

УДК 621.311.22

**А.В. ЕФИМОВ**, д-р техн. наук; проф. НТУ «ХПИ»;  
**В.Л. КАВЕРЦЕВ**, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХПИ»;  
**И.Е. РЫЖЕНКО**, зав. котельным отделом ХЦКБ «Энергопрогресс», Харьков;  
**Т.А. ГАРКУША**, н.с. НТУ «ХПИ»;  
**Е.А. ЧЕРНЯК**, магистрант НТУ «ХПИ»

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ ПЫЛЕ-УГОЛЬНЫХ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ НА УКРАИНСКИХ УГЛЯХ, И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ТЕХПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ГАЗОПЛОТНЫХ ТОПОК И ДРУГИХ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ**

Рассмотрены вопросы, связанные с проблемами эксплуатации энергоблоков, с котлами высокого давления паропроизводительностью от 160 до 670 т/ч, работающих на антраците ухудшенного качества. Предложены варианты технических решений с целью повышения надежности, долговечности и экономической эффективности работы этих энергоблоков.

**Ключевые слова:** техническое перевооружение, котлы высокого давления, антрацит ухудшенного качества, топки в газоплотном исполнении, надежность, долговечность, экономическая эффективность.

**Введение.** В настоящее время в энергетической системе Украины находятся в эксплуатации энергетические блоки с котлами высокого давления паропроизводительностью от 160 до 670 т/ч, которые длительное время (более 30 лет) находились практически в непрерывной эксплуатации. Нарботка многих из них составляет порядка 200000 тыс. часов. Низкие эксплуатационные характеристики котлов обусловлены значительным физическим и моральным износом. Физический износ и нерегулярное ремонтное обслуживание оборудования привело к частичной потере их проектных показателей экономичности, маневренности, производительности и снизило, таким образом, надежность энергоблоков в целом. Необходимо отметить, что все вышеперечисленные котлы выполнены по П-образной схеме с естественной циркуляцией.

**Анализ публикаций.** На многих энергоблоках обследование турбин и вспомогательного оборудования турбоустановок показало, что турбинное оборудование имеет значительные резервы по отпуску электрической и тепловой энергий, в связи с чем экономически обоснованным является подключение ТЭС и ТЭЦ к тепловым потребителям в отопительный период или потребителям горячего водоснабжения в период пиков [1].

Котельное же оборудование находится в значительно худшем состоянии [2]. В частности, обследование и анализ работы котельного оборудования на электростанциях показал, что фактически все основные его показатели работы не только не удовлетворяют современным требованиям, но и не соответствуют проектным значениям. Низкие эксплуатационные характеристики котлов обусловлены не только значительным физическим и моральным износами, а, в значительно большей степени, и работой на непроектном угольном топливе – антраците ухудшенного качества. Экономичность (КПД) таких пылеугольных котлов составляет всего лишь (75–80) % при проектном значении (91–92) %. Фактически на антраците они неработоспособны и поддерживать их работу можно только благодаря большой доли газовой или мазутной подсветки (20–25 % по теплоте). В целом, коэффициент их готовности в составе

---

© А.В. Ефимов, В.Л. Каверцев, И.Е. Рыженко, Т.А. Гаркуша, Е.А. Черняк, 2013

электростанции при работе на угле не превышает 50 % из-за низкой надежности работы поверхностей нагрева котлов. Из элементов котельного оборудования наиболее часты нарушения работы экранов и пароперегревателей, обусловленные исчерпанием ресурса работы труб и конструктивным несовершенством некоторых элементов поверхностей нагрева [3].

**Постановка задачи исследования.** Эксплуатация таких котельных агрегатов на антраците ухудшенного качества резко снижает их основные показатели. Так, в частности, котлы не могут нести номинальную нагрузку даже при большой подсветке; потеря теплоты от механического недожога угля может колебаться в пределах (10–15) % относительно всей подведенной теплоты или (13–19) % относительно только угля; из-за неустойчивости горения угля и вывода шлака котлы имеют низкую маневренность (75–80 % от номинальной мощности), причем при снижении нагрузки доля природного газа, используемого для подсветки, возрастает, а с учетом его высокой стоимости, эксплуатация такого оборудования крайне неэффективна. На многих энергоблоках свободный объем действующего золоотвала соответствует одному году работы ТЭС при таком режиме потребления угля.

На многих электростанциях также нарушена основная технология процесса сжигания топлива в котлах: из-за больших присосов воздуха в топку и пылесистему избыток воздуха в горелках значительно ниже расчетного, что нарушает аэродинамику факела и, в общем итоге, задерживает процессы воспламенения и горения угля, способствует сепарации угольной пыли на под котла и ухудшает выход шлака; отсутствует надежный зажигательный пояс, что снижает температуру в зоне активного горения. Разрушение зажигательного пояса обусловлено работой котла на газе, отсутствием жесткости экранов и нарушением технологии нанесения торкрета; сброс из пылесистемы в зону активного горения большого количества запыленного холодного воздуха из-за высоких присосов в мельницы существенным образом захламляет факел и дестабилизирует топочные процессы. Затягивание процессов воспламенения и горения угля приводит к росту температуры на выходе из топки со всеми вытекающими последствиями по шлакованию поверхностей нагрева, в том числе и топки, ухудшению вывода шлака и выжигу топлива. Компенсируются эти отрицательные процессы, как правило, сжиганием большого количества «подсветочного» природного газа. Однако, хотя большая подсветка дает возможность поддерживать достаточно устойчивую работу котлов в узком диапазоне нагрузок, она не решает проблемы экономичности. Следует отметить также низкую надежность работы прямооточных горелок.

Известно, что повышение экономичности котла можно обеспечить посредством уплотнения, то есть посредством снижения потерь теплоты с уходящими газами. В то же время, недостаточный уровень газоплотности пылесистем на многих энергоблоках оказывает отрицательное влияние на топочный процесс. Основными источниками присосов холодного воздуха являются уплотнения мельниц, питателей сырого угля, пылевых мигалок и другого оборудования. Основную массу присосов можно устранить посредством качественного ремонта и обслуживания уплотнений. Исключением являются уплотнения мельниц, которые изначально имеют конструктивное несовершенство и требуют модернизации.

На многих энергоблоках имеются также существенные проблемы в системе золоудаления. Как уже отмечалось, недостаточная емкость золоотвала ограничивает возможность более широкого использования дешевого твердого топлива.

Следует также обратить внимание на вопросы экологии, особенно в части выбросов золы, так как эффективность существующих систем золоочистки на ряде энергоблоков не превышает (90–92) %.

Очевидным является острая необходимость принятия новых технических решений с целью восстановления работы устаревших энергоблоков для работы в проектных режимах. Есть два направления решения этих задач. Первое это полный демонтаж котельных установок, и сооружение новых, что по объему работ не будет соответствовать установленным срокам проведения капитального ремонта. Второе это техническое перевооружение существующих котельных установок с применением новых инновационных решений, что тоже не укладывается в период проведения капитального ремонта, однако будет менее затратным и значительно снизит время простоя блока в период реконструкции [4].

Таким образом, главной целью технического перевооружения устаревших котельных агрегатов энергоблоков ТЭС и ТЭЦ является повышение их надежности и экономичности, восстановление производительности, повышение маневренности, продление ресурса на 10–15 лет и более. В качестве основного топлива будет использоваться антрацит украинских месторождений, а в качестве резервного и растопочного – природный газ. При этом долю «подсветочного» топлива (природного газа) необходимо снизить до минимума – не более 5 %.

**Основная часть.** В качестве основных инновационных решений в условиях малозатратного техперевооружения котлоагрегатов при сохранении существующей факельной технологии сжигания топлива предлагаются следующие: нижняя часть топки (или вся топка) выполняется газоплотной; амбразуры пылеугольных горелок выполняются водоохлаждаемыми; модернизация мельниц осуществляется путем установки графитовых уплотнений. Газоплотность обеспечивается за счет установки экранных ограждений из газоплотных панелей. Газоплотность зоны активного горения обеспечивает управляемость работы топки и поддержку сбалансированного режима в этой зоне, что положительно сказывается на выжиге топлива и выводе шлака из-за возможности поддержания более высокой температуры в зоне горения. В районе газоплотности желательнее обустроить пояса жесткости по всей высоте, которые должны воспринимать нагрузки от повышения внутреннего давления (не менее чем 3 кПа) при возникновении «хлопка» в топке. При полной газоплотности топки целесообразно устанавливать специальные уплотнения на границе перехода газоплотной и негазоплотной частей котла. Газоплотные панели обеспечивают стойкость торкретной массы и ошиповки, что также будет способствовать активизации процессов горения. Обмуровку целесообразно выполнять облегченной из базальтового стекловолокна [5].

На сегодня в котельных агрегатах ТЭС и ТЭЦ, которые оснащены прямоточными пылегазовыми горелками, необходимо их демонтировать, поскольку, использование горелок данного типа для сжигания антрацитов технологически необоснованно, так как они не обеспечивают качественного сжигания низкорекреационных углей. В наибольшей степени условиям сжигания антрацитов отвечают вихревые горелки, которые обладают высокими стабилизирующими свойствами с точки зрения процессов воспламенения и горения топлива. Однако, замена горелок связана со значительными затратами, так как в этом случае требуется реконструкция воздухопроводов, газопроводов и многих других элементов системы подачи угольной пыли (питателей пыли, пылепроводов, смесителей пыли и т.д.). Требуется также другая разводка экранов под вихревые горелки и их конструктивное

соответствие каркасу котла. Учитывая большой объем реконструкции (техперевооружения) котлов, возможным является разделение этих работ на два этапа. На первом этапе реконструкции котлов предлагается сохранить существующие прямооточные горелки, но повысить их надежность и долговечность, например, за счет замены жаростойких насадок на водоохлаждаемые. Положительный опыт такого технического решения имеется на Черниговской ТЭЦ (горелки модернизованы на двух котлах БКЗ-220) и на Краматорской ТЭЦ (горелки модернизованы на двух котлах БКЗ-160). В наибольшей степени рационально в качестве охлаждающей жидкости использовать питательную воду котлов. При надежном охлаждении насадок их ресурс работы может составить порядка 10–15 лет. Кроме долговечности охлаждаемые горелки способствуют также стабилизации аэродинамики топки в целом, что повышает эффективность сжигания топлива. Возможен вариант выполнения охлаждаемых амбразур горелок на основе разводки экранных труб (при газоплотном исполнении топки).

Для удаления из шлакоудалителя образовавшегося в процессе гашения шлака пара и отсоса из топки через летку небольшого количества высокотемпературных газов эффективно может быть использована система отсоса выпара. Удаление влаги защищает летку от захлаживания, а зону активного горения угля – от попадания в нее балласта. Отсос газов обеспечивает прогрев летки и, следовательно, нормальную эвакуацию шлаков. Максимальная температура смеси составляет при этом около 900 °С, что является основанием для выбора обмуровки и изоляции. После подачи холодного воздуха, температура газов может снизиться до 290 °С. При возникновении нарушений в работе системы возможно дальнейшее повышение температуры до 350 °С. Скорость газов в каналах отсоса принимается по условию оседания пыли. Эксплуатацию системы в таком режиме следует отработать в процессе пусконаладочных работ. Трубопровод отсоса газов целесообразно конструктивно выполнять в виде тонкостенного канала. В области высоких температур (700–1800 °С) трубопровод изнутри необходимо изолировать жаропрочным обмуровочным материалом и по условиям монтажа выполнять его из отдельных участков.

Одним из главных источников присосов холодного воздуха являются горловины мельниц, на долю которых приходится до 70 % всех присосов. Герметичность шаровых барабанных мельниц зависит от типа и состояния уплотнения места соединения горловины цапфы барабана и патрубков. Обычно применяют радиальные или торцевые уплотнения на базе войлока или асбеста. Целью реконструкции торцевых уплотнений мельницы является снижение присосов холодного воздуха в пылесистему, а, следовательно, и повышение ее сушильной производительности, увеличение надежности и долговечности уплотнений, упрощение обслуживания. Основная особенность предлагаемой конструкции уплотнений состоит в использовании графитовых уплотнений взамен существующих войлочных. Опытная апробация разработанных уплотнений уже проведена на трех мельницах блока № 8 Змиевской ТЭС и на блоках № 6 и № 7 Краматорской ТЭЦ. После 10–12 тысяч часов работы было установлено, что уплотнения обеспечивают снижение присосов в мельницу на 5 % (абсолютных), они стабильны с точки зрения обеспечения газоплотности, не требуют особого обслуживания и долговечны (износ графита за период проверки незначительный – 3–5 мм). Снижение присосов в мельнице способствует интенсификации топочных процессов за счет снижения сброса в зону активного горения холодного воздуха.

Реализация предложенных инновационных мероприятий должна сопровождаться ресурсными заменами поверхностей нагрева после проведения их дефектации, уплотнениями пылесистемы и конвективной шахты, заменами изношенных узлов котельной установки.

**Результаты исследования.** Результаты расчетных исследований по экономической эффективности трех вариантов техперевооружения энергоблоков с установленной мощностью 200 МВт представлены на рисунке.

В первом варианте предполагается полное проведение ремонтных работ энергоблока в целом (котельная и турбинная установки, основное оборудование, трубопроводы и арматура) с заменой отработавших свой ресурс элементов и оборудования с целью продления ресурса энергоблока. Из диаграммы видно, что этот вариант капитального ремонта не приводит к экономическому эффекту. Провалы в кривой диаграммы для первого варианта (а также в кривых для остальных двух вариантов) соответствуют периоду проведения ремонтных работ. Нижние точки этих провалов соответствуют началу пуска блока после выведения его из ремонта.

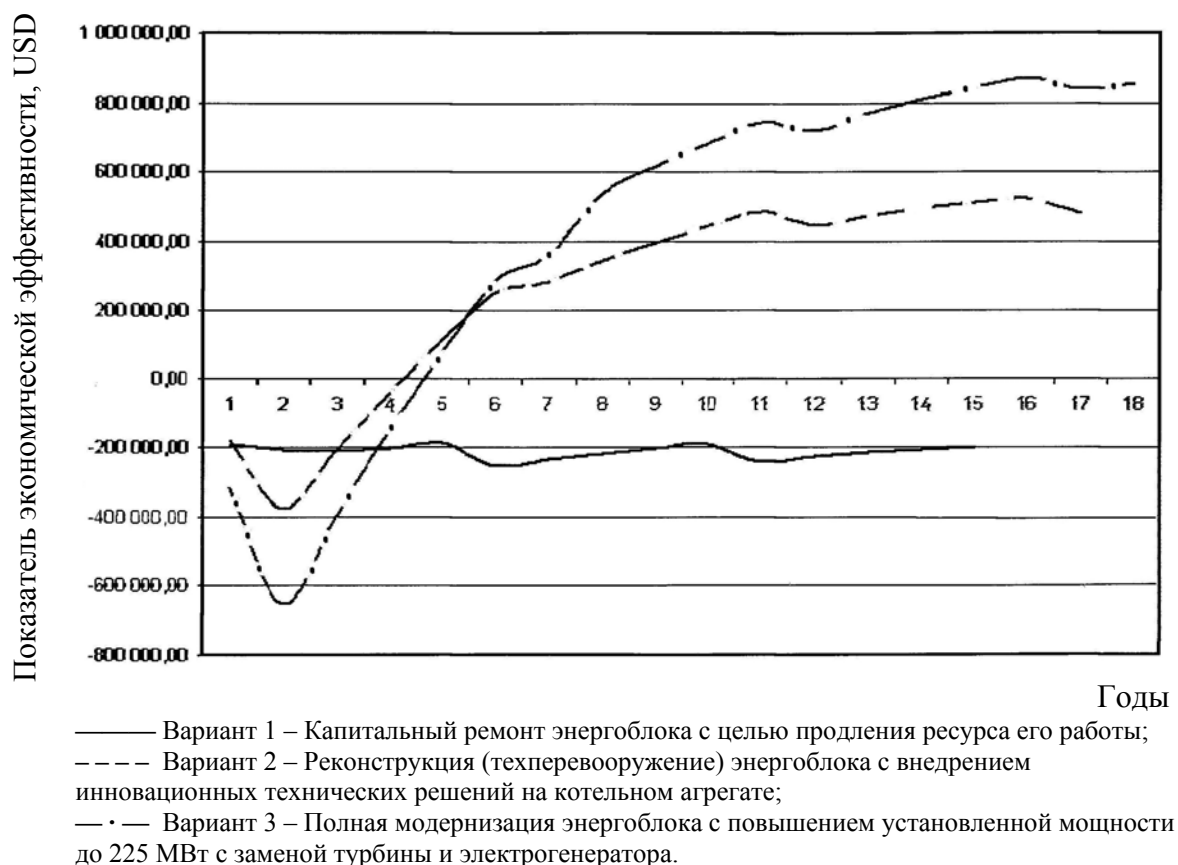


Рис. Сравнительная эффективность трех вариантов техперевооружения энергоблоков с установленной мощностью 200 МВт

*Второй вариант* соответствует внедрению вышеперечисленных инновационных решений на котельном агрегате. Для турбинной установки в этом варианте предполагается осуществление только замены отработавшего свой ресурс оборудования – восстановление работоспособности энергоблока.

В *третьем варианте* предлагается внедрение инновационных решений и на котельном агрегате, и на турбинной установке. Причем при выполнении техперевооружений турбинных установок установленная мощность энергоблока повышается до 225 МВт [1].

**Выводы.** Результаты проведенных исследований показали, что внедрение предложенных технических мероприятий по перевооружению котельных агрегатов на ТЭС и ТЭЦ Украины позволит: продлить срок эксплуатации котлов на 15–20 лет; повысить экономичность с повышением КПД котлов с (75–80) % до 85 % на антрацитах с калорийностью не менее 5000 ккал/кг; снизить расход «подсветочного» топлива с (20–25) % до (4–6) %; повысить маневренность котлов; сократить ремонтные затраты за счет обновления оборудования и улучшения его эксплуатационных характеристик; снизить содержание горючих в уносе золы до (15–17) %.

**Список литературы:** 1. *Мамонтов, Н.И.* Определение остаточного ресурса и продление срока службы турбоагрегата К-200-130 ст. №9 Луганской ТЭС [Текст] / Н.И. Мамонтов, Т.Н. Пугачева // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – № 6. – С. 140-147. – ISSN 2078-774X. 2. *Мамонтов, Н.И.* Некоторые проблемы реконструкции и модернизации паровых турбин тепловых электростанций Украины [Текст] / Н.И. Мамонтов, Т.Н. Пугачева // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – № 6. – С. 152-161. – ISSN 2078-774X. 3. *Белов, А.А.* Модели оценки теплотехнической надежности поверхностей нагрева котельных агрегатов в стационарном режиме [Текст] / А.А. Белов // Теплоэнергетика. – 2007. – № 9. – С. 17-22. 4. *Двойнишников, В.А.* Влияние начальных условий на воспламенение и выгорание пыли антрацитового штыба при сжигании ее с природным газом [Текст] / В.А. Двойнишников, В.П. Князьков, И.А. Гамазков, А.Н. Безгрешнов, Н.В. Усиков, В.И. Якшов // Теплоэнергетика. – 2006. – № 6. – С. 18-22. 5. *Загруднинов, Р.Ш.* Опыт модернизации устаревшего котельного оборудования с целью повышения их единичной мощности и улучшения технико-экономических и экологических характеристик [Текст] / Р.Ш. Загруднинов, А.Н. Нагорнов, Н.А. Нагорнов, С.Н. Шитова // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. – Самара, 2011. – Т. 13, № 1–2. – С. 446-451. – ISSN 1990-5378.

*Поступила в редколлегию 10.01.13*

УДК 621.311.22

**Характеристики работы пыле-угольных котлов высокого давления, работающих на украинских углях, и перспективы их техперевооружения путем установки газоплотных топок и других инновационных решений** [Текст] / А.В. Ефимов, В.Л. Каверцев, И.Е. Рыженко, Т.А. Гаркуша, Е.А. Черняк // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПИ», 2013. – № 14(988). – С. 96-101. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2078-774X.

Розглянуто питання, що пов'язані з проблемами експлуатації енергоблоків з котлами високого тиску паропродуктивністю від 160 до 670 т/год, які працюють на антрациті погіршеної якості. Запропоновано варіанти технічних рішень з метою підвищення надійності, довговічності та економічної ефективності роботи цих енергоблоків.

**Ключові слова:** технічне переозброєння, котли високого тиску, антрацит погіршеної якості, топки в газозільному виконанні, надійність, довговічність, економічна ефективність.

The issues related to the problems of operating units, with high-pressure boilers steam output of 160 to 670 t/h, working in anthracite deterioration. The variants of the technical solutions to improve the reliability, durability and cost-effectiveness of these units.

**Keywords:** Modernization, high-pressure boilers, anthracite lower quality furnace in gas-tight performance, reliability, durability and cost-effectiveness.