

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/UOHV2676>***М. Д. Шавдинова, Н. Г. Борисова**

Алматинский университет энергетики и связи
имени Гумарбека Даукеева,
Республика Казахстан, г. Алматы

МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

В работе проведен анализ существующих методик расчета конденсатора паровой турбины. Каждая методика имеет свои преимущества и недостатки. Так не по всем методикам можно провести расчет отдельного влияния загрязнений трубок и присосов воздуха. Проведен тепловой расчет конденсатора КГ2-6200 по методикам ВТИ, КТЗ, УГТУ-УПИ, ИТО (США). По результатам теплового расчета конденсатора получено, что методики ИТО (США) и ВТИ при сопоставлении со справочными данными имеют наименьшие погрешности. В методиках КТЗ и УГТУ-УПИ при изменении одного из параметров процесса нужно все время уточнять значения теплофизических свойств воды и конденсатной пленки в зависимости от температуры. Рекомендовано использовать методики КТЗ, УГТУ-УПИ при разработке математической модели с использованием способов интенсификации теплопередачи. Создана модель для диагностики конденсатора, учитывающая влияние присосов воздуха и загрязнений на величину давления пара в конденсаторе. Расчет проведен для конденсатора КГ2-6200 и эжектора ЭПО-3-200, установленных на АЭС ТЭЦ-2. Математическую модель конденсатора можно использовать как на производстве, так и в процессе подготовки специалистов-теплоэнергетиков при выполнении виртуальных лабораторных работ.

Ключевые слова: конденсатор, коэффициент теплопередачи, математическая модель, методики расчета.

Введение

Тепловой расчет конденсатора можно провести по нескольким методикам. Поэтому сначала необходимо выбрать наиболее подходящую методику расчета. По выбранной методике расчета можно разработать математическую модель конденсатора и провести вычислительные эксперименты.

Существуют различные методики расчета конденсатора паровой турбины: Ленинградский металлический завод (ЛМЗ), Институт теплообмена США (ИТО (США)), Калужский турбинный завод (КТЗ), Ухтинский государственный технический университет (УГТУ-УПИ), Всероссийский технологический институт (ВТИ). Методики ВТИ, ИТО (США), ЛМЗ могут дать оценку среднего коэффициента теплопередачи по интегральным режимным и конструкторским характеристикам оборудования [1], [2]. Но по этим методикам нельзя провести расчет раздельного влияния загрязнений трубок и присосов воздуха, а вот методики КТЗ, УГТУ-УПИ позволяют проводить такие расчеты. Но, в расчетах по методикам УГТУ-УПИ, КТЗ при изменении одного из параметров процесса нужно все время уточнять значения теплофизических свойств воды и конденсатной пленки в зависимости от температуры. Такой недостаток в методиках ВТИ и ИТО (США) отсутствует.

Существуют также и другие методы расчета. Так в [3], [4] приведена методика расчета конденсатора, которая позволяет получать характеристики конденсатора при любом режиме работы турбинной установки при изменении присосов воздуха.

Разработана методика расчета, позволяющая прогнозировать остаточный ресурс и давать оценку состояния конденсаторов паровых турбин. На основе данной методики разработаны две модели: первую модель можно использовать, когда доступна информация о времени работы конденсатора до выхода из строя трубок; вторую модель используют, когда на ТЭЦ нет точной информации о наработке трубок конденсатора [5].

В [1], [2] представлена методика расчета, учитывающая отдельное влияние загрязнений и присосов воздуха на давление пара в конденсаторе. По этой методике была разработана диагностическая модель для конденсатора КГ2-6200 АлЭС ТЭЦ-2.

Результаты

Для создания математической модели необходимо определиться с методикой расчета. Для этого проведен тепловой расчет конденсатора по методикам ВТИ, КТЗ, УГТУ-УПИ, ИТО (США). Исходные данные для составления математической модели взяты из справочных данных для конденсатора КГ2-6200.

Таблица 1 – Сравнение расчетных значений коэффициента теплопередачи в конденсаторах в зависимости от методики расчета

Параметр/Методика расчета	ВТИ	КТЗ	УГТУ (УПИ)	ИТО (США)
Температура насыщения t_p , °C	35,12	35,57	31,92	36,88
Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² К)	2782	2 659	4379	2340

Недогрев охлаждающей воды до температуры насыщения Δt , °C	6,007	6,420	2,772	7,765
Площадь поверхности конденсатора F, м ²	6 371	6 218	6 185	6 180
Длина трубок конденсатора, L, м	6,86	6,69	6,66	6,65
Погрешность в расчетах, %:				
площадь поверхности	3,00	0,62	0,09	0,00
длина трубок	0,09	12,06	-12,66	0,18

Из проведенных расчетов получено, что методики ИТО (США) и ВТИ при сравнении со справочными данными имеют наименьшие погрешности. Методики КТЗ и УГТУ-УПИ при сопоставлении со справочными данными имеют более высокие погрешности расчета. Погрешность длины трубок составляет более 12 %. Данные методики рекомендуется использовать, например, при разработке математической модели с использованием способов интенсификации теплопередачи. Так, по методике КТЗ была разработана математическая модель конденсатора и проведен расчет интенсификации теплопередачи с нанесением кольцевых канавок на трубы [6], [7], [8].

Для разработки диагностической модели по данной методике был взят конденсатор КГ2-6200 и эжектор ЭПО-3-200, установленные на АлЭС ТЭЦ-2. В расчете первого участка для определения коэффициента теплопередачи можно использовать методику ВТИ [3]:

$$k = 4070 \cdot a \cdot \Phi_{\delta} \cdot \Phi_z \cdot \Phi_w \cdot \Phi_t, \quad (1)$$

где a – коэффициент, показывающий степень чистоты поверхности теплообмена [3];

$\Phi_{\delta} \cdot \Phi_z \cdot \Phi_w \cdot \Phi_t$ – множители, учитывающие влияние удельной паровой нагрузки конденсатора, числа ходов, скорости охлаждающей воды, ее температуры на входе в конденсатор [2], соответственно.

Для расчета второго участка используется безразмерная характеристика:

$$\bar{\Delta} = (1 - \bar{\Delta}_0)^2 \bar{Q} + \bar{\Delta}_0, \quad (2)$$

$$\text{где } \bar{\Delta} = \frac{t_k - t_{1в}}{t_k^{ном} - t_{1в}};$$

$t_k^{ном}$ – температура пара при номинальном расходе пара;

t_k – текущая температура пара;

$t_{1в}$ – температура воды на входе в конденсатор.

$$\bar{\Delta}_0 = \frac{t_{k0} - t_{1в}}{t_k^{ном} - t_{1в}} \quad (3)$$

t_{k0} – температура пара в конденсаторе, соответствует начальной точке второго участка характеристики.

Затем определяем температуру насыщения [1], [2]:

$$t_H = \frac{D_k}{D_{k1}} (t_{k1} - t_{k0}) + t_{k0}, \quad (4)$$

где $D_{k1} = \frac{1}{2 - \Delta_0} D_k^{ном}$.

По значению температуры насыщения из формулы (4) определяем давление в конденсаторе при чистых трубах и текущем количестве присасываемого воздуха.

На рисунке 2 показана совместная характеристика конденсатора и эжектора с указанием разницы давлений.

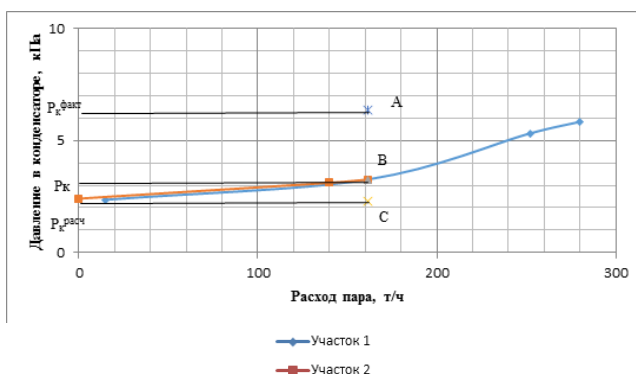


Рисунок 2 – Зависимость давления в конденсаторе от расхода пара при учете раздельного влияния присосов воздуха и загрязнений

На рисунке 2: точка С – расчетное значение давления в конденсаторе ($P_{к\text{ расч}}$); точка В – значение давления в конденсаторе ($P_{к}$) при влиянии воздуха; точка А – фактическое значение давления в конденсаторе ($P_{к\text{ факт}}$) [1], [2]. При расчете расчетного значения давления в конденсаторе не учитываются загрязнения поверхности теплообмена и влияние воздуха.

Далее определяем влияние присосов воздуха на потери давления пара и потери давления на загрязнение трубок поверхности теплообмена [1], [2] (5) в конденсаторе (6):

$$\Delta P_{загр} = P_{к}^{\phi} - P_{к} \quad (5)$$

$$\Delta P_{возд} = P_{к} - P_{к\text{ расч}} \quad (6)$$

На основе параметров – температуры и расхода циркулирующей воды, расхода пара в конденсатор и количества воздуха, удаляемого эжекторами – система определяет стандартное давление пара в конденсаторе и сравнивает его с фактическим.

Дискуссия

В Республике Казахстан на данный момент еще не разработаны и соответственно не применяются диагностические модели конденсатора. Поэтому первостепенной задачей является разработка математических моделей конденсатора. При разработке математической модели учитывались опыт других авторов, особенности эксплуатации оборудования, возможности при сборе информации и проведении экспериментов. Представленная модель для диагностики состояния конденсатора в зависимости от загрязнений и присосов воздуха на величину давления пара [1], [10] - [12] нашла широкое применение на ТЭС Российской Федерации.

Выводы

Рассмотрены методики расчета конденсатора ВТИ, ИТО США, КТЗ, УГТУ-УПИ. Проведен тепловой расчет конденсатора по данным методикам. В результате расчетов получено, что методики КТЗ и УГТУ-УПИ рекомендуется использовать при проведении интенсификации теплопередачи в конденсаторе. А методики ВТИ и ИТО (США) предпочтительнее использовать для составления математической модели конденсатора в целях диагностики состояния оборудования на станции.

Разработана модель для диагностики состояния конденсатора при влиянии загрязнений поверхности теплообмена и присосов воздуха на давление пара [1], [7] для станции АлЭС ТЭЦ-2. Данная методика позволяет эксплуатационному персоналу станции по значениям $\Delta P_{\text{загр}}$ и $\Delta P_{\text{возд}}$ принимать оперативные решения о проведении ремонтных работ на конденсаторе и эжекторе.

Математическую модель конденсатора можно использовать на производстве, при проведении энергетического аудита станции, в процессе подготовки специалистов-теплоэнергетиков при выполнении виртуальных лабораторных работ.

Список использованных источников

1 **Хаег, С. И.** Разработка и реализация элементов диагностического модуля для мониторинга состояния конденсационной установки паровой турбины. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Екатеринбург, 2004. – 147 с.

2 **Аронсон, К.Э.** Разработка и реализация системы мониторинга состояния теплообменных аппаратов паротурбинных установок в составе

информационных комплексов ТЭС. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Екатеринбург, 2008. – 416 с.

3 **Иглин, П.В.** Совершенствование системы эксплуатационного контроля конденсатора паротурбинной установки на основе уточнения методики расчета кислородосодержания конденсата. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Киров, 2016. – 172 с.

4 **Shempelev, A. G., Iglin, P.** Development of methods for calculating the aggressive gas content in condensate at the output from a steam turbine condenser // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7911010. – P. 1-5.

5 **Murmansky, V. E., Aronson, K. E., and Brodov, Yu. M.** Estimation of the Residual Life of Steam Turbine Condensers Based on Statistical Models // ISSN 0040-6015, Thermal Engineering, 2015. – Vol. 62. – No. 11. – P. 785–789.

6 **Шавдинова, М.Д.** Методики расчета конденсатора паровой турбины. Сборник статей XI Международной научно-технической конференции «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование», посвященной 45-летию образования Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева. Алматы, 2020. – С. 76 – 78.

7 **Шавдинова, М.Д.** Разработка математической модели конденсатора и способы повышения его эффективности. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции «GLOBAL SCIENCE AND INNOVATIONS 2019: CENTRAL ASIA». – Астана, 2019. – С. 98-100.

8 **Шавдинова, М.Д., Борисова, Н.Г.** Разработка математической модели пароструйного эжектора. Сборник статей XLIII Международной научно-практической конференции «WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS». Пенза, 2020. – С. 52–54.

9 **Аронсон, К.Э., Бродов, Ю.М., Хаев, С.И., Ниренштейн, М.А.** Разработка, апробация и реализация элементов комплексной системы мониторинга состояния оборудования паротурбинных установок. Тяжелое машиностроение. 2012 (2). – С. 61–68.

10 **Murmanskii, I.B., Aronson, K.E., Blinov, V.L., Zhelonkin, N. V. and Murmansky, V.E.** Digital diagnostic complex for power turbine units equipment // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 643 (2019). doi:10.1088/1757-899X/643/1/012109. – P. 1–8.

11 **Murmanskii, I., Aronson, K., Murmansky, B., Sosnovskii, A., Novosyolov, V. and Brodov, Y.** Features of steam turbines diagnostics // Web Conf. Volume 178, 2020. High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020. – doi: 10.1051/e3sconf/202017801059. – P. 1–6.

12 **K. E. Aronson, Yu. M. Brodov, and V. B. Novoselov.** Development of a System for Monitoring Technical State of the Equipment of a Cogeneration

References

1 **Khayet, S.I.** Razrabotka i realizatsiya elementov diagnosticheskogo modulya dlya monitoringa sostoyaniya kondensatsionnoy ustanovki parovoy turbiny. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Development and implementation of elements of a diagnostic module for monitoring the condition of a steam turbine condensing unit. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences] – Yekaterinburg, 2004. – p. 147.

2 **Aronson, K.E.** Razrabotka i realizatsiya sistemy monitoringa sostoyaniya teploobmennyykh apparatov paroturbinnyykh ustanovok v sostave informatsionnykh kompleksov TES. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. [Development and implementation of a system for monitoring the state of heat exchangers of steam turbine plants as part of information systems of TPPs. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences]. – Yekaterinburg, 2008. – P. 416.

3 **Iglin, P.V.** Sovershenstvovaniye sistemy ekspluatatsionnogo kontrolya kondensatora paroturbinnoy ustanovki na osnove utochneniya metodiki rascheta kislorodosoderzhaniya kondensata. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Improvement of the system of operational monitoring of the condenser of a steam turbine plant based on the refinement of the method for calculating the oxygen content of the condensate. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. – Kirov, 2016. – P. 172.

4 **Shempelev, A. G., Iglin, P.** Development of methods for calculating the aggressive gas content in condensate at the output from a steam turbine condenser // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7911010. – P. 1–5.

5 **Murmansky, B. E., Aronson, K. E., and Brodov, Yu. M.** Estimation of the Residual Life of Steam Turbine Condensers Based on Statistical Models // ISSN 0040-6015, Thermal Engineering, 2015. – Vol. 62. – No. 11. – P. 785–789.

6 **Shavdinova, M.D.** Metodiki rascheta kondensatora parovoy turbiny [Methods for calculating a steam turbine condenser]. Sbornik statey XI Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Energetika, infokommunikatsionnyye tekhnologii i vyssheye obrazovaniye», posvyashchennoy 45-letiyu obrazovaniya Almatinskogo universiteta energetiki i svyazi imeni Gumarbeka Daukeyeva [Collection of articles of the XI International Scientific and Technical Conference “Energy, infocommunication technologies and higher education” dedicated to the 45th anniversary of the formation of the Almaty

University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev].
Almaty, 2020. – P. 76–78.

7 **Shavdinova, M.D.** Razrabotka matematicheskoy modeli kondensatora i sposoby povysheniya yego effektivnosti [Development of a mathematical model of a capacitor and ways to improve its efficiency]. Sbornik materialov IV nauchno-prakticheskoy konferentsii «GLOBAL'NAYA NAUKA I INNOVATSII 2019: TSENTRAL'NAYA AZIYA» [Collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference “GLOBAL SCIENCE AND INNOVATIONS 2019: CENTRAL ASIA”]. – Astana, 2019. – P. 98–100.

8 **Shavdinova, M.D., Borissova, N.G.** Razrabotka matematicheskoy modeli parostruynogo ezhektora [Development of a mathematical model of a steam jet ejector]. Sbornik statey XLIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «MIROVAYA NAUKA: PROBLEMY I INNOVATSII» [Collection of articles of the XLIII International scientific and practical conference “WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS”]. – Penza, 2020. – P. 52–54.

9 **Aronson, K.E., Brodov, YU.M., Khayet, S.I., Nirenshteyn, M.A.** Razrabotka, aprobatsiya i realizatsiya elementov kompleksnoy sistemy monitoringa sostoyaniya oborudovaniya paroturbinnnykh ustanovok [Development, testing and implementation of elements of an integrated system for monitoring the state of equipment of steam turbine plants] // Heavy engineering. – 2012 (2). – P. 61–68.

10 **Murmanskii, I.B., Aronson, K.E., Blinov, V.L., Zhelonkin, N. V. and Murmanskyy, B.E.** Digital diagnostic complex for power turbine units equipment // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 643 (2019). – doi:10.1088/1757-899X/643/1/012109. – P. 1–8.

11 **Murmanskii, I., Aronson, K., Murmanskyy, B., Sosnovskii, A., Novosyolov, V. and Brodov, Y.** Features of steam turbines diagnostics // Web Conf. Volume 178, 2020. High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020. – doi: 10.1051/e3sconf/202017801059. – P. 1–6.

12 **K. E. Aronson, Yu. M. Brodov, and V. B. Novoselov.** Development of a System for Monitoring Technical State of the Equipment of a Cogeneration Steam Turbine Unit // ISSN 00406015, Thermal Engineering, 2012. – Vol. 59. – No. 12. – P. 944–947.

Материал поступил в редакцию 12.06.21.

**М. Д. Шавдинова, Н. Г. Борисова*

Гумарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика
және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Материал 12.06.21 баспаға түсті.

БУ ТУРБИНАСЫ КОНДЕНСАТОРЫН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕЛЕРІ

Жұмыста бу турбинасының конденсаторын есептеудің қолданыстағы әдістемелеріне талдау жүргізілді. Әрбір әдістеменің өзінің артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Демек, түтіктер мен ауа сорғыштары ластануының жекелеген әсерін есептеуді барлық әдістемелер бойынша жүргізе алмайсыз. БТИ, КТЗ, ОМТУ-ОПИ, ЖАИ (АҚШ) әдістемелері бойынша КГ2-6200 конденсаторына жылулық есептеу жүргізілді. Анықтамалық деректермен салыстырған кезде конденсатордың жылулық есептеу нәтижелері бойынша, ЖАИ (АҚШ) және БТИ әдістемелерінің анағұрлым аз дәлсіздіктері бар болғаны анықталды. КТЗ мен ОМТУ-ОПИ әдістемелерінде үдерістің бір параметрін өзгерткен кезде температураға байланысты судың және конденсат үлдірінің жылу-физикалық қасиеттерін үнемі дәлдеп отыру керек. Жылу берілімінің қарқындату тәсілдерін пайдаланып, математикалық үлгіні әзірлеген кезде КТЗ, ОМТУ-ОПИ әдістемелерін пайдалану ұсынылады. Конденсаторды диагностикалау үшін үлгі жасалған, ол ауа сорғыштарының және ластанулардың конденсатордағы қысым шамасына әсерін ескертеді. Есептеу, АлЭС ЖЭО-2-де орнатылған КГ2-6200 конденсаторы мен ЭПО-3-200 әжекторы үшін жүргізілген. Конденсатордың математикалық үлгісін өндірісте де, жылу энергетиктары-мамандарын даярлау барысында виртуалды зертханалық жұмыстарды орындағанда да пайдалануға болады.

Кілтті сөздер: конденсатор, жылу беру коэффициенті, математикалық үлгі, есептеу әдістемелері.

**M. D. Shavdinova, N. G. Borissova*

Almaty University of Power Engineering and Communications

named after Gumarbek Daukeev,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 12.06.21.

STEAM TURBINE CONDENSER CALCULATION METHODS

The paper analyses the existing calculation methods for steam turbine condenser. Every method has its advantages and disadvantages. Thus, not all of the methods may be used to calculate the separate effect of contamination of pipes and air inflows. Thermal design calculation for condenser KG2-6200 was made using the methods of ARTI, KTW, USTU-

UPI, HEI (USA). The condenser thermal design calculation showed that the methods of HEI (USA) and ARTI have the least error when compared to the reference data. In the methods of KTW and USTU-UPI, when one of the process parameters changes, it is required to constantly verify the values of thermophysical properties of water and condensate film depending on temperature. It is recommended to use the methods of KTW and USTU-UPI for the development of mathematical model using the heat transfer augmentation techniques. The condenser diagnostic model was created which takes account of the effect of air inflows and contaminations on the condenser steam pressure. The calculation was made for condenser KG2-6200 and ejector EPO-3-200 installed at the Almaty CHPP-2. The mathematical model of condenser can be used both in the production and in the training of heat power specialists when performing virtual laboratory work.

Keywords: condenser, heat transfer coefficient, mathematical model, calculation methods.

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

www.vestnik-energy.tou.edu.kz