

УДК 620.9

АЛГОРИТМ РАЗРАБОТКИ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ МАЗУТНЫХ ХОЗЯЙСТВ ТЭС И КРУПНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Шамсутдинов Э.В., ведущий научный сотрудник

Исследовательский центр проблем энергетики Учреждения Российской академии наук Казанского научного центра РАН, Казань, Россия, e-mail: eshamsutd.kazan@mail.ru

Разработанный алгоритм расчета и оценки эффективности использования энергосберегающих мероприятий для теплотехнологических схем мазутных хозяйств позволяет определить материальные и энергетические затраты на хранение и подготовку мазута к сжиганию в котлах по отдельным блокам систем и выявить участки с наибольшими потерями, подлежащие первоочередной модернизации.

Ключевые слова: теплообмен, мазутные хозяйства, хранение, энергосбережение.

Шифр основной специальности: 01.04.14 (технические науки)

ALGORITHM OF WORKING OUT AND ESTIMATION OF EFFICIENCY OF USE OF POWER SAVING UP ACTIONS FOR BLACK OIL ECONOMY OF POWER STATIONS AND LARGE BOILER-HOUSES

Shamsutdinov E.V.

The research center of power engineering problems of institution the Russian academy of sciences the Kazan scientific centre RAS, Kazan, Russia, e-mail: eshamsutd.kazan@mail.ru

The developed algorithm of calculation and estimation of efficiency of use of power saving up actions for warmly technological schemes of black oil economy allows to define material and power expenses for storage and preparation of black oil for burning in coppers on separate blocks of systems and to reveal sites with the greatest losses, subjects of prime modernisation.

Key words: heat exchange, black oil economy, storage, the power savings.

Введение

В настоящее время жидкое органическое топливо – мазут – продолжает широко применяться на тепловых электростанциях и промышленных котельных. Полностью или частично мазут используется более чем на 200 крупных тепловых электростанциях Российской Федерации, кроме того, в качестве основного или резервного топлива сжигается на сотнях котельных, обеспечивающих теплом промышленные предприятия, жилые районы, предприятия агропромышленного комплекса [1]. Основной проблемой при эксплуатации мазутных хозяйств остаются значительные затраты энергии на подогрев при хранении мазута и подготовке его к сжиганию. Эксплуатационные затраты на содержание мазутного хозяйства наибольшие по сравнению с газом и углем и составляют более 9 % от нагрузки котла [2]. Поэтому необходимо более детально рассмотреть потенциал энергосбережения мазутных хозяйств, как крупных тепловых электростанций, так и небольших промышленных и коммунальных котельных. Согласно Энергетической стратегии РФ до 2030 года нереализованный потенциал организационного и технологического энергосбережения на момент ее разработки составил 40 % общего объема внутреннего энергопотребления, удельный вес электроэнергетики оценивается как 13-15 %. Часть этого потенциала вполне может быть покрыта за счет эксплуатации мазутных хозяйств. Мазутные хозяйства ТЭС и котельных имеют типовую структуру и включают стадии приема и слива мазута, хранения в резервуарах, подогрева, фильтрации и подачи к горелкам котла [3]. Разнообразие реализуемых процессов требует комплексного подхода к оценке эффективности существующих технологических схем и особенно предлагаемых вариантов модернизации или расширения. Тем более это актуально при реформировании энергетической отрасли и

необходимости привлечения инвесторов для финансирования модернизационных мероприятий. Таким образом, целью настоящих исследований является разработка алгоритма расчета и оценки эффективности использования мероприятий по энергосбережению для мазутных хозяйств ТЭС и крупных котельных.

Алгоритм расчета и оценки

На рисунке 1 представлен разработанный алгоритм, состоящий из 11 укрупненных блоков, каждый из которых в свою очередь делится на ряд подблоков и предполагает проведение комплекса исследований при выборе метода и способа реализации энергосберегающих мероприятий для мазутных хозяйств ТЭС и крупных котельных с предварительной оценкой эффективности энергоиспользования в них.

В качестве исходных данных для проведения тепловых, гидравлических и термодинамических расчетов теплотехнологических схем мазутных хозяйств ТЭС используются следующие характеристики:

1. Тип и количество котлов, установленных на станции (котельной).
2. Номинальный расход мазута на котел, суммарное потребление всех котлов.
3. Количество, тип и производительность подогревателей, установленных на один резервуар.
4. Температура окружающей среды для зимы и для лета.
5. Форма, площадь поверхности и объем резервуаров при максимальном эксплуатационном уровне.
6. Минимальная температура хранения мазута в резервуаре (принимается + 35 °С).
7. Время опорожнения одного расходного резервуара в случае, если мазут подается на все котлы или на часть котлов.

На основании известных свойств мазута определенной марки формируется массив дополнительных исходных данных.

Для выбора направления реконструкции сначала проводится анализ существующей технологической схемы с привлечением хорошо зарекомендовавшего себя инструментария, структурного, теплового и термодинамического анализа с определением соответствующих КПД отдельных участков или аппаратов.

На основе результатов технико-экономической оценки определяются затраты на содержание мазутного хозяйства, выявляются элементы, имеющие низкую эффективность. Если доля расходов на содержание мазутного хозяйства превышает некоторое значение, характерное для станций с низкими удельными затратами на генерацию тепловой и электрической энергии, или в ходе расчетов выявляется нереализованный потенциал по энергосбережению, то разрабатываются мероприятия по модернизации существующей схемы.

Ниже приведено укрупненное описание основных расчетных блоков.

1. Определение основных характеристик мазутного хозяйства

В данной расчетной блоке в соответствии с известными методиками для конкретных марок котельных агрегатов (указанных в проекте или находящихся в эксплуатации) определяется полезная мощность или теплопроизводительность. Находится количество жидкого топлива, сжигаемого одним котлом, номинальное суммарное количество топлива, сжигаемое всеми котлами электростанции или котельной и, как следствие, необходимая емкость топливохранилищ мазутного хозяйства, которая определяется в зависимости от его типа (основного, резервного, растопочного или использования мазута для подсветки при сжигании твердого топлива), способа доставки и норм запаса. Находится количество топлива, сжигаемое каждой из горелок котла, коэффициент их производительности. Определяется давление в мазутном тракте и находится напор, создаваемый мазутным насосом и необходимый для подачи мазута к горелкам. Рассчитываются теплофизические характеристики мазута при средней температуре его в подогревателе.

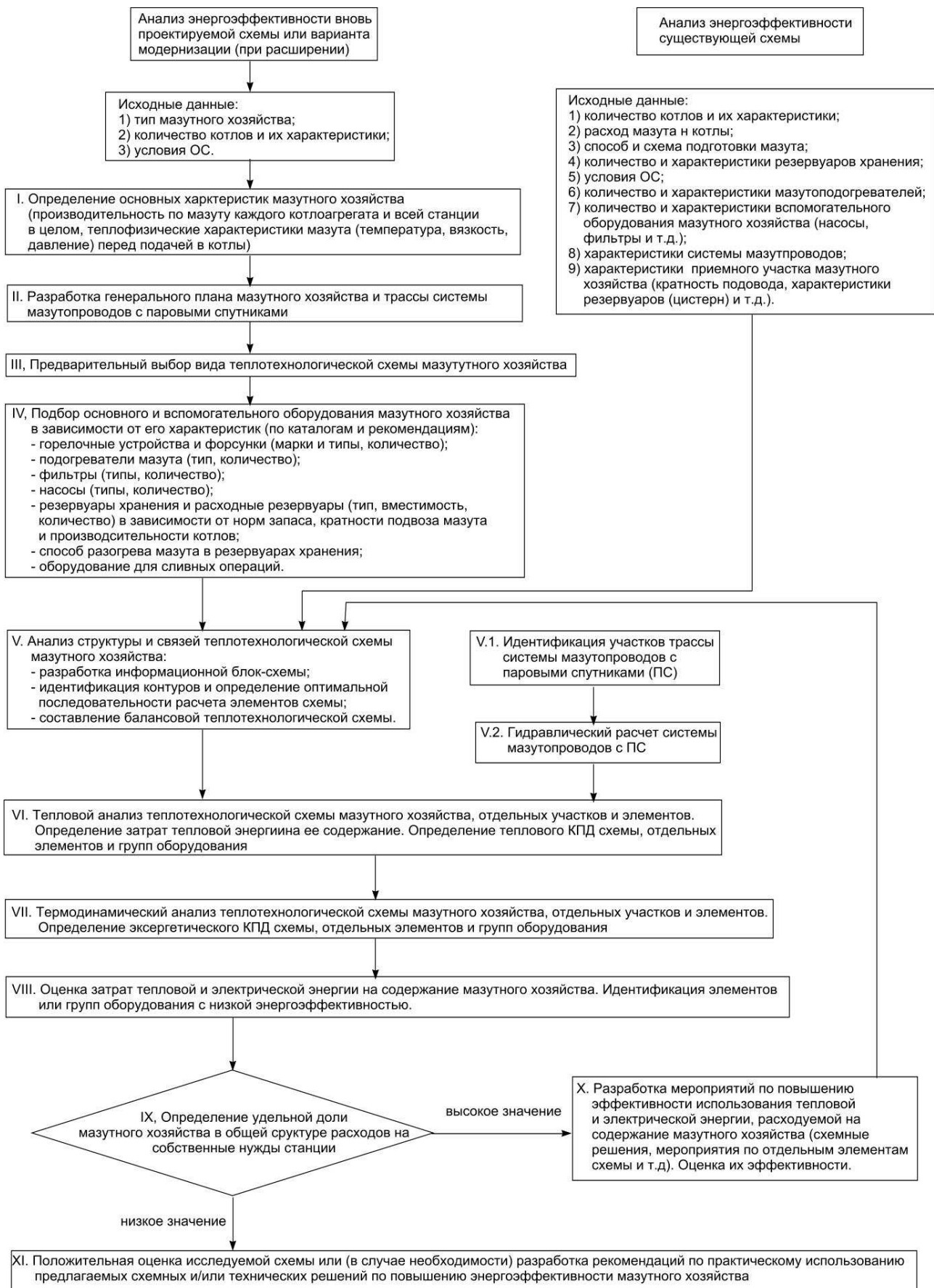


Рисунок 1. Алгоритм расчета и оценки эффективности использования энергосберегающих мероприятий для мазутных хозяйств ТЭС и промышленных котельных

II. Разработка генерального плана мазутного хозяйства и трассы мазутопроводов с паровыми спутниками

При разработке генерального плана мазутного хозяйства предлагается использовать теорию графов, при этом трасса мазутопровода с паровыми спутниками моделируется в виде графа с вершинами: $i=1, \dots, N, N+1, \dots, N+K, N+K+1, \dots, N+K+M$, где первые N вершин соответствуют исходным пунктам, от которых производится транспортировка мазута; последние M вершин – конечным пунктам транспортировки; K промежуточных вершин – переходам между различными участками трубопровода с неизвестными характеристиками потоков.

При расчете считаются заданными следующие основные величины: марка мазута; характеристики трассы мазутопровода с указанием температур, местных сопротивлений и других необходимых показателей.

В результате расчетов определяются диаметры различных участков трубопроводов, суммарные потери давления по всей трассе. В ходе гидравлического расчета определяются затраты потребляемой энергии в виде мощности, необходимой для транспортировки мазута по трубопроводам.

III. Предварительный выбор вида теплотехнологической схемы мазутного хозяйства

На тепловых электростанциях и котельных применяются три схемы подвода жидкого топлива к форсункам: тупиковая, циркуляционная и комбинированная (тупиково-циркуляционная). Выбор схемы осуществляется в каждом конкретном случае индивидуально в зависимости от способа использования жидкого топлива (основное, резервное или аварийное) и его проектных характеристик, от способа подвода топлива к форсункам котлов, от режимов работы оборудования. Основное различие приведенных схем заключается в количестве устанавливаемого оборудования, в его типах и марках.

IV. Подбор основного и вспомогательного оборудования мазутного хозяйства в зависимости от его характеристик

В ходе планируемой модернизации существующей теплотехнологической схемы мазутного хозяйства необходимо произвести подбор основного и вспомогательного оборудования:

- *горелочных устройств и форсунок.* Необходимым элементом алгоритма нахождения основных характеристик мазутного хозяйства является выбор числа и типоразмера горелок и форсунок для конкретного котельного агрегата и определение их основных технических параметров;

- *подогревателей мазута.* Основным назначением стационарных подогревателей мазута в схемах мазутных хозяйств электростанций и котельных является обеспечение путем подогрева необходимых значений вязкости мазута перед подачей его в горелочные устройства и форсунки котлов. Поскольку стационарные подогреватели помимо подогрева мазута до необходимой температуры обеспечивают также циркуляционные режимы эксплуатации мазутного хозяйства, то назначением их является подогрев мазута с целью обеспечения необходимого температурного режима и вязкости по всему топливному тракту, начиная от резервуаров – хранилищ мазута до форсунок котлов;

- *резервуаров хранения и расходных резервуаров (с выбором способа разогрева мазута при хранении).* На ТЭС и котельных мазут хранится в резервуарах, в которых также осуществляется: прием, подогрев, выдача и обезвоживание мазута. Вместимость мазутохранилищ для электростанций с различным типом мазутных хозяйств принимается согласно [4]. Для хранения основного, резервного и растопочного топлива предусматриваются не менее двух резервуаров. Для хранения аварийного топлива допускается установка одного резервуара;

- *выбор способа разогрева мазута в резервуарах хранения.* Мазут, поступающий в резервуары из цистерн и приемных емкостей, находится в подогретом состоянии. Далее при

хранении мазута в резервуарах необходимо постоянно не только поддерживать температуру для предотвращения застывания и обводнения, но также необходимо дополнительно подогревать мазут до требуемого «Правилами эксплуатации» уровня. Подогрев мазута в резервуарах может осуществляться различными способами, основные из которых следующие: циркуляционный подогрев с помощью выносных отдельных подогревателей; с помощью статических подогревателей (парозмеевиковые и секционные подогреватели); стационарными качающимися вибрационными подогревателями; горизонтальными вращающимися шнековыми подогревателями; с помощью электроподогревателей. Рекомендуется использовать циркуляционный метод, который позволяет резко сократить время разогрева мазута, вследствие эффективного перемешивания в резервуарах обеспечить высокую однородность топлива и равномерное распределение температур, уменьшить обводнение мазута и осаждение карбонидов и механических примесей [5];

- *насосов и фильтров.* По вычисленным значениям в ходе гидравлического расчета мазутопроводов значений давления и расходов для отдельных участков трассы необходимо подобрать насосы, перекачивающие мазут по их характеристикам;

- *оборудования для сливных операций.* Слив мазута из цистерн в топливно-транспортных цехах электростанций производится на сливных эстакадах. В комплекс сливных устройств для мазутных хозяйств входит эстакада, оборудованная паровыми стояками для подогрева нефтепродуктов в вагонах-цистернах, а также устройствами для подъема и перемещения переносных подогревателей и откидными мостиками. К основным характеристикам железнодорожных эстакад при проектировании мазутных хозяйств относят их количество и длину. При расчете исходят из годового грузооборота и весовой нормы наливных маршрутов.

V. Анализ структуры и связей теплотехнологической схемы мазутного хозяйства

Проведение структурного анализа теплотехнологической схемы является одним из важнейших этапов при создании новых и радикальном совершенствовании существующих теплотехнологических схем. Большая сложность и высокая трудоемкость расчета современных теплоэнергетических схем в значительной степени обусловлена наличием множества расчетных циклов как в технологической схеме, так и в элементах оборудования. Анализ реальных сложных технологических схем современных теплоэнергетических установок показывает, что разрыв циклических связей можно осуществить множеством путей и, следовательно, при этом получить множество последовательностей расчета. Соответственно возникает задача поиска наиболее рационального пути, обеспечивающего снижение размерности решаемой задачи. Конечной целью структурного анализа теплотехнологической схемы мазутного хозяйства будет являться определение оптимальной последовательности ее расчета и идентификация контуров в ней. Определение оптимальной последовательности расчета позволит свести к минимуму количество итераций, повысить точность расчета при математическом моделировании, повысить область устойчивости решения задачи определения параметров работы теплотехнологической схемы. Для описания теплотехнологических схем мазутных хозяйств использовался метод, основанный на теории графов [6].

VI. Тепловой анализ теплотехнологической схемы мазутного хозяйства

Для проведения теплового анализа всей теплотехнологической схемы мазутного хозяйства ТЭС необходимо осуществить тепловой расчет участков схемы и аппаратов, к которым подводятся теплоносители для подогрева мазута или присутствуют значительные тепловые потери – мазутопроводов с паровыми спутниками, мазутоподогревателей и резервуаров хранения мазута.

При расчете мазутопроводов с паровыми спутниками необходимо определить конечные параметры мазута и пара на выходе из мазутопровода с паровыми спутниками при заданной толщине изоляционного слоя или толщину изоляционного слоя и конечные параметры пара на выходе из мазутопровода с паровыми спутниками при заданных конечных параметрах мазута на выходе из него.

Расчет подогревателей мазута. Как и другое теплообменное оборудование ТЭС, подогреватели мазута работают в непрерывном тепловом режиме и характеризуются весьма малой тепловой инерционностью. Поэтому все расчеты мазутоподогревателей проводят при стационарном тепловом режиме. Подогреватели мазута ТЭС также относятся к классу рекуперативных тепловых аппаратов, соответственно, основными уравнениями для их теплового расчета являются уравнения теплового баланса и теплопередачи.

Расчет резервуаров. При определении интегральных значений расходов теплоты на разогрев мазута или поддержание его в резервуаре в заданном температурном диапазоне можно использовать традиционные методики, вошедшие в типовые инструкции, или воспользоваться математическими моделями, созданными Назмеевым Ю.Г. и его учениками. Если же требуется получить дискретные значения тепловых и гидродинамических процессов в резервуаре лучше воспользоваться моделями, приведенными в работах [7-8]. Знание дискретных значений позволит разрабатывать, в случае необходимости, мероприятия по повышению эффективности процесса циркуляционного подогрева внутри резервуара за счет оптимизации конструкции выходных сопел и их месторасположения.

Оценка энергоэффективности теплотехнологических схем мазутных хозяйств. В качестве критерия оценки энергоэффективности в большинстве случаев используется термический или тепловой к.п.д. η_t . Методика расчета основных составляющих теплового к.п.д. сводится к определению количества подводимой к системе теплоты $Q_{\text{под}}$ и расчету потерь теплоты в окружающую среду. Кроме определения теплового к.п.д., к тепловому анализу следует отнести и определение доли затрат всех видов используемой энергии для каждого отдельного типа оборудования, каждого укрупненного контура или блока теплотехнологической схемы и самой схемы в целом. Тепловой анализ теплотехнологических схем мазутных хозяйств проводится отдельно для зимнего и летнего периода эксплуатации с соответствующими характерными температурами окружающей среды и температурными напорами.

VII. Термодинамический анализ теплотехнологической схемы мазутного хозяйства

В последнее время широкое распространение получил эксергетический метод оценки эффективности технологических процессов, основанный на использовании второго закона термодинамики. Использование данного метода позволяет определить относительное влияние на эффективность процесса различных стадий расхода энергии, выявить элементы с наибольшими потерями энергии. При оценке эффективности теплотехнологических схем и установок с использованием эксергетического метода термодинамического анализа основным показателем степени термодинамического совершенства является эксергетический коэффициент полезного действия (к.п.д.) η_{ex} . Расчет эксергетического к.п.д. по его абсолютной величине позволяет определить степень термодинамического совершенства процесса. Кроме того, значение η_{ex} указывает на целесообразность поиска способов снижения энергетических затрат, на поиск наилучшего в данных условиях метода (с точки зрения энергетики) улучшения показателей эффективности теплотехнологической схемы.

VIII. Оценка затрат тепла и электроэнергии на содержание мазутного хозяйства

При реализации данного расчетного блока по результатам теплового и термодинамического анализа выделяются отдельные элементы или группы оборудования теплотехнологической схемы с низкой энергоэффективностью. Определяются затраты тепла и электроэнергии на содержание мазутного хозяйства, которые относятся к затратам на собственные нужды. Затраты электроэнергии на содержание мазутного хозяйства ТЭС ($\dot{Y}_{\text{ia}\zeta}$) могут быть определены как сумма затрат электроэнергии на привод насосов для транспортирования мазута по мазутопроводам; а привод циркуляционных насосов при подогреве мазута в резервуарах при хранении; на привод оборудования для сливных операций. Затраты теплоты на содержание мазутного хозяйства ($Q_{\text{ia}\zeta}$) складываются из затрат теплоты на паровые спутники мазутопроводов; на подогрев мазута при сливных операциях; на подогрев мазута в подогревателях мазута; на распыливание мазута в горелках.

IX. Определение удельной доли мазутного хозяйства в общей структуре затрат на собственные нужды

Доли затрат электроэнергии ($\varphi_{i\grave{a}\zeta}(\dot{y})$) и теплоты ($\varphi_{i\grave{a}\zeta}(\dot{o})$) на содержание мазутного хозяйства в общих затратах на собственные нужды ТЭС или котельной определяется как отношение $\dot{Y}_{i\grave{a}\zeta}$ и $Q_{i\grave{a}\zeta}$ к затратам, соответственно, электроэнергии ($\dot{Y}_{\dot{e}}^{ni(i)}$) и теплоты (Q^{ni}) на собственные нужды станции. После определения удельной доли мазутного хозяйства принимается решение о необходимости разработки мероприятий по повышению эффективности использования тепловой и электрической энергии или реализации предложений по устранению выявленных отдельных недостатков.

IX. Разработка мероприятий по повышению эффективности использования тепловой и электрической энергии, расходуемой на содержание мазутного хозяйства

Повышение эффективности использования тепловой и электрической энергии, расходуемой на содержание мазутного хозяйства, может быть достигнуто реализацией схемных решений, например, изменением типа теплотехнологической схемы мазутного хозяйства, внедрением более эффективных способов подогрева мазута в резервуарах (применение циркуляционного подогрева), заменой устаревших аппаратов на более современные, имеющие улучшенные технические характеристики, или модернизацией самих аппаратов (оребрение поверхностей теплообмена в подогревателях мазута) с помощью методов интенсификации теплообмена, применением теплоизоляционных материалов с улучшенными, по отношению к применяемым, характеристиками, реализацией мероприятий, отмеченных в расчетном блоке VI.

К методам интенсификации теплообмена, основанным на придании потоку жидкости характера вращательно-поступательного движения, можно отнести методы, в которых используются каналы с различного рода винтовым оребрением. Как видно из результатов расчетов, приведенных в монографии [3], оребрение одного или двух первых ходов аппарата позволяет достичь номинальной температуры и при этом еще иметь громадный резерв по тепловой производительности аппарата. Заменяв мазутные насосы на более производительные, можно реально воспользоваться этим резервом и сократить общее число подогревателей в теплотехнологической схеме мазутного хозяйства. Другой вариант сокращения затрат на содержание мазутного хозяйства – это уменьшение числа ходов в подогревателях. Тогда резко уменьшаются затраты электроэнергии на прокачку по мазутному тракту подогревателей. В расчетах также предусматривался вариант использования резервов тепловой производительности модернизированных подогревателей за счет снижения параметров греющего пара. Для электростанций, на которых возможно получение пара более низких параметров (разумеется, после проведения необходимых расчетов по количеству отбираемого пара и получения соответствующего разрешения), это мероприятие чрезвычайно выгодно. Очень актуальна проблема повышения эффективности подогревателей мазута методами интенсификации теплообмена в связи со сжиганием мазута с малыми избытками воздуха. Требуемую температуру мазута $\approx 160^\circ\text{C}$ и выше достаточно трудно обеспечить серийным оборудованием, заложенным в типовые проекты. Например, уменьшение расхода топлива с целью увеличения степени подогрева или понижение давления после насосов 1-го подъема (с целью увеличения объемов рециркуляции) приводит к срыву насосов 2-го подъема. Модернизация серийных подогревателей методами интенсификации теплообмена снимает эти проблемы и позволяет оребрением соответствующего числа ходов аппарата получить необходимую температуру мазута.

В качестве примера рассмотрим теплотехнологическую схему мазутного хозяйства районной котельной, оборудованной четырьмя водогрейными котлами КВГМ-180.

Разумеется, для каждого конкретного проекта электростанции или котельной, для каждого конкретного набора оборудования вариант модернизации или самих подогревателей или изменения теплотехнологической схемы мазутного хозяйства за счет применения того или иного метода интенсификации теплообмена должен определяться отдельно.

Заключение

Разработанный алгоритм расчета и оценки эффективности использования энергосберегающих мероприятий для теплотехнологических схем мазутных хозяйств ТЭС позволяет определить материальные и энергетические затраты на хранение и подготовку мазута к сжиганию в котлах по отдельным блокам систем и выявить участки с наибольшими потерями, подлежащие первоочередной модернизации. На основании анализа существующей теплотехнологической схемы мазутного хозяйства ТЭС определяются мероприятия по повышению эффективности ее работы путем замены устаревшего оборудования, реконструкции отдельных участков с целью интенсификации теплообменных процессов или реализации новых схемных решений по компоновке мазутного хозяйства.

Литература

1. ТЭК и экономика регионов России. Справочник: в 7 т. – М.: Энергия, 2007.
2. Энергетическая стратегия РФ до 2030 года.
3. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
4. Адамов В.А. Сжигание мазута в топках котлов. – Л.: Недра, 1989. – 304 с.
5. Геллер З.И. Мазут как топливо. – М.: Недра, 1965. – 495 с.
6. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. – М.: Энергия, 1978.
7. Назмеев Ю.Г., Шамсутдинов Э.В., Камалов Р.Ф. Нестационарный теплоперенос при течении плоской затопленной свободной струи вязкой жидкости в полубесконечном пространстве // Известия РАН. Энергетика. – 2006. – №2. – С. 52-60.
8. Вачагина Е.К., Шамсутдинов Э.В. Исследование теплопереноса при ударе одиночной затопленной струи мазута о преграду для различных углов наклона насадки // Известия РАН. Энергетика. – 2008. – №5. – С.39-43.

Работа выполнена в ходе реализации ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009-2013 годы (госконтракты №П1557, №П1014, №02.740.11.0062, 02.740.11.0753).

Рецензенты:

Конахина И.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой Промышленная теплоэнергетика ГОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет» Министерство образования и науки, г. Казань.

Николаев А.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой ОПП ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» Министерство образования и науки, г. Казань.

Работа получена 28.07.2011.