

ПРОБЛЕМЫ СЖИГАНИЯ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА В КОТЛАХ СО СЛОЕВЫМИ ТОПКАМИ

Докт. техн. наук, проф. КАРНИЦКИЙ Н. Б., асп. ЗАМАРА С. М.

Белорусский национальный технический университет

С целью повышения энергетической безопасности в Республике Беларусь реализуется Государственная программа вовлечения в топливный баланс местных видов топлива, возобновляемых источников энергии, из которых значительная часть ресурсов приходится на древесное топливо и растительную биомассу.

В Государственной комплексной программе модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы [1], энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2011 гг. большое внимание уделено перспективам развития нетрадиционной энергетики, в частности использования мини-ТЭЦ на древесных отходах и фрезерном торфе. Программой запланированы и выполнены преобразование действующих котельных в Осиповичах, Вилейке, Речице, Пружанах в мини-ТЭЦ, а также установка энергетических блоков на древесине на Белорусской ГРЭС, Жодинской и Пинской ТЭЦ.

Республика Беларусь обладает значительными лесными ресурсами. Следует отметить, что древесно-топливными ресурсами обладают все области. Запас древесины из общей площади лесного фонда площадью 9,5 тыс. га составляет 1,35 млрд куб. м, тогда как расход древесного топлива стационарными энергогенерирующими установками не превышает в настоящее время порядка 700 тыс. т у. т. в год. Возможности республики по использованию древесины в качестве топлива оцениваются на уровне 3,5–3,7 млн т у. т. в год.

Древесное топливо используется в основном в виде отходов (опилки, щепа). Характерные свойства: выход летучих веществ составляет 85–95 %, низшая теплота сгорания зависит от влажности и колеблется в широких пределах. Для смешанного древесного топлива при рабочей влажности 40 % низшая теплота сгорания равна порядка 13400 кДж/кг, зольность – не более 1 % на сухую массу, сера отсутствует.

В стране разведано более 9000 торфяных месторождений общей площадью в границах промышленной глубины залежи 2,5 млн га и с первоначальными запасами торфа 5,65 млрд т. К настоящему времени оставшиеся геологические запасы оцениваются в 4 млрд т и составляют 70 % от первоначальных. Зольность торфа в основном определяется условиями его залегания и колеблется от нескольких процентов до 10–19 %, рабочая влажность – 48–53 %, выход летучих веществ – 70 %, содержание серы – 0,3 %, низшая теплота сгорания – 8100 кДж/кг, высокое содержание кислорода – до 35 %. У торфа плохая сыпучесть, склонность к слеживанию, саморазогреванию и самовозгоранию, повышенная взрывоопасность, большая гигроскопичность, легкое смерзание.

Установленные и эксплуатируемые на Осиповичской мини-ТЭЦ котельные установки КЕ-10-2,4-300 ОГМВ ст. № 1, 2 являются единичными головными образцами ОАО «Бийский котельный завод» и в отличие от ранее известных установок данного типа имеют конструкцию топки, предусматривающую одновременно вихревое и слоевое сжигание твердого топлива (древесных отходов и фрезерного торфа) и использования в качестве растопочного и резервного топлива природного газа.

Паровой котел типа Е-10-2,4-300 ОГМВ (КЕ-10-2,4-300 ОГМВ) (рис. 1) – двухбарабанный с естественной циркуляцией, спроектирован для работы со следующими параметрами:

- номинальная паропроизводительность 10 т/ч;
- давление пара за котлом 2,4 МПа;
- температура пара за котлом 300 °С.

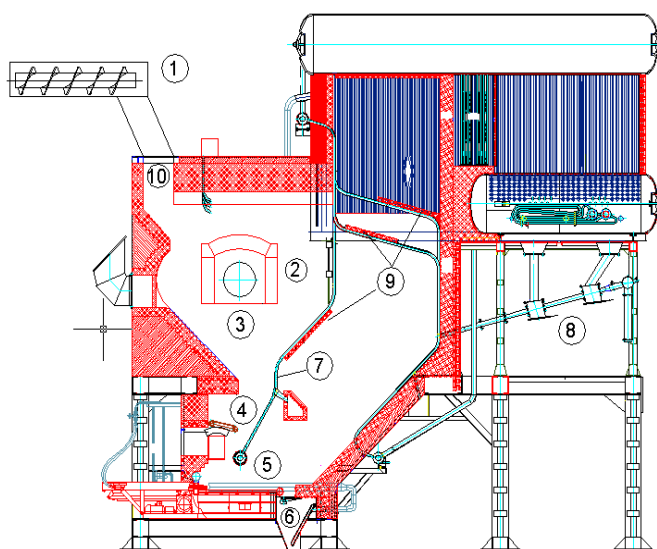


Рис. 1. Схема парового котла КЕ-10-2,4-300 ОГМВ: 1 – шнековый питатель топлива; 2 – газовая горелка ГМГ-4 с защитно-запальным устройством (ЗЗУ); 3 – вихревая топка; 4 – предтопок скоростного горения; 5 – топка с «шурующей планкой» и колосниковой решеткой; 6 – золовый бункер с опрокидывающейся решеткой; 7 – зажимающая решетка; 8 – устройство возврата уноса; 9 – аэродинамический щит (перегородка); 10 – шлюзовый затвор

Котел предназначен для сжигания древесного топлива с размером кусков до 100 мм, влажностью до 60 % и зольностью до 5 %, а также фрезерного торфа с размером фракций 0,5–25 мм, влажностью до 50 % и зольностью до 5 % [2].

Котел имеет топочный блок с вихревой топкой и предтопком скоростного горения. Вихревая топка, которая находится над предтопком скоростного горения, предназначена для сжигания торфа во взвешенном состоянии. В вихревой топке благодаря тому, что торф, подаваемый питателем, подхватывается газоздушным вихрем, создаваемым струями тангенциально подведенного воздушного дутья, двигаясь вместе с ним в объеме, подсушивается и сгорает в турбулентном потоке. Несгоревшие крупные частицы падают в предтопок и в топку с «шурующей планкой» и догорают,

а зола удаляется в золовой бункер. Предтопок скоростного горения, который находится под вихревой топкой, предназначен для сжигания древесных отходов согласно проекту в зажатом слое, через который продувается подогретый воздух.

Предтопок отделяется от топки с «шурующей планкой» зажимающей решеткой. Трубы зажимающей решетки, особенно при работе котлов на пониженных параметрах пара, подвержены сильному истиранию. Это связано с повышением в составе продуктов термолиза, конденсирующихся на стенках труб, доли различных кислот, что приводит к заметной коррозии металла. Движущий слой топлива снимает пленку окислов с труб, процесс коррозии продолжается. И стенка постепенно утоняется до недопустимых размеров. Для предотвращения этого явления по длине трубы в зоне нижнего пережима со стороны топлива на высоту около 1 м приварены стальные прутки диаметром 10 мм. При этом повышается температура стенки трубы со стороны слоя топлива и уменьшается конденсация кислых смол. Кроме того, наваренный металл принимает на себя весь износ.

Дутье подается под пережим, на котором идет интенсивный процесс горения, несгоревшие частицы древесных отходов падают в топку с «шурующей планкой» и догорают. Распределение высоконапорного дутья между вихревой топкой и предтопком зависит от вида сжигаемого топлива. Если в котел поступает торф, основное дутье подается в вихревую топку с двух сторон поровну, а в предтопок поступает минимальное количество воздуха, необходимое для охлаждения воздушных коробов под пережимом. Если в котел подаются древесные отходы, то основное дутье подается в предтопок с двух сторон поровну, а в вихревую топку поступает минимальное количество воздуха, необходимое для охлаждения короба с соплами, который находится в топке. Мелкие частицы и газообразные продукты неполного горения выносятся через зажимающую решетку в топочный объем, где подается вторичный воздух. В вихревой топке установлена газовая горелка с защитно-запальным устройством. Под конвективным пучком предусмотрено устройство возврата уноса.

Для снижения температуры дымовых газов после котла и подогрева первичного воздуха установлен трубчатый воздухоподогреватель. Воздух от вентилятора первичного дутья подается в воздухоподогреватель, после которого может поступать под пережим и под топку с «шурующей планкой». После воздухоподогревателя дымовые газы дымососом подаются на золоуловитель.

Для очистки дымовых газов применяется золоуловитель, который представляет собой блок циклонов. Дымовые газы, поступающие в циклоны через тангенциальные завихрители, получают вращательно-поступательное движение. Вследствие этого под действием центробежной силы происходит сепарация частиц золы. Очищенные газы отводятся из циклона через центральные трубы в выходной газовый короб и далее в дымовую трубу. Золоуловитель эксплуатируется под давлением, так как установлен после дымососа.

Собственно котел и воздухоподогреватель работают под разрежением дымососа.

На котле предусмотрено механизированное удаление золы и шлака. Зола (шлак) из топки котла посредством опрокидывающейся решетки попа-

дает в бункер золоудаления котла, далее по скребковому транспортеру и конвейеру с погружными скребками – в бункер-накопитель для золы и шлака, откуда автотранспортом вывозится на золоотвал.

При проведении пусконаладочных работ были выявлены недостатки конструкции котельной установки, требующие устранения. В процессе выполнения режимно-наладочных работ внедрены мероприятия по усовершенствованию конструкции котельной установки, разработанные ООО НКЦ «Бийскэнергопроект», что позволило достичь основных проектных параметров при работе котла.

Проведенные в последующем наблюдения за работой котла в условиях длительной эксплуатации при сжигании топлива с высокой влажностью и зольностью показали, что период работы котла до остановки для расшлаковки топки не превышает одного месяца. Происходят накопление и спекание золы на поверхностях внутри котла (на колосниковой решетке топки с «шурующей планкой», в устье воронки бункера золоудаления, на заднем экране, на аэродинамических перегородках и щитах и др.). Удалить спекшиеся образования штатной системой золоудаления не представляется возможным. При непроведении расшлаковки куски шлака за счет дальнейшего налипания укрупняются и, попадая под «шурующую планку» и опрокидывающуюся решетку, а также в бункер золоудаления, полностью блокируют их работу, в результате чего выход золы из котла прекращается (происходит ее накопление внутри топочного объема), что кардинально нарушает аэродинамический и температурный режим горения.

Кроме того, происходят занос золой мелкой фракции труб воздухоподогревателя, образование наружных отложений на змеевиках пароперегревателя, которые вследствие снижения тепловосприятия приводят к росту температуры уходящих газов, увеличению аэродинамического сопротивления элементов котла из-за уменьшения проходных сечений, в результате чего нарушается режим горения, что влечет за собой снижение производительности котла.

Через непродолжительный период эксплуатации возникают:

- зашлаковывание коробов с перфорированными листами в зоне пережима с последующим прогоранием коробов и труб подачи первичного воздуха к ним;
- повреждения перфорированных труб в нижней части топки (зона наклонных боковых стен пода топки), в которые организована подача первичного воздуха (температурная деформация труб);
- повреждения нижнего яруса перфорированных труб на задней стене топки, в которые организована подача воздуха от вентилятора вторичного дутья.

Бесперебойная работа котла связана также с надежностью работы механизмов топливоподачи, шнековых питателей топлива и удаления из котла золы и шлака, к которым относятся:

- скребковые и ленточные транспортеры топлива;
- узел сортировки топлива;
- топливные модули со станциями гидротолкателей;
- шнековые питатели топлива на двух бункерах топлива;
- шлюзовые затворы котлов;

- скребковые транспортеры золы и шлака котлов;
- выносной скребковый транспортер золы и шлака.

Работа указанных механизмов сопряжена с механическим износом вращающихся и трущихся деталей, а также поломкой скребков в результате попадания негабаритных включений (в том числе твердых кусков шлака в систему золоудаления) и запрессовывания мелкофракционного топлива повышенной влажности в тракте топливоподачи.

Так, для очистки топочного объема котла от неудаляемых при штатной работе системы золоудаления наростов и трудноразрушаемых спекшихся кусков золы необходим периодический останов котла с его расхолаживанием и полным удалением отложений, удалением скапливающейся золы в элементах системы возврата уноса.

Следует также отметить, что для обеспечения межрасшлаковочного интервала требуются кратковременные переводы котлов на сжигание газа без их останова, при которых возможно разрыхлить находящиеся на колосниковой решетке и в устье воронки бункера золоудаления мелкие спекшиеся образования во избежание их дальнейшего агрегирования.

При существующем состоянии оборудования не обеспечивается тщательная сортировка топлива. Периодически останавливается шлюзовый затвор (приводит к останову котла) из-за подачи топлива, размер фракций которого превышает допустимый размер, установленный заводом-изготовителем котла, при эксплуатации котла на нагрузках, близких к номинальной (соответствует максимальным оборотам шнекового питателя).

Необходимо отметить, что при сжигании как древесного топлива, так и смеси древесного топлива и торфа, имеющих выход летучих до 95 %, периодически возникает необходимость в замене рабочего колеса дымососа. Связано это обстоятельство с тем, что золоулавливающая установка (блок циклонов) находится после дымососа по газовому тракту котла и металл рабочего колеса подвергается сильнейшему эрозионному износу (абразиву).

После проведения наладочных работ [3] было выявлено, что при сжигании древесного топлива (смеси древесного топлива и торфа) не обеспечиваются формирование зажатого слоя в зоне пережима топки и, следовательно, предусмотренная проектом организация «интенсивного процесса горения» в предтопке скоростного горения. Древесное топливо практически не попадает на колосниковую решетку, расположенную на фронте топки под пережимом, и, не задерживаясь на зажимающей решетке в зоне пережима топки, сыпается в топку с «шурующей планкой».

Сгорание древесного топлива (смеси древесного топлива и фрезерного торфа) в основном осуществляется в слое топки с «шурующей планкой». В связи с этим проектный воздухопровод подачи горячего воздуха под пережим топки практически не используется, так как подаваемый воздух не участвует в горении, является балластом и приводит к снижению экономичности работы котла (рис. 2), вследствие достаточно высоких значений оптимальных коэффициентов избытка воздуха (рис. 3, согласно [2] расчетный коэффициент избытка воздуха за котлом составляет 1,45) и повышенного содержания окиси углерода (рис. 4). Поэтому подача воздуха под пережим топки осуществляется в минимальном количестве для охлаждения

элементов ввода воздуховода в топку. Следует отметить, что снижение содержания окиси углерода режимными мероприятиями не представляется возможным, о чем свидетельствует наличие зон избыточного количества воздуха, не участвующего в горении, а также зон горения с недостаточным количеством организованно подаваемого воздуха.

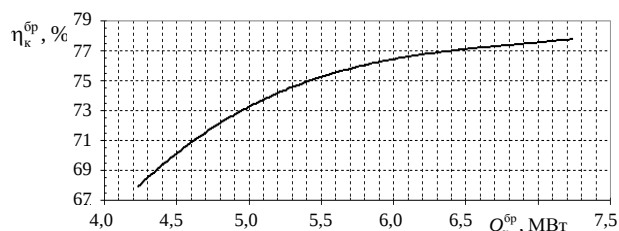


Рис. 2. Зависимость изменения КПД котла «брутто» от тепловой нагрузки котла при сжигании смеси древесного топлива и торфа

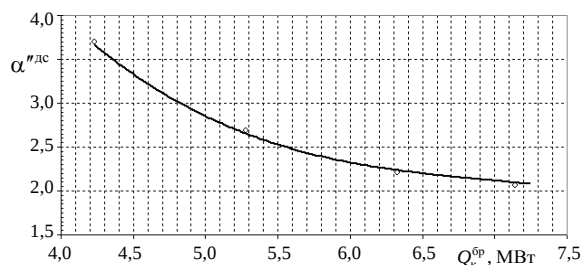


Рис. 3. Зависимость изменения коэффициента избытка воздуха в балансовом сечении от тепловой нагрузки котла при сжигании смеси древесного топлива и торфа

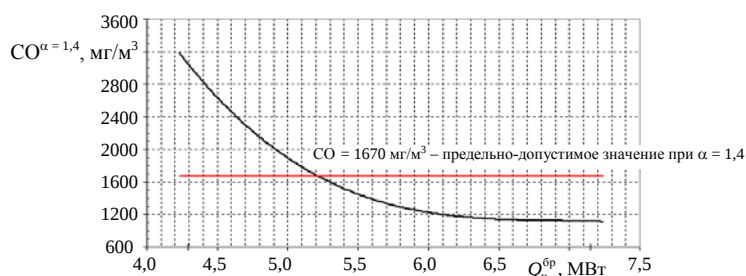


Рис. 4. Зависимость изменения концентрации окиси углерода в балансовом сечении от тепловой нагрузки котла при сжигании смеси древесного топлива и торфа

На котле КЕ-10-2,4-300 ОГМВ ст. № 1 Осиповичской мини-ТЭЦ по экспресс-методу, предложенному «Южтехэнерго» [4], определялась коррозионная агрессивность продуктов сгорания (КАПС) при сжигании смеси древесного топлива и торфа с помощью коррозионного зонда (рис. 5). В топке сжигалась смесь щепы и торфа со следующими характеристиками: щепа – низшая теплота сгорания – 9118 кДж/кг, влажность – 45,2 %, зольность – 0,5; торф – низшая теплота сгорания – 7578 кДж/кг, влажность – 47,6 %, зольность – 11,0 %, сера – 0,2 % (при допустимом содержании 0,3 % согласно требованиям завода-изготовителя). В процентном соотношении смесь по массе: 60 % – древесная щепа, 40 % – фрезерный торф.

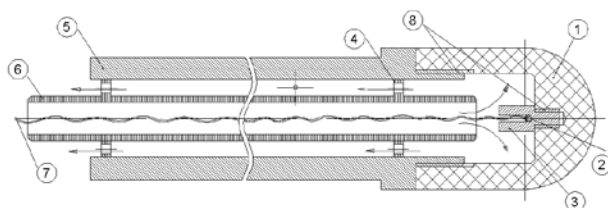


Рис. 5. Схема коррозионного зонда: 1 – цинковый датчик; 2 – рабочий спай термопары (хромель-алюмель); 3 – бобышка с зачеканенной термопарой; 4 – отверстия для выхода воздуха (4 шт.); 5 – измерительный зонд; 6 – трубка для подвода холодного воздуха (с регулирующим вентилем); 7 – вывод термопары к потенциометру ПП-63; 8 – резьбовые соединения

Характер коррозии металла и интенсивность протекания коррозионных процессов зависят от многих факторов, но главный из них – состав топлива. Основным коррозионным агентом в котлах, сжигающих топливо, содержащее серу, является серный ангидрид SO_3 . На генерацию SO_3 оказывают влияние такие факторы, как коэффициент избытка воздуха, нагрузка котла, рециркуляция дымовых газов, компоновка котла, и др.

Коррозию металла воздухоподогревателя, змеевиков пароперегревателя, экранных поверхностей вызывают как газообразные компоненты продуктов сгорания топлива, так и минеральные, образующие золу топлива, которая оседает на металлических поверхностях и образует отложения.

Наличие отложений на поверхностях нагрева в зависимости от их состояния может как препятствовать, так и способствовать протеканию коррозии. Поскольку варьирование некоторых из этих факторов не представлялось возможным по режимным факторам работы котла, длительности по времени в стабилизации режимов, а также из-за отсутствия однородности по фракции сжигаемых топлив, постоянно изменяющейся (плавающей) рабочей влажности древесного топлива в смеси, определение зависимости изменения величины КАПС проводилось от тепловой нагрузки котла (рис. 6).

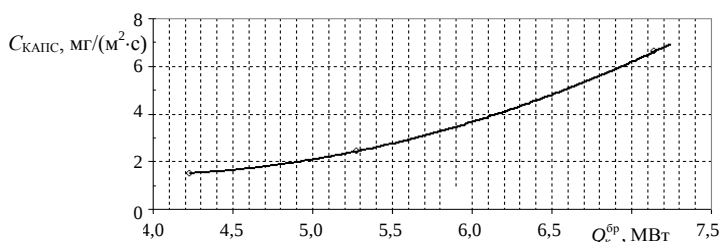


Рис. 6. Зависимость изменения коррозионной агрессивности продуктов сгорания (скорости коррозии) от тепловой нагрузки котла при сжигании смеси древесного топлива и торфа

Датчик коррозионного зонда изготовлен из цинка, поскольку в золе сжигаемой смеси топлив он не обнаружен. Следовательно, оседающая за время опыта зола не вносит дополнительной погрешности и, кроме того, реакционная способность цинка намного выше реакционности железа, что существенно повышает чувствительность определения. Длина корпуса зонда зависит от ширины газохода и выбирается таким образом, чтобы датчик находился в установившемся потоке продуктов сгорания.

Показатель КАПС определяется массой металла, прореагировавшего с пленкой серной кислоты, образующейся на поверхности датчика с заданной температурой в течение определенного времени выдержки его в потоке продуктов сгорания (выдержка по времени составляла два часа).

Показатель КАПС определяется убылью массы в пересчете на SO_3

$$C_{\text{КАПС}} = 1,225 \Delta G_{\text{Zn}} / (St), \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

где 1,225 – коэффициент пересчета массы цинка в эквивалентное количество SO_3 ; ΔG_{Zn} – убыль массы цинкового датчика, мг; S – площадь наружной поверхности датчика.

Расчетная абсолютная погрешность определения КАПС составляет $\pm 0,08 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

В качестве вторичного прибора при измерении температуры стенки датчика применялся потенциометр ПП-63.

Определение состава продуктов сгорания в уходящих газах и перед воздухоподогревателем, а также температуры дымовых газов перед воздухоподогревателем и за дымососом производили по результатам анализа дымовых газов газоанализатором типа Testo-335. Газообразные продукты сгорания топлива состоят в основном из азота и его оксидов, кислорода, оксидов углерода, паров воды, оксидов серы. Температура уходящих газов в балансовом сечении составляла 190–215 °С, а температура дымовых газов перед трубчатым воздухоподогревателем (в режимном сечении) была 290–345 °С в диапазоне нагрузок 6–10 т/ч соответственно.

Следует отметить, что при проведении газового анализа в режимном и балансовом сечениях котла окислы серы SO_2 практически отсутствовали. Поэтому при анализе зависимости изменения коррозионной агрессивности продуктов сгорания от тепловой нагрузки котла необходимо учитывать влияние эрозионного износа летучей золой сжигаемого топлива на датчик коррозионного зонда.

В условиях длительной эксплуатации данного типа котлов на Осиповичской мини-ТЭЦ затруднительно сделать выводы о влиянии коррозионной (коррозионно-эрозионной) агрессивности продуктов сгорания на прямые потери металла воздухоподогревателя, снижение экономичности котельных установок, планирование ремонтно-восстановительных работ. Это связано, во-первых, с тем, что твердое топливо, поставляемое на мини-ТЭЦ, различно как по влажности, зольности, фракциям, так и по содержанию серы. Во-вторых, период между расшлаковками котельной установки составляет не более одного месяца, и во время этих остановов проводится техническое обслуживание котельной установки в целом.

ВЫВОДЫ

Изучение вопроса сжигания местных видов топлив в котлах со слоевыми топками на примере Осиповичской мини-ТЭЦ показало, что существует целый ряд проблем, связанных прежде всего с невозможностью обеспечения достаточно длительного межрасшлаковочного периода работы котлов (более одного месяца). Большой выход летучих и наличие значительного количества мелкофракционной золы в продуктах сгорания при сжигании

местных видов топлив приводят к заносу теплообменных поверхностей, расположенных в конвективных шахтах котлов, образованию наружных отложений на экранных поверхностях и змеевиках пароперегревателей. Эрозионный износ металла рабочего колеса дымососов связан, по нашему мнению, с недостатками проектной схемы золоулавливающей установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ц е л е в а я программа обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 года: утверждена постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 30 декабря 2004 г. № 1680 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2005. – № 4,5/15414.
2. К о т л ы паровые типа КЕ-10-2,4-300 с комбинированными топочными устройствами: руководство по монтажу и эксплуатации. 55.002.0011 РЭ. Россия, ООО «Бийскэнергопроект» ОАО БИКЗ, 2005 г.
3. Т е п л о в ы е испытания котла КЕ-10-2,4-300 ОГМВ ст. № 1 Осиповичской мини-ТЭЦ при сжигании древесной щепы, торфа и совместном сжигании древесной щепы и торфа: технический отчет / ОАО «Белэнергоремналадка», инв. № 5280. – Минск, 2006.
4. М е т о д определения коррозионной агрессивности продуктов сгорания: отчет / Южное отделение Союзтехэнерго, инв. № 9542. – Львов, 1974. – 28 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 20.06.2011

УДК 532.516

ВИХРЬ СКОРОСТИ И ПРОИЗВОДСТВО ЭНТРОПИИ В РЕЛАКСИРУЮЩЕМ ПОТОКЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ С ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ

Докт. физ.-мат. наук, проф. ШАБЛОВСКИЙ О. Н.

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

Изучение неизотермических свойств вихревого поля в потоке вязкой жидкости является актуальной задачей теории теплообмена. Это объясняется широким распространением неоднородных вихревых течений в различных физико-энергетических устройствах и повышением требований к точности расчета при конструировании и доводке элементов теплотехнического оборудования. Для таких устройств характерно резкое изменение шероховатости обтекаемой поверхности (выступы, неровности, препятствия). Следовательно, необходимо учитывать способность турбулентного сдвигового потока запоминать особенности течения выше изучаемой области. Релаксационная теория турбулентных сдвиговых течений основана на уравнении Хинце – Лойцянского [1, 2], которое имеет своим «метагидродинамическим» аналогом реологическое уравнение состояния вязкоупругой жидкости Максвелла. В данной работе проводится теоретическое