

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

№ 4 (2021)

Павлодар

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Акаев А. М., Жумжуман Е. Ж.</i> Защита синхронного компенсатора от потери синхронизма	6
<i>Балабабеков Т. К., Сиргатаева Г. Е., Шәріп М. М., Қоңқыбаева А. Н., Хасан А. Қ.</i> Проблемы изучения факторов, влияющих на ветроэнергетические учреждения	11
<i>Азимбаев Ж. Р., Төлебай Н. Ж., Баубеков К. Т., Мергалимова А. К.</i> О некоторых аспектах утилизации птичьего помета	21
<i>Картджанов Н. Р., Жумагулов М. Г., Садыкова С. Б.</i> Аэродинамические потоки внутри модуля камеры сгорания газовых турбин	33
<i>Мельников В., Талипов О., Кибартене Ю., Исенов Е.</i> Изучение возможностей интеллектуальных и возобновляемых технологий для модернизации промышленных тепловых электростанций	44
<i>Никифоров А. С., Кинжибекова А. К., Приходько Е. В., Карманов А. Е.</i> Анализ условий эксплуатации, влияющих на остаточный ресурс обмуровки котельных агрегатов	57
<i>Новожилов А. Н., Садыкова А. К., Новожилов Т. А.</i> Измерение токов однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью косвенным методом	67
<i>Оспанова Н. Н., Даутова А. З., Аканова А. С., Бектурсын А. Ж.</i> Технологические подходы разработки и сопровождения мобильного приложения	75
<i>Сарсикеев Е. Ж., Кузнецова Н. С., Оразбекова А. К.</i> Влияние режима разряда, параметров генератора и свойств материала на трещинообразование и разрушение твердых сред	87
<i>Тереценко Н. А., Мирошник В. Ю., Холмов М. А., Никитин К. И., Коврижин Б. Н.</i> Диагностические устройства штырьевых изоляторов	98
<i>Хацевский В. Ф., Хацевский К. В., Руди Д. Ю.</i> Оценка применения ветроэнергетических установок на территории Омской области	112
Сведения об авторах	122
Правила для авторов	133
Публикационная этика	144

CONTENT

<i>Zhumzhuman E. Zh., Akaev A. M.</i> Protection of the synchronous compensator from loss of synchronism	6
<i>Balgabekov T. K., Sirgetayeva G. E., Sharip M. M., Kongkybayeva A. N., Khasan A. Q.</i> Problems of studying factors affecting wind power institutions	11
<i>Azimbayev Zh. R., Tolebai N. Zh., Baubekov K. T., Mergalimova A. K.</i> On the problem of disposal of bird droppings	21
<i>Kartjanov N. R., Zhumagulov M. G., Sadykova S. B.</i> Aerodynamic flows inside gas turbine combustion chamber module	33
<i>Melnikov V., Talipov O., Kibartene Yu., Isenov Ye.</i> Exploring the possibilities of smart and renewable technologies for the modernization of industrial heat power plants	44
<i>Nikiforov A. S., Kinzhibekova A. K., Prikhodko E. V., Karmanov A. E.</i> Analysis of operating conditions affecting the residual life of the boiler units	57
<i>Novozhilov N., Sadykova A. K., Novozhilov T. A.</i> Measurement of single-phase earth fault currents in networks with isolated neutral indirect method	67
<i>Ospanova N. N., Dautova A. Z., Akanova A. S., Bektursyn A. Zh.</i> Technological approaches to developing and supporting a mobile app	75
<i>Sarsikeev Y. Zh., Kuznetsova N. S., Orazbekova A. K.</i> Influence of discharge mode, generator parameters and material properties on cracking and destruction of solid media	87
<i>Tereshchenko N. A., Miroshnik V. Yu., Kholmov M. A., Nikitin K. I., Kovrizhin B. N.</i> Diagnostic device for pin insulators	98
<i>Khatsevskiy V. F., Khatsevskiy K. V., Rudi D. Y.</i> Assessment of the use of wind power plants in the Omsk region	112
Information about the authors	122
Rules for authors	133
Publication ethics	144

<https://doi.org/10.48081/DQZB7257>

***А. С. Никифоров¹, А. К. Кинжибекова²,
Е. В. Приходько³, А. Е. Карманов⁴**

^{1,2,3,4}Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ОБМУРОВКИ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

В статье производится анализ условий эксплуатации котельных агрегатов и оценка их влияния на их остаточный ресурс.

Обмуровка предназначена для уменьшения тепловых потерь и обеспечения газовой плотности. Она имеет свою продолжительность работы до ремонта или аварии. Этот срок определяется остаточным ресурсом, то есть суммарной наработкой агрегата от момента проведения контроля его технического состояния, до перехода в предельное состояние. Для оценки остаточного ресурса обмуровки котельного агрегата необходимо провести анализ условий эксплуатации, оказывающих влияние на разрушение обмуровки.

Проведённый анализ показывает, что среди всех эксплуатационных факторов для основных видов котлов можно выделить четыре основных условия, определяющие возможность разрушения обмуровки. К ним относятся: перепады температур по сечению обмуровки и температурные напряжения, вызванные этими перепадами, температура внутренней поверхности обмуровки, качество производимых обмуровочных работ и материалов, а также взрывы в топочной камере и газоходах котла.

На основании выполненного обследования котла ДКВР-20-13, работающего на газообразном топливе были определены факторы эксплуатации, влияющие на стойкость обмуровки, это: воздействие температурных напряжений на обмуровку и качество производимых обмуровочных работ и качество используемых материалов.

Ключевые слова: остаточный ресурс, обмуровка, условия эксплуатации, котельные агрегаты, надежность.

Введение

Обмуровка – это система огнеупорных и теплоизоляционных ограждений котельного агрегата, предназначенных для уменьшения тепловых потерь и обеспечения газовой плотности. Как и каждый элемент котла, обмуровка имеет свою продолжительность работы до ремонта или аварии. Этот срок определяется остаточным ресурсом, то есть суммарной наработкой агрегата от момента проведения контроля его технического состояния, до перехода в предельное состояние.

При эксплуатации оборудования различных отраслей производства определяется наиболее «слабое звено» (или несколько звеньев), которое, как правило, и определяет ресурс работы. При этом возможен выход из строя других элементов, который будет также приводить к останову оборудования.

Остаточный ресурс котельных агрегатов определяется, в большинстве случаев, наработкой на отказ труб поверхностей нагрева. Так, согласно [1, 2] повреждения котельного оборудования блоков 300 МВт происходят в основном по причине выхода из строя поверхностей нагрева – 79,2%; автоматики – 7,4%; арматуры – 4,9%; обмуровки – 0,3%, воздухоподогревателей – 0,1%.

Между тем, специфика работы ряда котлов предполагает более благоприятные условия работы труб поверхностей нагрева. В таких случаях усиливается важность отказов остальных элементов. В работе [3] показано, что эксплуатация судовых паровых котлов показывает, что разрушение обмуровочных поверхностей топок остается одной из самых распространенных причин аварий, которые сопровождаются, как правило, выходом котлов из строя и большими экономическими потерями, обусловленными простоем судна и ремонтом установки.

Как видно из приведённых данных – выход из строя обмуровки не является частой причиной для аварийного останова котельных агрегатов, но стоит отметить, что неудовлетворительное состояние обмуровки котлов может приводить не только к останову котлов по причине недопустимых параметров работы, но и к снижению энергоэффективности их работы при частичном разрушении обмуровки.

На рисунке 1 показана часть обмуровки парового котла, имеющая сквозные разрушения.



Рисунок 1 – Разрушение обмуровки котельного агрегата

При этом, согласно [4] котел немедленно останавливается и отключается: при взрыве в топке, взрыве или загорании горючих отложений в газоходах и золоулавливающей установке, разогреве докрасна несущих балок каркаса или колонн котла, при обвале обмуровки, а также других повреждениях, угрожающих персоналу или оборудованию. Таким образом, ресурс работы обмуровки является важным показателем при работе котельного агрегата, причём для ряда оборудования он является определяющим фактором при их работе.

Анализируя способы контроля толщины обмуровки, как важнейшего показателя остаточного ресурса, можно выделить способ замера температур на поверхности обмуровки. По данным значениям определяют потери котла в окружающую среду. Температуры на поверхности контролируются постоянно или периодически с помощью пирометров или тепловизоров. Использование тепловизоров даёт наглядную картину тепловых полей, которая отображается в режиме «on-line» и позволяет оценить тепловые потери [5, 6, 7]. Кроме этого, использование данных, полученных при замерах температуры на поверхности обмуровки позволяет оценить скрытые дефекты, возникшие в процессе эксплуатации, что позволяет оценить текущее состояние обмуровки. В работе [8] на основе тепловизионного обследования котельного агрегата KE-25-14 °С установили состояние и процент разрушения обмуровки, который равен 20%.

Приведённые примеры показывают, что на основании данных, полученных при диагностировании температур поверхности обмуровки,

возможно получение данных о действительном состоянии обмуровки, в частности о её толщине. Это важная информация для оценки остаточного ресурса, но для точного прогнозирования состояния обмуровки необходим учёт факторов, оказывающих на неё влияние. Таким образом, для оценки остаточного ресурса обмуровки котельного агрегата необходимо провести анализ условий эксплуатации, оказывающих влияние на разрушение обмуровки.

Материалы и методы

Для анализа условий эксплуатации, влияющих на остаточный ресурс обмуровки котельных агрегатов используются общие методы: измерение температурных полей обмуровки; фундаментальные положения теории теплопроводности; математики, определение коэффициента теплоотдачи и тепловых потерь.

Результаты и обсуждения

Рассмотрим условия эксплуатации, влияющие на остаточный ресурс котельных агрегатов. Первым условием, оказывающим наибольшее влияние на состояние обмуровки, является температура. В данном случае это условие имеет два аспекта.

Во-первых, это перепады температур по сечению обмуровки и температурные напряжения, вызванные этими перепадами. Температурные напряжения возникают при резких изменениях температур, как правило, в процессе разогрева и охлаждения агрегата. Эта ситуация возникает по причине отсутствия в графике разогрева (или охлаждения) зависимости скорости разогрева от температуры обмуровки, так как разогрев ведётся относительно температуры металла барабана котла; температуры вырабатываемого пара и др. Учёт данного условия при оценке остаточного ресурса возможен, при замерах температур обмуровки и вычислении температурных напряжений.

Во-вторых, это температура внутренней поверхности обмуровки. Согласно [4] повышение температуры в топке на 50–60 °С выше расчетной в течение часа способно привести к такому износу, который происходит при расчетных режимах обычно через 2–3 месяца. Повышение температуры на поверхности обмуровки может являться следствием ряда причин, среди которых наиболее часто имеют место: пролив мазута на поверхность обмуровки; смещение факела вследствие неправильной работы горелок; сгорание недогоревших частиц топлива вне зоны горения и др. Учёт данного условия при оценке остаточного ресурса также возможен за счёт анализа статистических данных по эксплуатации, количества и качественных характеристик повышения температуры [9].

Вторым условием, которое нужно учитывать для оценки остаточного ресурса, является разъедание обмуровки шлаками. Соединения Са,

Na, Mg, входящие в состав шлаков, при попадании шлака на кладку разъедают её, растворяя огнеупорный материал. Не для всех котельных агрегатов химическое воздействие шлаков является важным условием продолжительности работы обмуровки. Так, при жидком шлакоудалении и сжигании угля с легкоплавкой золой будут иметь место значительные зоны обмуровки (и не только в топочной камере) подвергающиеся воздействию расплавленного шлака. При сжигании же топлив с тугоплавкой золой, значительного разъедания огнеупоров шлаками не наблюдается.

Третьим условием необходим учёт качества производимых обмуровочных работ и материалов. Качество производимых обмуровочных работ можно повышать и доводить до нормируемого посредством контроля самих работ. Снижение качества поставляемых материалов можно учитывать при оценке остаточного ресурса по отклонению (снижению) прочности используемых огнеупорных материалов [10].

Четвёртым условием эксплуатации, влияющим на остаточный ресурс обмуровки можно считать взрывы в топочной камере и газоходах котла, которые могут привести не только к частичному разрушению обмуровки (снижению её толщины), но и к нарушению газовой плотности путём образования незначительных трещин. Этот фактор эксплуатации необходимо учитывать при зафиксированных взрывах в котлах посредством контроля тепловых полей на поверхности обмуровки и содержания кислорода на выходе дымовых газов из котла.

В качестве примера анализа условий эксплуатации приведём пример обследования котла ДКВР-20-13. Тепловизионное обследование поверхности обмуровки котла показало значительные превышения расчётных температур, которые в ряде случаев доходили до 219 °С (рисунок 2).

Анализируя тепловизионные снимки, можно сказать, что имеет место разрушение обмуровки котла в первую очередь в топочной камере. Средняя температура на поверхности обмуровки около 75 °С. Характер разрушения равномерный за исключением стыков, которые можно охарактеризовать как нарушение газоплотности обмуровки вследствие отсутствия температурных швов.

Переходной газоход из топки в конвективную часть выполнен из металла, покрытого обмазкой, поэтому разрушений обмуровки в нём не наблюдается. Состояние же обмуровки конвективного газохода – удовлетворительное, что обосновывается более низким уровнем температур газов и говорит о значительном влиянии температуры, как условия эксплуатации, на остаточный ресурс обмуровки.

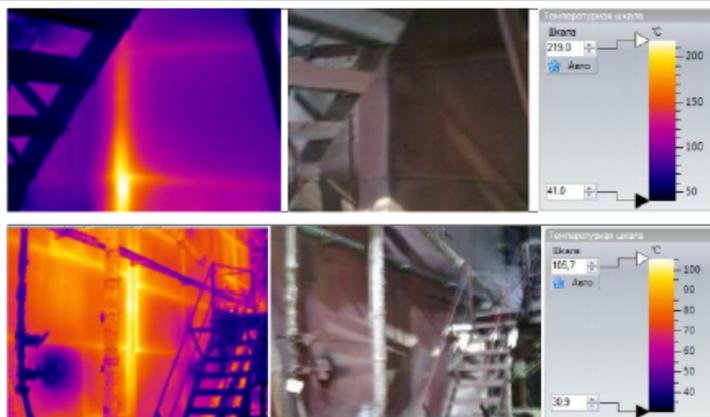


Рисунок 2 – Тепловизионные снимки поверхности нагрева котла

Рассмотрим условия эксплуатации, влияющие на остаточный ресурс обмуровки. Самое важное значение, в данном случае, имеет температурное воздействие на обмуровку, возникающее вследствие перепадов температур. Локального повышения температуры не наблюдается, доказательством чего служит равномерный износ огнеупоров.

Разъедание обмуровки шлаками отсутствует вследствие сжигания газообразного топлива. Влияние продуктов горения при сжигании мазута (резервного топлива) не обнаружено.

Качество производимых обмурочных работ и качество используемых материалов необходимо учитывать для оценки остаточного ресурса. Температурные швы, несоответствующие огнеупорным материалам и условиям его применения привели к нарушению газоплотности, выявленной при тепловизионном обследовании. Кроме этого, замеры прочности применяемых огнеупорных материалов показали меньшее значение предела прочности на сжатие до 2 % относительно паспортной.

Согласно журналам эксплуатации, за период, прошедший с момента последнего ремонта обмуровки, взрывов в котле не было зафиксировано, таким образом этот фактор эксплуатации не повлиял на остаточный ресурс.

Выводы

Проведённый анализ показал, что имеется ряд условий эксплуатации котельных агрегатов, учёт которых возможен при оценке остаточного ресурса обмуровки. Важнейшим фактором для большинства котлов являются

температурные воздействия. Для котлоагрегата ДКВР-20-13, работающем на газообразном топливе, такими факторами эксплуатации являются:

- воздействие температурных напряжений на обмуровку;
- качество производимых обмурочных работ и качество используемых материалов.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09561854).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Беляев, С. А., Литвак, В. В., Солод, С. С.** Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск : Изд-во НТЛ, 2008. – 218 с.
- 2 **Хаванов, П. А.** Водогрейные котлоагрегаты малой мощности. Теплотехнические особенности применения АВОК. – 2011. – № 5. – С. 66–76.
- 3 **Петров, А. И.** Оценка причин повреждений обмуровок в топках судовых паровых котлов // Вестник МГТУ. – 2015. – Том 18. – № 1. – С. 17–19.
- 4 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Утверждены постановлением Правительства Республики Казахстан от 24 октября 2012 года № 1352.
- 5 **Тюлюканов, В. Д.** Тепловизионная съемка как инструмент оценки энергосберегающего потенциала // Энергосовет. – 2009. – № 3. – С. 14–17.
- 6 **Мурин, Г. А.** Теплотехнические измерения : учебник для техникумов. – изд. 5-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1979. – 424 с.
- 7 **Никифоров, А. С., Приходько, Е. В., Карманов, А. Е.** Физическое моделирование процесса разогрева футеровок высокотемпературных агрегатов // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. – 2012. – № 9–10. С. 88–89.
- 8 Исследование эффективности работы котельного агрегата в зависимости от состояния обмуровки / Е. Н. Мясоедова, И. Н. Коротешкий, О. А. Степанова [и др.] // Молодой ученый. – 2014. – № 6 (65). – С. 203–207.
- 9 **Никифоров, А. С., Приходько, Е. В., Карманов, А. Е., Кинжибекова, А. К.** Модернизация обмуровки водогрейных котлов малой мощности с целью снижения тепловых потерь // Вестник ПГУ, 2013. – № 2. – С. 89–92.
- 10 **Приходько, Е. В., Кинжибекова, А. К.** Разработка комплекса мер по увеличению тепловой эффективности и экономичности высокотемпературных установок. – Энергетика, 2010 – № 1. – С. 14–16.

REFERENCES

- 1 Belyaev, S. A., Litvak, V. V., Solod, S. S. Nadejnost teploenergeticheskogo oborudovaniya TES [Reliability of thermal power equipment of thermal power plants]. – Tomsk : Izd-vo NTL. – 2008. – 218 p.
- 2 Havanov, P. A. Vodogrejnnye kotloagregaty maloj moshchnosti. Teplotekhnicheskie osobennosti primeneniya AVOK. – 2011. – № 5. – P. 66–76.
- 3 Petrov, A. I. Ocenka prichin povrezhdenii obmurovok v topkakh sudovih parovih kotlov [Assessment of the causes of damage to lining in the furnaces of ship steam boilers] // Vestnik MGTU. – 2015. – Tom 18. – № 1. – P. 17–19.
- 4 Pravila tehnicheckoi ekspluatatsii elektricheskikh stancii i setei [Rules for the technical operation of power plants and networks]. Utverjdeni postanovleniem Pravitelstva Respubliki Kazahstan ot 24 oktyabrya 2012 goda № 1352.
- 5 Tyulyukanov, V. D. Teplovizionnaya semka kak instrument ocenki energosberegayuschego potentsiala [Thermal imaging as a tool for assessing energy-saving potential] // Energosovet. – 2009. – № 3. – P. 14–17.
- 6 Murin, G. A. Teplotekhnicheskie izmereniya: uchebnik dlya tekhnikumov [Thermal measurements: a textbook for technical schools]. – izd. 5-e, pererab. i dop. – Moscow : Energiya, 1979. – 424 p.
- 7 Nikiforov, A. S., Prihod'ko, E. V., Karmanov, A. E. Fizicheskoe modelirovanie processa razogreva futerovok vysokotemperaturnyh agregatov [Physical modeling of the process of heating the lining of high-temperature units] // Energetika i toplivnye resursy Kazahstana. – 2012. – № 9–10. – P. 88–89.
- 8 Issledovanie effektivnosti raboti kotelnogo agregata v zavisimosti ot sostoyaniya obmurovki [Study of the efficiency of the boiler unit depending on the state of the lining] / E. N. Myasoedova, I. N. Koroteckii, O. A. Stepanova, i dr. // Molodoi uchenii. – 2014. – № 6 (65). – P. 203–207.
- 9 Nikiforov, A. S., Prihod'ko, E. V., Karmanov, A. E., Kinzhibekova, A. K. Modernizatsiya obmurovki vodogrejnnyh kotlov maloj moshchnosti s cel'yu snizheniya teplovyh poter' [Modernization of the lining of low-power hot water boilers in order to reduce heat losses] // Vestnik PGU, 2013. – № 2. – P. 89–92.
- 10 Prihod'ko, E. V., Kinzhibekova, A. K. Razrabotka kompleksa mer po uvelicheniyu teplovoj effektivnosti i ekonomichnosti vysokotemperaturnyh ustanovok [Development of a set of measures to increase the thermal efficiency and economy of high-temperature installations]. – Energetika, 2010 – № 1. – P. 14–16.

Материал поступил в редакцию 28.11.21.

*А. С. Никифоров¹, А. К. Кинжибекова², Е. В. Приходько³, А. Е. Карманов⁴
^{1,2,3,4}Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 28.11.21 баспаға түсті.

**ҚАЗАНДЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫНЫҢ ҚАЛДЫҚ ӨМІРІНЕ
ӘСЕР ЕТЕТІН ЖҰМЫС ЖАҒДАЙЛАРЫН ТАЛДАУ**

Мақалада қазандық қондырғыларының жұмыс жағдайлары талданады және олардың қалдық мерзіміне әсері бағаланады.

Қаптама жылу шығынын азайтуға және газдың тығыздығын қамтамасыз етуге арналған. Оның жөндеу немесе апатқа дейін өзіндік ұзақтығы бар. Бұл кезең қалдық ресурспен анықталады, яғни қондырғының техникалық күйін бақылау сәтінен бастап шекті күйге көшіруге дейінгі жалпы жұмыс уақыты. Қазандық қондырғысының қаптамасының қалдық қызмет мерзімін бағалау үшін қаптаманың бұзылуына әсер ететін жұмыс жағдайын талдау қажет.

Талдау көрсеткендей, қазандықтардың негізгі түрлеріне арналған барлық жұмыс факторларының ішінде төсеніштің бұзылу мүмкіндігін анықтайтын төрт негізгі шартты бөлуге болады. Оларға: қаптаманың көлденең қимасындағы температуралық айырмашылықтар мен осы өзгерістер әсерінен туындайтын температуралық кернеулер, қаптаманың ішкі бетінің температурасы, қаптау жұмыстары мен орындалатын материалдардың сапасы, сонымен қатар жану камерасы мен қазандық газ құбырларындағы жарылыстар жатады.

Газ тәрізді отынмен жұмыс істейтін DKVR-20-13 қазандығын зерттеу негізінде қаптаманың төзімділігіне әсер ететін жұмыс факторлары анықталды: температуралық кернеулердің қаптамаға әсері және қаптау жұмыстарының сапасы мен материалдардың сапасы қолданылған.

Кілтті сөздер: қалдық мерзімі, қаптама, пайдалану шарттары, қазандық қондырғылары, сенімділік.