наружная поверхность покрыта сплошными пологими коррозионными язвинами, поверхность покрыта слоем окислов темно-серого цвета, в некоторых местах – красного цвета. Внутренняя поверхность разрушенного участка спирали относительно гладкая, без видимых повреждений и покрыта окислами серого цвета.

#### **Результаты и обсуждение:**

По результатам обследования приходим к выводу, что причиной повреждения труб змеевиков ПВД энергоблока явилось совместное воздействие водородного охрупчивания и углекислотной коррозии. ПВД энергоблока работало на нейтральном кислородно-водном химическом режиме.

На ПВД отвод неконденсирующихся газов отличается, а именно неконденсирующиеся газы отводятся специальным устройством, установленным над охладителем конденсата. Труба отвода неконденсирующихся газов выходит через нижнее днище в подогреватель более низкой ступени нагрева питательной воды. Разрыв металла произошел без утонения стенки трубы, что свидетельствует о хрупком механизме разрушения спирали.

Бездеформационное разрушение, межкристаллитный характер распространения множественных окисленных микротрещин в сечении разрушенной трубы, обезуглероживание отдельных зерен перлита характерно для повреждения в результате водородного охрупчивания металла. Водородное охрупчивание привело к практически полной потере прочности, резкому снижению пластичности и разрушению спирали.

#### **Выводы**

На основании проведенного исследования считаем, что разрушение спирали ПВД котла произошло в результате водородного охрупчивания металла в процессе эксплуатации.

В целях современного и безопасного ввода в работу ПВД принято решение выполнить изменение в схеме отвода неконденсирующихся газов на ПВД.

#### **Список использованных источников**

1 Тепловые и атомные электрические станции. Справочник (Под общей ред. В.А.Григорьева, В.М.Зорина) – М.: Энергоиздат, 1989. - 631с.

2 **Буров В. Д.** Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др. - М.: МЭИ, 2005. - 454 с.

3 **Ривкин С.Л., Александров А.А.** Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984, 80-112с.

4 **Рыжкин В.Я.** Тепловые электрические станции: Учебник для вузов/ Под ред. Гришфельда В.Я. – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987, 328-359 с.

5 **Стерман Л.С.** Тепловые и атомные электростанции: Учебник для вузов / Л.С. Стерман, С.А. Тевлин, А.Т. Шарков; Под ред. Л.С. Стермана. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. 456-468 с.

6 **Готлиб Е.А.** Дипломированный электросварщик на монтаже ТЭС и АЭС. – М., 1989. – 30-92 с.

7 **Гончаров В.В.** Брызгальные водоохладители ТЭС и АЭС – Л., 1989. – 98-158с.

8 **Голубков Б.Н., Романова Т.М., Гусев В.А.** Проектирование и эксплуатация кондиционирования воздуха и отопления: Учебник для вузов. – М., 1988.– 245-296 с.

9 **Галустов В.С.** Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике, М., 1989. – 352-378 с.

10 **Новодережкин Р.А.** Насосные станции систем техноческого водоснабжения ТЭС и АЭС. – М., 1989. – 220-234 с.

## References

1 Teplovye i atomnye elektricheskie stansii. Spravochnik (Pod obei red. V.A.Grigoreva, V.M.Zorina) [Thermal and nuclear power plants. Reference book (Under the general editorship of V. A. Grigoriev, V. M. Zorin)] [Text] - М.: Energoizdat, 1989. – 631p.

2 **Burov V. D.** Teplovye elektricheskie stansii: uchebnik dlya vuzov [Thermal power stations: textbook for universities] [Text] V. D. Burov, E. V. Dorokhov, D. P. Elizarov et al. - М.: MEI, 2005. - 454 p.

3 **Rivkin S.L., Alexandrov A.A.** Termodinamicheskie svoistva vody i vodyanogo para: Spravochnik. Rek. Gos. slujboi standartnyh spravochnyh dannyh – 2-e izd., pererab. i dop. [Thermodynamic properties of water and steam: Handbook. Rec. State Standard Reference Data Service - 2nd ed., rev. and add.] [Text] - М.: Energoatomizdat, 1984, 80-112p.

4 **Ryzhkin V.Ya.** Teplovye elektricheskie stansii: Uchebnik dlya vuzov/ Pod red. Grişfelda V.Я. – 3 izd., pererab. i dop. [Thermal Power Plants: Textbook for Universities / Ed. Grishfeld V. Ya. - 3rd ed., Rev. and add.] [Text] - М.: Energoatomizdat, 1987, 328-359p.

5 **Sterman L.S.** . Teplovye i atomnye elektrostansii: Uchebnik dlya vuzov / L.S. Sterman, S.A. Tevlin, A.T. Şarkov; Pod red. L.S. Stermana. – 2- e izd., ispr. i dop. [Thermal and nuclear power plants: Textbook for universities / L.S. Sterman, S.A. Tevlin, A.T. Sharkov; Ed. L.S. Sterman. - 2nd ed., Rev. and add.] [Text] - M.: Energoizdat, 1982. 456-468p.

6 **Gottlieb E.A.** Diplomirovannyi elektrosvarik na montaje TES i AES. [Certified electric welder for the installation of thermal power plants and nuclear power plants.] [Text] - M., 1989. - 30-92p.

7 **Goncharov V.V.** Bryzgalnye vodoohladiiteli TES i AES [Splash water coolers of TPP and NPP] [Text] - L., 1989. - 98-158p.

8 **Golubkov B.N., Romanova T.M., Gusev V.A.** Proektirovanie i ekspluatatsiya kondicionirovaniya vozduha i otopleniya: Uchebnik dlya vuzov. [Design and operation of air conditioning and heating: Textbook for universities.] [Text] - M., 1988. - 245-296p.

9 **Galustov V.S.** Pryamotokhnyye raspylitelnye apparaty v teploenergetike, M. [Direct-flow spray devices in heat power engineering, M.,] [Text] 1989. - 352-378p.

10 **Novoderezhkin R.A.** Nasosnye stansii sistem tehnocheskogo vodosnabjeniya TES i AES. [Pumping stations of technical water supply systems of TPP and NPP.] [Text] - M., 1989. - 220-234p.

Материал поступил в редакцию 12.06.21.

\*А. К. Кинжибекова, А. Т. Кауртаева  
Торайғыров университеті,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Материал 12.06.21 баспаға түсті.

## **ЖЫЛУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯДАҒЫ РЕГЕНЕРАТИВТІ ЖЫЛЫТУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЖҰМЫСЫН ТАЛДАУ**

*Электр станцияларының жылу энергетикалық жабдықтарының жұмыс жағдайлары жылу және электр энергиясын өндіруде маңызды рөл атқарады. Жабдықтың төмен көрсеткіштері тұтастай алғанда станция жұмысының экономикалық көрсеткіштерін төмендетеді. Зерттеу нысаны жылу-энергетикалық жабдық болып табылады. Зерттеудің мақсаты станцияның жылу энергетикалық жабдықтарының жұмыс сапасын арттыру және жөндеу және пайдалану шығындарына шығындарды төмендету болып табылады. Жүргізілген талдау жабдықтың істен шығу жағдайларының бірі ЖҚЖ-дағы су деңгейінің артуы екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері бойынша*



*Энергия блогының ПВД ирек түтіктерінің зақымдалуының себебі сутегі салқындауы мен көмірқышқыл газының коррозиясының бірлескен әсері болды деген қорытындыға келеміз. ЖҚЖ-ны жұмысқа қазіргі заманғы және қауіпсіз енгізу мақсатында конденсацияланбайтын газдарды ЖҚЖ-ға бұру схемасында өзгерістерді орындауға шешім қабылданды.*

*Кілтті сөздер: қоректік су, регенеративті қыздыру, жоғары қысымды жылытқыш, сараптама, қирату.*

*\*А. К. Kinzhibekova, А. Т. Kairtayeva*

Toraighyrov University,  
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.  
Material received on 12.06.21.

## **ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE REGENERATIVE HEATING SYSTEM AT THERMAL POWER PLANT**

*The operating conditions of the heat and power equipment of electric power stations play a significant role in the production of heat and electric energy. Low performance of the equipment reduces the economic performance indicators of the station as a whole. The purpose of the study will be to improve the quality of the heat and power equipment of the plant and reduce the cost of repair and maintenance costs. The analysis showed that one of the cases of equipment failure was an increase in the water level in the LDPE. According to the results of the survey, we come to the conclusion that the cause of damage to the pipes of the LDPE coils of the power unit was the combined effect of hydrogen twisting and carbon dioxide corrosion. For the purpose of modern and safe commissioning of the LDPE, it was decided to make a change in the scheme of discharge of non-condensing gases to the LDPE in accordance with the decision of the manufacturer.*

*Keywords: feed water, regenerative heating, high pressure heater, survey, destruction.*

Теруге 12.06.2021 ж. жіберілді. Басуға 24.06.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

6,28 Мб RAM

Шартты баспа табағы 15,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3792

Сдано в набор 12.06.2021 г. Подписано в печать 24.06.2021 г.

Электронное издание

6,28 Мб RAM

Усл. печ. л. 15,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3792

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)