

СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ И КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Кривицкая Е.А.
Научный руководитель - Космачева Э.М.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕГОНКИ БИНАРНОЙ СМЕСИ

Лазук Д.А.
Научный руководитель - Космачева Э.М.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РУДОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

Бубырь Т. В.,
Научный руководитель – аспирант Муслина Д.Б.

АБСОРБЦИОННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Бубырь Т.В.
Научный руководитель – Романюк В.Н.

ИНТЕНСИВНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯХ

Д. Б. Муслина, Т. В. Бубырь,
Научный руководитель – Романюк В.Н.

ВНЕДРЕНИЕ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ГРС

Кузьмин Р.О., Иванчиков Е.О., Кривулец А.
Научный руководитель – ассистент Бегляк А.В.

ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ И КОНДЕНСАТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Жук В.Ю., Тимохова А.Ю., Орлюк К.С.
Научный руководитель – Айдарова З.Б.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР ITER

Гуторов М.С.
Научный руководитель – Седнин В.А.

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ АБСОРБЦИОННОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Лукашик О. С.
Научный руководитель – Седнин В.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛО-ВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА

Мясникович В. В., Левков К. Л.
Научный руководитель – Романюк В.Н.

ИНТЕГРАЦИЯ ПАРОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С НИЗКОКИПЯЩИМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ В СИСТЕМУ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ

В. В. Мясникович, К. Л. Левков
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – В. Н. РОМАНЮК

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ТЕПЛОВОЙ ВОЛНЫ

Калинович М.С.
НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ – Седнин В.А., Петровская Т.А.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕПЛОМЕТРИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

РАКОВСКАЯ Н.С., ИВАНЕЙЧИК С.Л.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПЕТРОВСКАЯ Т.А.

РОТОРНЫЙ ПЛЕНОЧНЫЙ ИСПАРИТЕЛЬ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

БАКУНОВИЧ И. С., ЮРАШЕВИЧ О. В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АЙДАРОВА З. Б.

ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Дальков А.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Седнин В.А.

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

РАЙКО Д. М., КРИВИЦКАЯ Е. А., ГУЗЫРЕВИЧ И.В., КУЦКО Т.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Седнин В. А.

УДК 662.747

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ И КОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Кривицкая Е.А.

Научный руководитель - Космачева Э.М.

Проблемы энергосбережения в настоящее время чрезвычайно актуальны в первую очередь в связи с ограниченностью природных ресурсов, неравномерным их распределением, а также в связи с возрастающим техногенным загрязнением окружающей среды.

При проектировании систем хладоснабжения тип холодильной установки выбирается на основе технико-экономических расчетов. Поскольку основной статьей эксплуатационных расходов для холодильных машин всех типов являются затраты на энергию, методика сравнения энергетической эффективности различных типов холодильных установок представляет интерес.

В компрессионных и абсорбционных холодильных машинах используются различные виды энергии: в компрессионных – электрическая, абсорбционные потребляют энергию в виде теплоты, причем в последнем случае могут использоваться так называемые вторичные тепловые энергоресурсы.

Основным первичным ресурсом для выработки тепла и электрической энергии служит топливо, при сравнении вариантов используется понятие условное топливо.

Энергетическим показателем любой холодильной установки является холодильный коэффициент ε : отношение полезного эффекта (количество выработанного холода Q_o) к затраченной энергии. Так для компрессионной холодильной установки (КХУ)

$\varepsilon_k = \frac{Q_o}{N_k}$, где N_k - мощность привода компрессора. Для абсорбционной (АХУ) $\varepsilon_a = \frac{Q_o}{Q_z}$, где Q_z - расход теплоты в генераторе.

Удельный расход условного топлива (первичного энергоресурса) на выработку единицы холода в КХУ $b_k = \frac{a b_z}{\varepsilon_k} (1 + \beta_k)$, где b_z - удельный расход условного топлива в энергосистеме на отпуск электроэнергии, в современных энергосистемах $b_z = 0,32 \dots 0,34 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$; β_k - коэффициент расхода на собственные нужды, можно принять $\beta_k = 0,05 \dots 0,07$; a - размерный коэффициент, например $a = 278 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}/\text{ГДж}$.

Удельный расход условного топлива на выработку единицы холода в АХУ $b_a = \frac{b_T}{\varepsilon_a} (1 + \beta_a)$, где b_T - удельный расход условного топлива на единицу отпускаемого тепла; β_a - коэффициент расхода на собственные нужды, можно принять $\beta_a = 0,1 \dots 0,15$.

Условие одинаковой энергетической экономичности абсорбционной и компрессионной установок $\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_k} = \frac{b_T (1 + \beta_a)}{a b_z (1 + \beta_k)}$.

При $\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_k} > \frac{b_T (1 + \beta_a)}{a b_z (1 + \beta_k)}$ энергетически выгоднее абсорбционные установки. При обратном знаке неравенства выгоднее компрессионные установки.

Анализируя неравенство, можно сделать вывод, что энергетическая целесообразность сравниваемых типов холодильных установок в значительной мере зависит от удельных расходов топлива на выработку теплоты b_T и электроэнергии b_z . Причем b_z

является сравнительно стабильной величиной, а b_T может изменяться в достаточно широком диапазоне в зависимости от источника выработки теплоты (котельная, ТЭЦ). В случае если источником теплоты является ТЭЦ, то b_T определяется параметрами свежего пара и пара в отборе турбин.

Так, если для заданных условий работы в компрессионной установке получен холодильный коэффициент $\varepsilon_k = 4$, то равноэкономичная ей по расходу топлива абсорбционная установка должна иметь следующие холодильные коэффициенты: при теплоснабжении от котельной $\varepsilon_a = 1,7$, при теплоснабжении от ТЭЦ с начальными параметрами пара 13 МПа, 555 °С и использовании пара из отбора давлением 0,1 МПа $\varepsilon_a = 0,68$.

При использовании в качестве источника теплоты вторичных энергетических ресурсов промышленного предприятия абсорбционная холодильная установка становится энергетически целесообразной даже при весьма малых значениях холодильного коэффициента.

УДК 662.747

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕГОНКИ БИНАРНОЙ СМЕСИ

Лазук Д.А.

Научный руководитель - Космачева Э.М.

Расход орошающей ректификационную колонну высококонцентрированной жидкости (флегмы) принимается в избытке по отношению к минимально возможной величине, т.е. рабочее (действительное) флегмовое число $R > R_{\min}$. Минимальное

флегмовое число $R_{\min} = \frac{x_d - y_f^*}{y_f^* - x_f}$, где x_f и x_d - мольные доли летучего компонента в

исходной смеси и дистилляте, соответственно, y_f^* - мольная концентрация летучего компонента в парах, находящихся в равновесии с исходной смесью.

Нагрузки ректификационной колонны по пару и жидкости определяются рабочим флегмовым числом, оптимальное значение которого можно найти путем технико-экономического расчета.

От значения R зависят капитальные затраты и эксплуатационные расходы на ректификацию. Эксплуатационные расходы прямо пропорциональны R и определяются расходом теплоносителя (греющего пара) на испарение жидкости в кубе-испарителе. Капитальные затраты в зависимости от R имеют минимум, соответствующий минимальному рабочему объему колонны. Появление экстремума рабочего объема колонны можно объяснить тем, что при увеличении флегмового числа число контактных устройств, а значит, высота колонны уменьшаются. В то же время площадь её сечения при сохранении скорости движения паров по колонне снизу вверх на оптимальном уровне (1...2 м/с) увеличивается.

Суммарные (приведенные) затраты в зависимости от значения флегмового числа также будут иметь минимум, который в общем случае не совпадает с минимумом капитальных затрат.

В качестве критерия оптимизации рационально принять минимум приведенных затрат $\Pi = EK + \Theta$, руб/год, где E - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, год⁻¹; K - капитальные затраты, руб; Θ - эксплуатационные затраты, руб/год.

Для исследования влияния флегмового числа на геометрические размеры ректификационной колонны необходимо с помощью широко используемого в инженерной практике графоаналитического метода определить действительное число тарелок n при различных значениях флегмового числа R . А также на основании уравнения неразрывности, составленного на свободное (не занятое тарелками) сечение колонны, найти величину последнего S .

Тогда объем активной части колонны $V = S \cdot H = S h(n-1)$, где H - высота активной части колонны; h - расстояние между тарелками.

Геометрические размеры определяют металлоемкость колонны, а значит ее стоимость. Капитальные затраты складываются из стоимости колонны Π_K , стоимости трубопроводов, арматуры, КИП, фундаментов, затрат на доставку и монтаж установки, которую можно оценить в 60...80 % от стоимости колонны, и стоимости вспомогательного оборудования (испарителя, дефлегматора, подогревателя исходной смеси, холодильников дистиллята и кубового остатка, насосов) $K = 1,7 \Pi_K + \Sigma \Pi_{\text{всп.об}}$. В стоимость

вспомогательного оборудования $\Sigma C_{\text{всп.об}}$ достаточно включить только стоимость испарителя и дефлегматора, т.к. при изменении флегмового числа или конструкции колонны другое оборудование остается практически неизменным. В этом случае $K = 1,7 C_{\text{к}} + C_{\text{и}} + C_{\text{д}}$.

Эксплуатационные затраты при оптимизационных расчетах можно представить только суммой затрат на греющий пар и воду, охлаждающую дефлегматор, т.к. они наиболее зависят от величины флегмового числа, $\Theta = (C_{\text{п}} D + C_{\text{в}} G) \tau$, руб/год где D и G - расход греющего пара в испаритель и охлаждающей воды в дефлегматор (находятся из уравнений теплового баланса соответствующего теплообменного аппарата), кг/ч; $C_{\text{п}}$ и $C_{\text{в}}$ - цена пара и охлаждающей воды, руб/кг; τ - число часов использования установки, ч/год.

Как показали исследования, проведенные по описанной методике для различных бинарных смесей взаиморастворимых компонентов, коэффициент избытка флегмы, при котором достигается оптимальное флегмовое число, не превышает 1,3.

УДК 620.9:662.92

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РУДОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

Бубырь Т. В.,

Научный руководитель – аспирант Муслина Д.Б.

В работе рассматривается энергообеспечение завода по добыче и переработке руды. Существующее положение следующее: на заводе имеется котельная, на которой установлены два паровых (давление пара 13 ат) и один водогрейный котел, также на заводе имеются утилизационные установки, которые получают тепловую энергию от дымовых газов от существующих печей. Летом тепловая энергия рассеивается в окружающую среду. Электропотребление завода составляет в год.

Предлагается следующее решение проблемы: возведение собственной мини-ТЭЦ на базе газопоршневых агрегатов электрической мощностью 14,1 МВт для частичного покрытия электрической нагрузки. Двигатели внутреннего сгорания имеют двухступенчатую утилизацию дымовых газов: первая – выработка пара давлением 13 ат, вторая – получение горячей воды на нужды отопление и горячего водоснабжения. Для устранения выбросов тепловой энергии в окружающую среду были найдены новые потребители этой энергии, а именно участок флотационной подготовки. Флотация – это процесс разделения мелких твердых частиц (главным образом минералов) в водной суспензии (пульпе) или растворе, основанный на избирательной концентрации (адсорбции) частиц на границах раздела фаз в соответствии с их поверхностной активностью или смачиваемостью. На данный момент рекомендации по подаче технологической воды в секции размола и аэрации в подогретом состоянии выполняются не в полном объеме (подогрев должен осуществляться до 30-50 °С). Сейчас подогрев осуществляется путем подачи пара непосредственно в общий бак до недостаточной температуры. Предлагается подогревать эту воду до необходимой температуры сетевой водой. Для этого устанавливаются тонкостенные теплообменные аппараты интенсифицированные (ТТАИ), которые имеют малые габариты и хорошие показатели работы.

На нужды технологии необходим пар с давлением 5 ат, поэтому сегодня пар от котельной с давлением 13 ат направляют в редуцирующие установки. Предлагается установить паровую винтовую машину. Это паровая турбина, которая может работать на влажном паре и не испытывать проблем.

Для надежной работы газопоршневого агрегата устанавливается приточно-вытяжной агрегат, который осуществляет очистку и подогрев или охлаждение, в зависимости от температуры окружающей среды, поступающего на процесс горения воздуха.

Для охлаждения воздуха летом устанавливается абсорбционная холодильная машина, которая, используя тепловую энергию окружающей среды и горячей сетевой воды, выдает захлажденную воду с температурой 7°С.

Была составлена математическая модель тепловой схемы мини-ТЭЦ, составлены необходимые матрицы, решена математическая задача. Расчет производился для требуемых режимов работы объекта.

Экономические показатели следующие: годовая выработка теплоты на мини-ТЭЦ составляет 0,4 млн. ГДж/год, годовой отпуск электроэнергии - 113,5 млн. кВт·ч. Годовой расход условного топлива составляет 33 тыс. т. Простой срок окупаемости 3,2 года.

С учетом полученных значений экономии топлива, интегрального объема и инвестиций в проект и других соответствующих показателей, проведена оценка экономической эффективности решения, результаты которой представлены на рисунке 1.

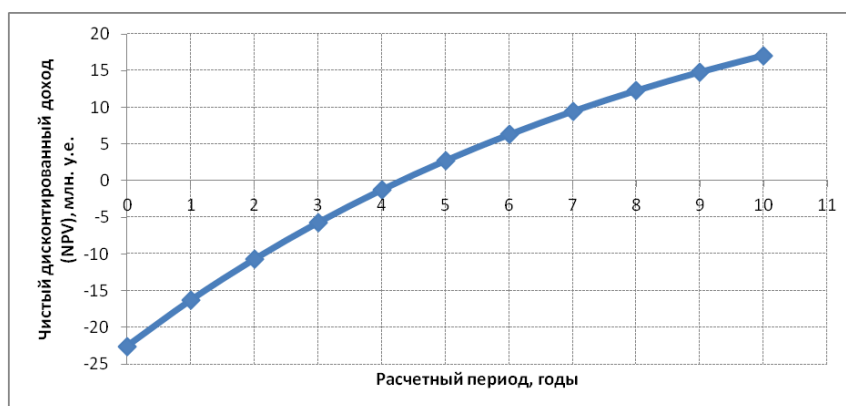


Рисунок 1 – Зависимость значения чистого приведенного дохода от времени

Динамический срок окупаемости проекта составляет 4,2 года. Индекс рентабельности - 1,8 у.е./у.е, что Анализ полученных данных указывает на высокую экономическую эффективность проекта.

УДК 620.92.002.68

АБСОРБЦИОННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Бубырь Т.В.

Научный руководитель – Романюк В.Н.

На сегодняшний день задача совершенствования энергообеспечения технологических процессов весьма актуальна. Без дальнейшего, непрерывного снижения энергетической составляющей себестоимости продукции в условиях Беларуси невозможно не только расширение экспорта, но и сложно сохранить имеющееся положение. Необходимость решения многочисленных задач по совершенствованию энергообеспечения технологических процессов вызвало появлений предложений различных устройств, в той или иной мере снижающих остроту проблемы. Решения большей частью известны и предложены впервые не сегодня, но до последнего времени были не востребованы. К их числу относятся и абсорбционные тепловые насосы, позволяющие повысить температуру низкотемпературных побочных тепловых потоков теплотехнологий до уровней, обеспечивающих их повторное использование. В результате снижаются потребление первичных энергоресурсов и нагрузка на окружающую среду. Решение обозначенной задачи утилизации низкопотенциальных тепловых потоков известно с помощью отопительных парокомпрессионных тепловых насосов и достаточно широко используется в межсезонье в помещениях, оборудованных неполными кондиционерами. Последние переключаются из режима холодильной машины в режим отопительного теплового насоса для поддержания температуры за счет использования электроэнергии и тепловой энергии наружного воздуха. Двойное назначение указанных установок обратного цикла повышает их востребованность.

Принципиальных отличий абсорбционных тепловых насосов от парокомпрессионных альтернативных аналогов два: абсорбционный вариант имеет более низкий отопительный коэффициент (коэффициент преобразования энергии), но, при этом, является теплоиспользующим, т.е. для привода абсорбционных установок требуется тепловая энергия. Использование тепловой энергии для обеспечения работы абсорбционных тепловых насосов, которая далее используется в тепловой форме и обеспечивает им и энергетическую, и экономическую целесообразность.

В настоящее время предлагаются абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы (АБТН) широкого типоразмерного ряда, обеспечивающего мощность отпускаемого полезного теплового потока с температурой до 85 °С от киловатт до десятков мегаватт. Температура утилизируемого потока, при этом, составляет величину порядка 20°С. В качестве теплоносителя, требуемого для привода АБТН, может использоваться влажный пар давлением 0,4 МПа, природный газ, сжигаемый непосредственно в установке, дымовые газы соответствующей температуры, вода с температурой выше 140 °С. Выпускаются указанные АБТН в готовой и удобной для использования конструкции, получившей название чиллера. При необходимости они допускают одновременное использование и в роли холодильных машин, обеспечивающих отпуск холодной воды по температурному графику 7/12°С. В результате, что немаловажно, практически во всех случаях может быть обеспечено непрерывное использование абсорбционной установки в течение всего года.

Проблема использования тепловых вторичных энергоресурсов. Структура потоков тепловой энергии промышленных зон, рассеиваемых в окружающей среде, такова, что не менее трети выбросов характеризуется температурами до 50 С. Относительно низкая температура тепловых вторичных энергоресурсов (ВЭР) затрудняет для них поиск потребителей. Это, прежде всего, тепловые потоки разнообразных и многочислен-

ных систем оборотного охлаждения, систем вентиляции и сточных вод, выпарные аппараты, ректификационные колонны, иные технологические установки и процессы с соответствующей температурой тепловой обработки, прежде всего, пищевой промышленности. В указанных и им подобных системах использование АБТН энергетически выгодно практически и приводит к экономии первичных энергоресурсов во всех случаях, а при существующих ценах на тепловую энергию и на сами насосы обеспечивается и экономическая целесообразность. Кроме внешнего использования тепловых потоков, температура которых обеспечивается на уровне ≈ 85 °С, более привлекательное внутреннее использование в выпарных аппаратах, ректификационных колоннах и пр. Возможно разделение теплового потока, поступающего с водяным теплоносителем, например, по температурному графику 90/80 °С, на два потока: один с температурами 120/110 С, второй – 37/30 °С. К числу технических систем, для которых перспективно использование АБТН, следует отнести и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), где из-за технического необходимого минимального пропуска пара в конденсатор системный годовой пережог топлива одной станцией оценивается до 6 тыс. т у. т., в валюте – более 1,5 млн USD, который можно устранить установкой АБТН на потоке циркуляционной воды и потоках воды систем охлаждения масла, генератора и пр.

В роли рабочего тела в АБТН используются растворы (в рассматриваемом случае «вода - бромистый литий»), в которых концентрация компонентов различна в жидкой и паровой фазах. Концентрация компонентов не может отличаться от величины, соответствующей уравнению равновесия раствора, что делает возможным конденсацию (абсорбцию) холодного пара более горячим жидким раствором, если того требует уравнение равновесия.

Эффективность АБТН, во многом, зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется: чем уже последний, тем выше энергетические показатели установки. При температурах нагреваемого потока до ≈ 85 °С, утилизированного потока осуществляется ≈ 20 °С, давление греющего пара для привода АБТН – 0,4 МПа, отопительный коэффициент АБТН составляет величину 1,7. Нетрудно подсчитать, что в этом случае затраты топлива на обеспечение соответствующих тепловых процессов уменьшаются на 40 %.

Размещаются АБТН в помещении или ином укрытии, где во всех случаях температура не должна опускаться ниже 5°С. Для привода АБТН могут быть использованы различные теплоносители: пар, вода, дымовые газы, топливо. Тепловые насосы и холодильные машины оказываются взаимозаменяемы, что может быть полезным во многих случаях, например, при надстройке ТЭЦ газотурбинными установками, когда потребуются стабилизировать параметры ГТУ в летний период, охлаждая всасываемый компрессором воздух. Безусловно, требуется индивидуальный подход исходя из комплекса условий конкретной площадки: компоновочных, гидравлических и пр. АБТН это практически те же, хорошо знакомые многим специалистам, абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины, которые апробированы на практике и отлично себя зарекомендовали в условиях Республики Беларусь. Однако востребованность АБТН в условиях Республики Беларусь на порядок большая чем АБХМ.

УДК 620.91/98

ИНТЕНСИВНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯХ

Д. Б. Муслина, Т. В. Бубырь,
Научный руководитель – Романюк В.Н.

Доля природного газа (ПГ) в мировом потреблении топлива составляет порядка 24 %, запасов ПГ хватит еще на 250 лет (данные МЭА за 2009 г.). В структуре приходной части энергобаланса Беларуси доля ПГ составляет 62 %, поэтому отказ от его использования и переход на другие виды топлива при наличии развитой газовой инфраструктуры нецелесообразно, тем более, что доля Беларуси в мировом потреблении ПГ составляет не более 0,5 %. Таким образом, для повышения конкурентоспособности белорусских предприятий, необходимо снижение себестоимости товаров, в том числе, и за счет снижения энергоемкости ВВП, которая на сегодняшний день составляет величину, порядка 31 % против 14 % в Германии, Японии и 15 % во Франции.

В работе была рассмотрена структура энергопотребления в промышленных системах преобразования вещества, которая указывает на теплотехнологическую направленность промышленного производства: до 74 % первичных энергоресурсов в стране расходуется в тепловой форме. Проведен анализ структуры теплотребления по отраслям промышленности, структуры генерации потоков электроэнергии (ЭЭ) и тепловой энергии (ТЭ) для энергообеспечения промышленных предприятий, на основании которого следует вывод о невысокой эффективности преобразования первичных энергоресурсов в электрическую и тепловую формы энергии, и указывает на наличие энергосберегающего потенциала. На сегодня лишь небольшая часть 28 % промышленного потребления ТЭ обеспечивается комбинированным способом, при этом на распределенные собственные источники приходится до 10 %, оставшиеся 56 % промышленного потребления ТЭ обеспечиваются за счет котельных, при этом на обеспечение промышленности тепловой энергией затрачивается до 62 % первичных энергоресурсов, в том числе 30,8 % в процессах непосредственного сжигания топлива. Применение существующих путей повышения эффективности использования ТЭР, как модернизация теплоизоляции, введение регулируемого электропривода, переход на эффективные оборудование, к значительному эффекту не приводит. Требуется новый системный подход, включающий рациональное построение ТЭСПП, оценку суммарного потребления энергоресурсов по видам, наличие ВЭР и их использование, эксергетический анализ совместно с традиционным термодинамическим анализом на базе баланса энергии.

Появление ДВС нового поколения имеющих высокие эксплуатационные показатели, создают достаточные условия для кардинального изменения ситуации с энергообеспечением теплотехнологий, когда большая часть ЭЭ для промышленности может производиться на распределенных источниках, которыми являются собственные когенерационные комплексы, обеспечивающие удельную выработку ЭЭ на тепловом потреблении, порядка 0,80–1,10 МВт·ч/Гкал. Переход к собственной комбинированной генерации электроэнергии при существующем тарифе на ПГ снижает расходы на используемый мегаватт-час электроэнергии до 50 долларов. С учетом соотношения электрического и теплового КПД для современных ДВС, числа часов работы в году с номинальной мощностью, которое для промышленных блочных газовых ТЭЦ, при должном инженерном обеспечении находится на уровне 7 тыс. часов, рассчитывается интегральная дополнительная мощность комбинированной выработки электроэнергии, составляющая не менее 1 ГВт. Годовое снижение импорта ПГ, связанное с реализацией только

данного энергосберегающего потенциала, составляет не менее 3 млн т у. т. или 20 % потребления первичных энергоресурсов для систем преобразования вещества.

УДК 620.9:621.314

ВНЕДРЕНИЕ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ГРС

Кузьмин Р.О., Иванчиков Е.О., Кривулец А.

Научный руководитель – ассистент Бегляк А.В.

Одним из главнейших факторов развития тяжелой, химической, пищевой и легкой промышленности, является энергосбережение. В связи с постоянно растущими ценами на энергоносители все чаще используют нетрадиционные источники энергии. Много внимания уделяется энергии воды, солнца и ветра, при этом редко вспоминая о возможности использования потенциальной энергии газа в магистральных газопроводах.

Сегодня крупные газодобывающие компании наращивают объемы добычи и поставок природного газа, при этом давление газа в магистральном трубопроводе может достигать 100 бар и производительностью до 500 000 м³/ч. Перед любыми населенными пунктами, промышленными или химическими предприятиями, котельными или ТЭЦ, потребляющими природный газ, давление газа понижается до уровня, необходимого по условиям его безопасного потребления. Чаще всего, необходимое для использования, давление газа в несколько десятков раз меньше, чем давление газа в магистральном газопроводе. Для понижения давления служат газораспределительные станции (давление газа снижается до 6-10 бар), а затем газораспределительные пункты, которые путем дросселирования снижают давление до необходимого, при этом вся потенциальная энергия газа выбрасывается в окружающую среду (ОС).

Впервые о возможности использовать энергию природного газа для выработки электроэнергии предложили академики Миллиончиков и Капица еще в начале 40-х годов, а сегодня в мире установлено более 2000 детандер - генераторных агрегатов (ДГА) различных мощностей. Суть работы ДГА заключается в том, что потенциальная энергия газа не выбрасывается в ОС, а преобразовывается в механическую, а та в свою очередь в электрическую энергию. Таким образом, ДГА выглядит идеальным решением для выработки дополнительной электроэнергии не сжигая энергоносители. Но как и у любой технологии, при использовании ДГА есть минус: поскольку газ при расширении охлаждается, а на выходе после детандера температура газа должна быть не менее 0°С, то перед ДГА газ нужно подогревать до температуры 60 - 140°С. Температура до которой стоит нагревать природный газ зависит от многих факторов, среди которых: используемые материалы трубопроводов, диапазон изменения расхода проходящего газа в течении года, способ нагрева газа и т.д. Сегодня с целью нагрева газа можно использовать как тепловые выбросы от производства, ТЭС или ГПА, так и нагрев газа с помощью тепловых насосов.

Однако, как правило, крупные ГРС находятся на немалом расстоянии от потребителей и за счет промышленных тепловых выбросов газ нагревать проблематично, а использование тепловых насосов для нагрева таких объемов газа слишком дорогостоящее и малоэффективное в данном случае вложение денег. В свою очередь, использование ГПА может быть крайне интересно в промышленных масштабах. Дело в том, что нагрузка на газопоршневых агрегатах может дифференцированно изменяться в зависимости от необходимости количества тепловой энергии (которое в свою очередь зависит от потока природного газа и от начальной температуры этого потока). Летом температура газа в магистральном трубопроводе составляет 10 - 16°С, а зимой не более 0 - 2°С.

Таблица 1 – Параметры природного газа

Параметр	Единица измерения	Величина
Средняя температура газа зимой	°С	2
Средняя температура газа летом	°С	16
Давление в магистральном трубопроводе на входе	МПа	4,4
Давление в магистральном трубопроводе на выходе	МПа	1,2

Тепловая мощность, необходимая для подогрева газа до 85°С может быть найдена по формуле:

$$N_{\text{нагр.}} = G(i_2 - i_1) \quad (1)$$

G – расход газа через детандер;

i_2 , кДж/кг – энтальпия природного газа при температуре 85 °С;

i_1 , кДж/кг – энтальпия природного газа при начальной температуре;

Таким образом, требуемая тепловая мощность летом составит 4 905 кВт, а зимой 7 959 кВт. В соответствии с этими данными, выбираем ГПА производства компании Warsila, в год вырабатывается примерно 46 826 МВт ч электрической энергии, только за счет использования ДГА.

Преимущества:

«Полезное» использование потенциальной энергии природного газа (без сброса давления).

Получение электрической энергии.

Минимальные затраты на эксплуатацию.

Недостатки: большие капитальные затраты.

УДК 66.021.4

ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ И КОНДЕНСАТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Жук В.Ю., Тимохова А.Ю., Орлюк К.С.

Научный руководитель – Айдарова З.Б.

Выпарные установки и аппараты применяются в химической, металлургической, микробиологической промышленности, а также многих других отраслях народного хозяйства для очистки сточных вод и создания замкнутого цикла использования воды, для регенерации растворов, а также в качестве основного технологического оборудования при получении ряда химических продуктов.

AlfaVar и AlfaCond – новое поколение выпарных аппаратов и конденсаторов. Использование AlfaVar и AlfaCond эффективно, экономично и выгодно.

Преимущества AlfaCond:

- снижение затрат (на изготовление аппарата требуется меньше материала);
- снижение загрязнений (высокая турбулентность потока охлаждающей воды практически исключает образование загрязнений и отложений);
- легкое обслуживание (конструкция позволяет быстро и легко проводить осмотр и чистку поверхностей теплообменника);
- возможность менять производительность (производительность регулируется количеством пластин);
- полностью противоточные потоки (создают возможность совместного охлаждения неконденсируемых газов лучше, чем при применении кожухотрубных аппаратов).

Преимущества AlfaVar:

- высокая эффективность теплопередачи (высокая турбулентность приводит к тому, что коэффициент теплопроводности значительно выше, чем в кожухотрубных выпарных аппаратах);
- экономичность (требуется значительно меньше материала);
- простота обслуживания и эксплуатации (конструктивно установка очень удобна для очистки);
- увеличение производительности (производительность регулируется путем изменения количества кассет с использованием одной существующей рамы);
- улучшение качества продукта (исключительная низкая инерционность установки позволяет минимизировать потери продукта).

Сегодня более 1500 установок AlfaVar и AlfaCond установлены в различных отраслях промышленности по всему миру. Компания Альфа Лаваль предлагает полный модельный ряд установок для широкого спектра применений.

УДК 621.039.6

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР ITER

Гуторов М.С.

Научный руководитель – Седнин В.А.

Управляемый термоядерный синтез (УТС) — синтез более тяжёлых атомных ядер из более лёгких с целью получения энергии. Энергия синтеза рассматривается многими исследователями в качестве «естественного» источника энергии в долгосрочной перспективе. Для инициирования (зажигания) реакции синтеза необходимо нагреть газ из смеси дейтерия и трития до температуры выше 100 миллионов градусов Цельсия. Для решения этой задачи были придуманы «магнитные бутылки», получившие название «Токамак».

ITER (ИТЭР) — проект международного экспериментального термоядерного реактора. Намеченная проектировщиками мощность установки составляет 500 МВт (при затрате энергии на входе системы всего около 50 МВт). Как итог, проект позволяет получить десятикратный выигрыш в энергии, по сравнению с затрачиваемой на поддержание реакции. Реактор ITER создается консорциумом, в который входят Европейское Сообщество, Япония, Россия, США, Китай, Южная Корея и Индия. ITER относится к термоядерным реакторам типа «токамак». Два ядра: дейтерия и трития сливаются, с образованием ядра гелия (альфа-частица) и высокоэнергетического нейтрона.

Сооружения ITER будут располагаться на 180 га. Наиболее важная часть — сам токамак и все служебные помещения — будут располагаться на площадке в 1 километр длиной и 400 метров шириной. В целом, сооружения ITER будут представлять собой 60-метровый колосс массой 23 тыс. тонн.

Стройку, стоимость которой первоначально оценивалась в 5 миллиардов евро, первоначально планировалось закончить в 2016 году, однако затем срок начала экспериментов сдвинулся к 2020 году.

Основной целью постройки реактора ITER является демонстрация уже достигнутых успехов в управлении плазмой и возможности реального получения энергии в термоядерных устройствах на основе существующей аппаратуры.

Испытания должны подтвердить, что непрерывная работа реактора в устойчивом режиме может быть обеспечена реально (с экономической и технической точек зрения это требование представляется очень важным), а запуск установки можно будет осуществлять без огромных затрат энергии.

Создание материалов для термоядерной установки является очень сложной задачей, поскольку они должны работать в течение многих лет при непрерывной бомбардировке интенсивным потоком нейтронов. В 1990-х годах было обнаружено, что высокой стойкостью при этих условиях могут обладать также некоторые сорта стали, имеющие специфический тип кристаллической решетки. Испытания на реакторах подтвердили, что детали, изготовленные из таких типов стали, действительно могут работать в требуемых условиях в течение примерно пяти лет без замены. С учетом далекой перспективы, необходимо разрабатывать композиты из карбида кремния, способные выдерживать очень высокие температуры (возможно, выше 1000°C). Это позволит значительно повысить термодинамическую эффективность установок, что является основной целью конструкторов.

Стоимость производимой электроэнергии, по оценкам самих авторов проектов, изменялась в широких пределах: от 9 евроцентов/кВт до 5 евроцентов/кВт, но предполагается, что эта цена будет уменьшаться по мере развития технологий. Можно сделать

общий вывод, что создание термоядерных станций вполне разумно с точки зрения экономики, особенно если учесть их важность для сохранения окружающей среды.

Уже сейчас выработана вполне разумная и упорядоченная программа действий, которая должна привести к созданию прототипа термоядерной электростанции. В этом случае, примерно через 30 лет мы сумеем впервые подать электрический ток от нее в энергетические сети.

УДК 620.92.002.68

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ АБСОРБЦИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Лукашик О. С.

Научный руководитель – Седнин В.А.

Абсорбционный тепловой насос – устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с более низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Для компенсации подобного неестественного перехода тепловой энергии требуется на привод АБТН затратить тепловую энергию (ТЭ). Абсорбционные установки обратного цикла уступают по энергетическим характеристикам парокомпрессионным машинам, но если последним для работы требуется энергетически и экономически более ценная механическая энергия, то первые могут использовать дешёвую тепловую энергию отборов паровых турбин, утилизационных котлов энергии выхлопных газов газовых двигателей внутреннего сгорания, вторичных энергоресурсов. Это обстоятельство и определяет для АБТН нишу, которую они в ближайшее время займут в различных технологических системах.

В роли рабочего тела в АБТН используются растворы (в рассматриваемом случае вода – бромистый литий), в которых концентрация компонентов различна для жидкой и паровой фаз. Концентрация компонентов не может отличаться от величины, соответствующей уравнению равновесия раствора, что делает возможным конденсацию (абсорбцию) холодного пара более горячим жидким раствором до выравнивания концентраций в соответствии с указанным уравнением.

В простейшем случае АБТН представляет собой сочетание четырёх теплообменников, размещённых в одном интегрированном корпусе (рисунок 1) Их эксплуатация энергетическому персоналу знакома и не создаёт проблем.

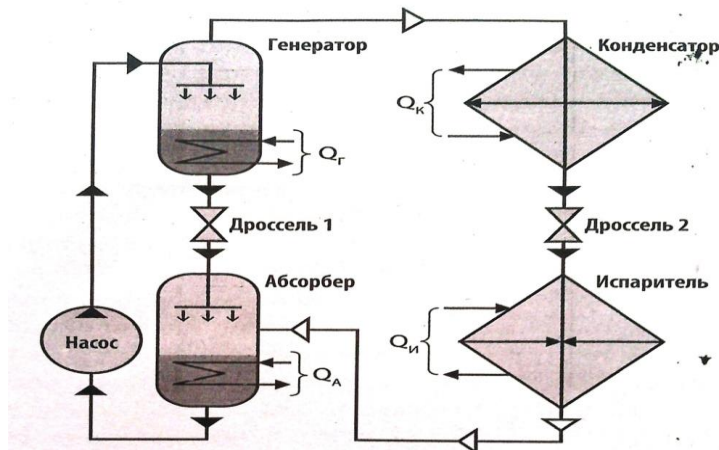


Рисунок 1 – Принципиальная схема простейшей абсорбционной установки обратного цикла (Q_G , Q_I – соответственно подводимая теплота в генераторе от греющего теплоносителя и в испарителе от охлаждаемого теплоносителя; Q_K , Q_A – соответственно подводимая теплота в конденсаторе и абсорбере к нагреваемому теплоносителю)

Два теплообменника (генератор и конденсатор) работают при более высоком давлении и их назначение – получить практически в чистом виде легкокипящую жидкость, в данном случае – воду. Два других теплообменника (испаритель и абсорбер) работают при пониженном давлении. Их задачей является отвод тепловой энергии от источника и превращение полученного пара в компонент жидкого раствора. В ходе описанных превращений от абсорбера и конденсатора отводится теплота соответствующих процессов сорбции и конденсации, которая передаётся нагреваемому теплоносителю,

например, сетевой воде. Требуется лишь исключить переход температур хладагента через граничные значения, не допустимые для раствора воды в бромистом литии, как при хранении, так и в процессе эксплуатации. Иначе говоря, имеются предельные значения температур потоков теплоотдающего (утилизируемого) и тепловоспринимающего, при которых возможна работа АБТН. Схема реального АБТН несколько сложнее, что связано с регенерацией, повышающей энергетическую эффективность установки, из-за чего несколько увеличивается число теплообменников и сложность схемы.

Эффективность АБТН во многом зависит от температурного диапазона, в котором он эксплуатируется: чем уже последний, тем выше энергетические показатели установки. Кроме этого, имеются предельные значения температур потоков теплоотдающего (утилизируемого) и тепловоспринимающего, при которых возможна работа АБТН.

При температуре нагреваемого потока 55°C , что соответствует температуре обратной сетевой воды в межотопительный период, подача циркуляционной воды на утилизацию осуществляется по графику $17/22^{\circ}\text{C}$ (давление в конденсаторе – 4 кПа). Нагрев сетевой воды в этом случае обеспечивается до температуры 64°C . В отопительный период, когда температура обратной сетевой воды может достигать 70°C , температура циркуляционной воды составит $49/45^{\circ}\text{C}$, чему соответствует давление в конденсаторе 15 кПа. Сетевая вода нагревается до 79°C . При температурах сетевой воды, находящихся в указанном диапазоне, прочие характеристики потоков можно определить линейной интерполяцией. Для средней температуры отопительного периода – $0,7^{\circ}\text{C}$ температура обратной сетевой воды равна 47°C , и требуемое для АБТН давление в конденсаторе составит 4 кПа. Рассматривая ситуацию с изменением параметров потоков в течение года, можно сделать вывод, что в первом приближении установка АБТН обеспечит поддержание давления в конденсаторе в течение всего периода работы на уровне 4 кПа. Давление греющего пара для привода АБТН не должно быть ниже 0,4 МПа, что может быть обеспечено отбором пара из регенеративного отбора № 4 турбины ПТ-60. Отопительный коэффициент АБТН в указанных случаях составляет величину 1,7.

Для сопряжения АБТН с турбогенератором ПТ-60 можно использовать как два чиллера меньшего, так и один большего типоразмера. Более гибким представляется вариант с двумя АБТН. Для их привода могут использоваться различные теплоносители: пар, вода, дымовые газы, топливо. В данном случае это пар давлением не менее 0,4 МПа. В варианте с двумя установками, кроме всего прочего, обеспечивается единообразие абсорбционного оборудования ТЭЦ: тепловые насосы и холодильные машины оказываются взаимозаменяемы, что может быть полезным при надстройке ТЭЦ газотурбинными установками, когда потребуются стабилизировать их параметры в летний период, охлаждая всасываемый компрессором воздух. Расположение АБТН возможно как в контейнерном варианте, так и в здании. Во всех случаях необходимо, чтобы температура в помещении не опускалась ниже 5°C . Безусловно, требуется индивидуальный подход исходя из комплекса условий конкретной площадки: компоновочных, гидравлических и пр.

С учётом стоимости строительно-монтажных работ и вспомогательного оборудования для реализации рассматриваемого в примере варианта требуется порядка 3 млн. USD. Для ТЭЦ при годовом числе часов работы турбогенератора 7,5 тыс. срок возврата инвестиций и прочие показатели определяются снижением потребления природного газа на 11,9 тыс. т.у.т при неизменной тепловой нагрузке и снижении мощности генерации электроэнергии на 4,7 МВт. Средневзвешенный тариф и себестоимость электроэнергии на ТЭЦ соответственно равны 88,5 и 51,4 USD/(МВт·ч). При стоимости природного газа 244 USD за 1 т.у.т. годовой экономический эффект обеспечивает простой срок возврата инвестиций – 2,3 года. Динамический срок окупаемости при ставке

дисконтирования 20% составляет 2,8 года, внутренняя норма рентабельности – 42%. Следует отметить, что данные приведены для варианта, когда 39% электроэнергии реализуется населению и 61% – промышленным потребителям. С уменьшением доли населения в потреблении электроэнергии экономические показатели ухудшаются, и при 100%-ной реализации электроэнергии промышленным потребителям по тарифу 113 USD/(МВт·ч) простой срок возврата инвестиций увеличивается до 4,9 лет. Динамический срок окупаемости при ставке дисконтирования 20% выходит за горизонт расчёта 10 лет и лишь при ставке дисконтирования 15% уменьшается до 9,6 лет.

Системная годовая экономия топлива в результате реализации проекта оценивается в 5,5 тыс. т.у.т. При этом неизменно потребление тепловой и электрической энергии. Экономический годовой эффект системного снижения потребления природного газа оценивается в $\approx 1,3$ млн. USD. При приведённых ранее прочих значениях аргументов простой срок окупаемости составляет 2,7 года, динамический срок окупаемости при ставке дисконтирования 20% – 4,3 года, внутренняя норма рентабельности – 35%.

Приведённые энергетические и экономические показатели указывают на отличную инвестиционную привлекательность проекта для ОЭС страны.

УДК 620.92.002.68

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛО-ВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Мясникович В. В., Левков К. Л.
Научный руководитель – Романюк В.Н.

Основным стеновым материалом являются стеновые блоки из ячеистого бетона, объемы производства которого непрерывно растут. Республика Беларусь является мировым лидером по производству ячеистого бетона, на 1000 жителей ежегодно приходится 290-310 м³ изделий из ячеистого бетона — первое место в Европе. По объемам производства наша страна занимает третье место в Европе после России и Польши [1]. В Республике Беларусь более десятка предприятий – производителей ячеистого бетона. Теплотехнология производства автоклавного ячеистого бетона предполагает использование в технологии молотых сырьевых материалов, при автоклавной обработке которых образуются новые соединения. Тепло-влажностная обработка (ТВО) ячеистого бетона обычно проводится при давлении пара 10-13 ата и состоит из ряда операций:

- 1) подъем давления (осуществляется плавное заполнение автоклава паром, длительность процесса 1,5-2,5 часа);
- 2) изотермическая выдержка (процесс проходит при постоянном давлении, ввиду чего в автоклав продолжает поступать пар, компенсируя потери давления из-за конденсации пара в самом автоклаве; длительность процесса ≈ 6 часов);
- 3) сброс давления (осуществляется за счет сброса пара, длительность процесса 1,5-2,5 часа) [1].

Так, все вышеперечисленные процессы сопровождаются образованием низкопотенциальных тепловых отходов в виде конденсата и сбросного пара. Кроме этого, цикл работы автоклава включает в себя периоды загрузки и разгрузки, что в результате делает график образования конденсата и сбросного пара автоклавом еще более неравномерным. Комплекс этих факторов делает использование вторичных энергоресурсов (ВЭР) в производстве ячеистого бетона довольно затруднительным.

В то же время, для повышения технологического КПД процесса ТВО ячеистого бетона, прежде всего, следует обратить внимание на внутренне использование тепловых отходов в технологии. Варианты использования сбросного пара: перепуск пара в другой автоклав, барботаж сбросного пара в конденсат, аккумулярование в неиспользуемом автоклаве. Однако, хотя процесс перепуска пара и дает некоторую экономию первичной энергии, он увеличивает продолжительность технологического цикла, а барботаж пара в конденсат не приносит ощутимого эффекта. Аккумулярование сбросного пара позволяет выровнять график его образования. Вариант использования конденсата после процесса ТВО – нагрев питательной воды в котельной. Выровнять график образования конденсата можно также с помощью аккумуляторов (жидкостных или основанных на фазовом переходе). Если отказаться от вышеперечисленных мероприятий ввиду их малой эффективности, то вопрос утилизационного использования тепловых отходов остается открытым.

Оптимальным вариантом использования низкопотенциальной теплоты конденсата и сбросного пара является интеграция в систему тепловых двигателей на базе паротурбинных установок для генерации эксергетически ценной электрической энергии. Использование аккумуляторов теплоты позволяет выровнять графики образования ВЭР и сделать работу паросиловой установки стабильной, зависящей лишь от параметров окружающей среды.

В мировой практике классически сложилось, что реализация данного варианта возможна при интеграции в систему паровых турбогенераторов, работающих по циклу Ренкина на органическом теплоносителе (ORC). Этот цикл достаточно прост, хорошо изучен и оптимизирован. Однако существуют и иные варианты генерации электроэнергии, в частности циклы, работающие на водоаммиачной смеси (циклы Калины, Мелони-Робертсона, Госвами) [2, 3], при том, что теоретически цикл Калины является более совершенным, чем цикл ORC. Геотермальная электроцентраль Húsavík в Исландии, единственная на данный момент в мире, работающая по циклу Калины, имеет проектную мощность 2 МВт, реальная мощность станции – 1,7 МВт [2].

Литература:

1. Голубева Т.Г., Сажнев Н.П., Галкин С.Л. Опыт производства и применения ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь / Сажнев Н.Н. Архитектура и строительство, 2008.
2. Pall Wladimarsson. ORC and Kalina. Analysis and experience // Lecture 3 / Washington State University, 2003.
3. N. Galanis, E. Cayer, P. Roy, E.S. Denis, M. Desilets Electricity generation from low temperature sources // Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 2, No. 2, pp. 55-67, 2009.

УДК 620.97

ИНТЕГРАЦИЯ ПАРОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С НИЗКОКИПАЩИМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ В СИСТЕМУ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ

В. В. Мясникович, К. Л. Левков
Научный руководитель – В. Н. Романюк

В последние годы наблюдается тенденция роста удельного веса строительства и промышленности строительных материалов в структуре ВВП, таблица 1. В 2011 г. производством строительных материалов занималось 935 организаций. Численность промышленно-производственного персонала в этот период составляла 70,7 тыс. человек [2].

Таблица 1 – Удельный вес строительства и промышленности строительных материалов в структуре ВВП (в процентах) [1, 2, 3]

Рассматриваемый период	000	005	006	007	008	009	010	011
ВВП	00	00	00	00	00	00	00	00
Строительство	,4	,9	,9	,5	,3	0,7	3,4	,8
Промышленность строительных материалов	,1	,6	,7	,8	,3	,6	,4	,8
Прочие отрасли	2,5	1,5	0,4	9,7	8,4	0,7	1,2	3,4

В настоящее время предприятия промышленности строительных материалов выпускают более 100 видов продукции различного назначения. Среди них – цемент, стеновые, кровельные и нерудные материалы, асбестоцементные, керамические и санитарно-технические изделия, стекло и многое другое. Потенциал промышленности строительных материалов позволяет не только удовлетворять потребности внутреннего рынка, но и поставлять продукцию в страны ближнего и дальнего зарубежья.

Производство некоторых видов строительных материалов (цемент, стеновые материалы и сборные железобетонные изделия) в период с 2005 по 2011 год возросло приблизительно в 1,5 раза [2]. В особенности, увеличение интенсивности строительства жилья и других объектов за последние полдесяток лет выдвинуло производство стеновых материалов в ряды наиболее используемых и производимых строительных материалов в Республике Беларусь. Стеновые материалы включают в себя широкий спектр продукции различной по свойствам, назначению, происхождению, таблица 2:

Таблица 2 – Производство стеновых материалов по видам в 2005–2011 гг. (млн. усл. кирпичей) [2]

Рассматриваемый период	005	006	007	008	009	010	011
Стеновые материалы, из них:	961	646	194	389	729	087	249
- кирпич строительный	38,1	34,9	084,4	102,8	60,4	002,3	55,9

- стеновые крупные бетонные и силикатные блоки	12,6	64,2	90,4	93,4	17,2	11,2	87,4
- стеновые мелкие блоки (без блоков из ячеистых бетонов)	5,4	3,9	9,3	11,0	9,0	0,9	0,3
- стеновые блоки из ячеистых бетонов	964	478	830	982	456	772	972

Однако промышленность строительных материалов имеет также и ряд проблем. Основная из них – износ основных средств материально-технической базы на $\approx 55\%$ [3]. Это явление ведет к увеличению удельных расходов сырья, трудовых и энергетических ресурсов, при том, что промышленность стройматериалов является крупнейшим потребителем энергоресурсов с довольно энергоемкими технологическими процессами. Сокращение потребления энергоресурсов в ходе производства немедленно повлечет за собой снижение себестоимости продукции. Этого можно добиться за счет интенсивного использования вторичных энергоресурсов (ВЭР), образующихся в больших объемах на предприятиях стройиндустрии.

В то же время, для повышения технологического КПД теплотехнических процессов, прежде всего, следует обратить внимание на внутренне использование тепловых отходов в технологии. Однако зачастую это мероприятие является либо малоэффективно, либо не целесообразно ввиду ухудшения технико-экономических показателей производства. Также зачастую потоки тепловых отходов поступают не равномерно, что еще более усугубляет их использование.

Оптимальным вариантом использования низкопотенциальной теплоты является интеграция в систему тепловых двигателей на базе паротурбинных установок для генерации эксергетически ценной электрической энергии. Использование аккумуляторов теплоты позволяет выровнять графики образования ВЭР и сделать работу паросиловой установки стабильной, зависящей лишь от параметров окружающей среды.

В мировой практике классически сложилось, что реализация данного варианта возможна при интеграции в систему паровых турбогенераторов, работающих по циклу Ренкина на органическом теплоносителе (ORC). Этот цикл достаточно прост, хорошо изучен и оптимизирован. Однако существуют и иные варианты генерации электроэнергии, в частности циклы, работающие на водоаммиачной смеси (циклы Калины, Мелони-Робертсона, Госвами) [4, 5], при том, что теоретически цикл Калины является более совершенным, чем цикл ORC. Геотермальная электроцентральный Húsavík в Исландии, единственная на данный момент в мире, работающая по циклу Калины, имеет проектную мощность 2 МВт, реальная мощность станции – 1,7 МВт [4].

Реально существующий объект, работающий по циклу Калины, имеет начальное давление перед турбиной 31 бар, КПД $\eta = 12,5\%$ (на практике, электроцентральный работает с $\eta = 10\%$ ввиду различных причин) [4]. Поэтому требуется дальнейшее изучение цикла Калины и свойств водоаммиачной смеси для возможности увеличения эффективности цикла и внедрения его в систему утилизации тепловых отходов на предприятиях стройиндустрии.

Литература:

1. Инвестиции и строительство в Республике Беларусь: стат. сб. // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – 217 с.

2. Промышленность Республики Беларусь: стат. сб. // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – 295 с.
3. Миихолап С.В., Козловская О.И. Промышленность строительных материалов Республики Беларусь: состояние и основные направления развития / Миихолап С.В. // Экономика и управление. - 2011. - №1. – с.58-62.
4. Pall Wladimarsson. ORC and Kalina. Analysis and experience // Lecture 3 / Washington State University, 2003.
5. N. Galanis, E. Cayer, P. Roy, E.S. Denis, M. Desilets Electricity generation from low temperature sources // Jornal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 2, No. 2, pp. 55-67, 2009.

УДК 621.315

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ТЕПЛОВОЙ ВОЛНЫ

Калинович М.С.

Научные руководители – Седнин В.А., Петровская Т.А.

Проблема определения фактических потерь теплоты является одной из важнейших в теплоснабжении. Именно большие тепловые потери – основной аргумент сторонников децентрализации теплоснабжения, количество которых увеличивается пропорционально количеству фирм, производящих или продающих небольшие котлы и котельные. Редко кто решается назвать цифры тепловых потерь, а если называются, то нормативные, т.к. в большинстве случаев фактические тепловые потери в сетях не знает никто. Но для повышения эффективности теплоснабжения необходимо производить диагностику сетей, находить и устранять их слабые места.

В работе предложено использование для прямых измерений теплопотерь метод тепловой волны с резким изменением температуры сетевой воды на теплоисточнике и измерением температуры в характерных точках регистраторами с посекундной фиксацией, что позволит добиться требуемой точности измерения расхода и, соответственно, теплопотерь. Также выполнена математическая модель теплотрассы, разработан её алгоритм и составлена программа для ПЭВМ. Которая позволят аналитически рассчитать теплопотери и сравнить их с полученными опытным путем.

Данный метод позволяет решить поставленную проблему, не прибегая к дополнительным вложениям на дорогостоящее оборудование. Он прост в исполнении и дает довольно точные результаты.

Актуальность определения транспортных потерь теплоты в сетях централизованного теплоснабжения вызвана необходимостью иметь энергетическую характеристику тепловых сетей по тепловым потерям, которая является важным экономическим показателем, предметом заинтересованности всех участников взаиморасчетов при выработке и потреблении тепловой энергии.

УДК 621.315

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕПЛОМЕТРИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Раковская Н.С., Иванейчик С.Л.

Научный руководитель – Петровская Т.А.

Проблемы энергосбережения и экологии в Республике Беларусь встали в последние годы особенно остро не только в связи с энергетическим кризисом, резким подорожанием органического топлива и проблемами его доставки в различные регионы страны, но также в не меньшей, а, может быть, и в большей мере в связи с неудовлетворительным состоянием инженерных коммуникаций в городах и населенных пунктах. Поэтому решение проблемы повышения эффективности и надежности работы систем теплоснабжения во многом зависит от хода реконструкции инженерных внутридомовых и внутриквартальных коммуникаций, магистральных теплопроводов и источников теплоснабжения. Причем следует учесть, что реконструкция указанных объектов может быть эффективной на различных уровнях, начиная с замены регуливающей арматуры в зданиях и сооружениях и установки приборов регулирования и учета потребления энергоресурсов и кончая заменой теплопроводов и полной реконструкцией источников тепловой энергии и теплопотребляющих установок.

Отечественные датчики для измерения температуры и давления теплоносителя по своим техническим характеристикам, в том числе и по характеристикам точности, соответствуют современным требованиям и их достаточно на рынке приборостроения. Эти приборы имеют необходимую поддержку средствами поверки, и их эксплуатация не вызывает затруднений.

В настоящее время в Государственном реестре средств измерений имеется около сотни отечественных и зарубежных теплосчётчиков. Почти все они ориентированы на измерение у потребителей тепловой энергии и теплоносителя. Ниже приведены свойства теплосчётчиков, необходимые для их применения на источнике, но, как правило, отсутствующие у существующих сейчас теплосчётчиков.

Между теплосчётчиками отсутствуют сети передачи данных, что необходимо для передачи общестанционных параметров, измеряемых в одном месте (барометрическое давление, температура источников холодной воды, расходы подпитки), а используемых в алгоритмах учёта нескольких теплосчётчиков.

Отсутствует возможность применения расходомеров, отдельно измеряющих и учитывающих расход теплоносителя как в прямом, так и в обратном направлении.

Отсутствует ввод данных от датчиков и счётчиков по цифровым интерфейсам.

Отсутствует возможность автоматической синхронизации внутренних часов теплосчётчика со службой единого времени.

Отсутствует возможность опроса датчиков и передачи результатов измерений по каналам связи для целей технологического контроля с частотой не менее 1 Гц.

Отсутствует гальваническая развязка между входами УСО.

Не унифицированы интерфейсы связи теплосчётчиков с общестанционным вычислителем.

Большое многообразие технологических и организационных ситуаций существенно влияет на методологию и технические решения при создании современных автоматизированных систем учёта тепловой энергии и теплоносителей.

УДК 626/627.002.5

РОТОРНЫЙ ПЛЕНОЧНЫЙ ИСПАРИТЕЛЬ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Бакунович И. С., Юрашевич О. В.
Научный руководитель – Айдарова З. Б.

Главными особенностями выпарных установок пленочного типа являются практическое отсутствие перепада давления по высоте установки и малый объем жидкости в установке. Первый фактор способствует отсутствию в установках этого типа гидростатической депрессии, а второй – малому времени пребывания жидкости в установке по сравнению со временем пребывания продукта в выпарных установках объемного заполнения. Эти факторы обуславливают область их применения: выпаривание или дистилляция под вакуумом термически нестойких продуктов, теряющих свои потребительские свойства в результате длительного пребывания под воздействием высоких температур.

Наиболее распространенными установками пленочного типа являются пленочные аппараты со свободно стекающей пленкой. Конструкция установки этого типа представлена на рис.1. Здесь изображен кожухотрубный пленочный испаритель с нижним расположением сепаратора (с прямоточным течением пленки жидкости и вторичных паров в греющей камере) и оборудованный внешним контуром циркуляции выпариваемого продукта. Это наиболее распространенный вариант конструкции пленочного испарителя со свободно стекающей пленкой.

В настоящее время пленочные испарители со свободно стекающей пленкой, как правило, оснащаются контуром циркуляции продукта по установке, что сразу же позволяет использовать греющие камеры с короткими (2–3 м) теплообменными трубами для обеспечения равномерности линейной плотности орошения и снижения скорости вторичных паров в теплообменных трубах. При этом внешний контур предпочтительнее внутреннего, поскольку позволяет устанавливать циркуляционный насос стандартных конструкций и использовать этот насос для перекачки отводимого из аппарата продукта, в том числе из-под вакуума в сборник под атмосферным давлением.

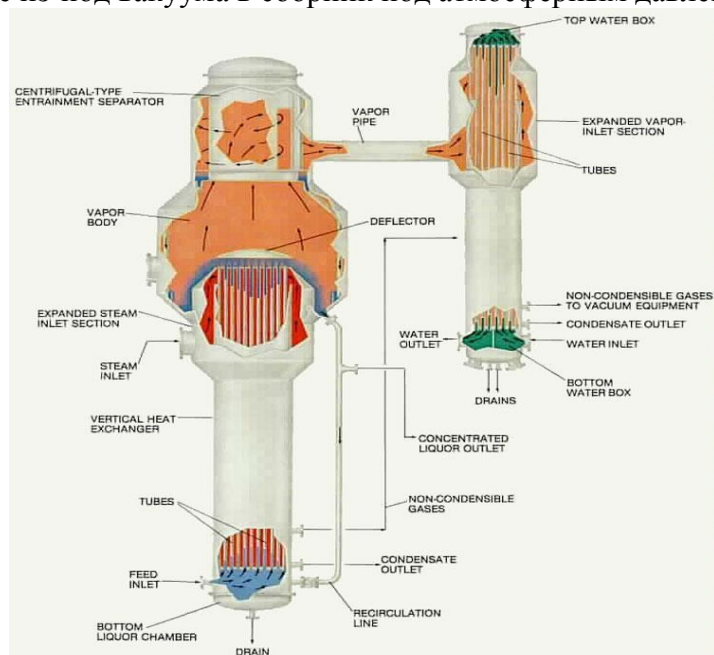


Рисунок 1. Пленочный испаритель для очистки сточных вод

Наиболее распространенными установками пленочного типа являются пленочные аппараты со свободно стекающей пленкой. Кожухотрубный пленочный испаритель с нижним расположением сепаратора и оборудованный внешним контуром циркуляции выпариваемого продукта. Это наиболее распространенный вариант конструкции пленочного испарителя со свободно стекающей пленкой.

Для устойчивой эксплуатации на очистных сооружениях для промышленной очистки воды пленочных испарителей со свободно стекающей пленкой необходима надежная работа распределительных устройств, образующих пленку жидкости в верхней части теплообменных труб, в противном случае жидкость будет стекать по трубам ручьями, и установка не будет работать.

Испарители в гальваническом производстве, как правило, применяются для выпаривания промывных вод при многоступенчатой (каскадной) промывке, а также воды из ванн улавливания. Использование роторных пленочных испарителей на очистных сооружениях позволяет вернуть в технологический процесс ценные компоненты и снизить либо полностью исключить сброс сточных вод, содержащих токсичные соединения тяжелых металлов: меди, цинка никеля, хрома, свинца и пр. При использовании данной технологии значительно сокращаются эксплуатационные затраты на очистку сточных вод.



Рисунок 2 Испаритель для промышленной очистки воды

УДК 621.039.533.6

ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Дальков А.В.

Научный руководитель – Седнин В.А.

Топливные элементы относятся к химическим источникам тока. Они осуществляют прямое превращение энергии топлива в электричество минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения. Это электрохимическое устройство в результате высокоэффективного «холодного» горения топлива непосредственно вырабатывает электроэнергию.

Естественным топливным элементом является митохондрия живой клетки. Они перерабатывают органическое «горючее» – пируваты и жирные кислоты, синтезируя АТФ – универсальный источник энергии для всех биохимических процессов в живых организмах, одновременно создавая разность электрических потенциалов на своей внешней мембране. Однако, копирование этого процесса для получения электроэнергии в промышленных масштабах лишено смысла, т.к. на долю электрической разности потенциалов приходится ничтожная доля химической энергии исходных веществ: почти вся энергия передаётся молекулам АТФ.

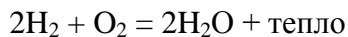
Источником водорода в организме служит пища. В организме она в конечном счете раскладывается до мономеров, которые, после ряда химических превращений дают водород, присоединенный к молекуле-носителю. Кислород из воздуха попадает в кровь через легкие, соединяется с гемоглобином и разносится по всем тканям. Процесс соединения водорода с кислородом составляет основу биоэнергетики организма. Химическая энергия с высоким КПД преобразуется в тепловую, механическую (движение мышц), электричество (электрический скат), свет (насекомые излучающие свет).

В 1838 году английский ученый У. Гров, исследуя разложение воды на водород и кислород, обнаружил побочный эффект – электролизер вырабатывал электрический ток. Так был открыт первый водородно-кислородный топливный элемент.

Как работает топливный элемент?

Ископаемое топливо (уголь, газ и нефть) состоит из углерода и водорода. При сжигании атомы топлива теряют электроны, а атомы кислорода воздуха приобретают их. Так в процессе окисления атомы углерода или водорода и кислорода соединяются в продукты горения – молекулы углекислого газа или воды. Этот процесс идет энергично: атомы и молекулы веществ, участвующих в горении, приобретают большие скорости, а это приводит к повышению их температуры. Они начинают испускать свет – появляется пламя.

Химические реакция сжигания углерода и водорода имеют вид:



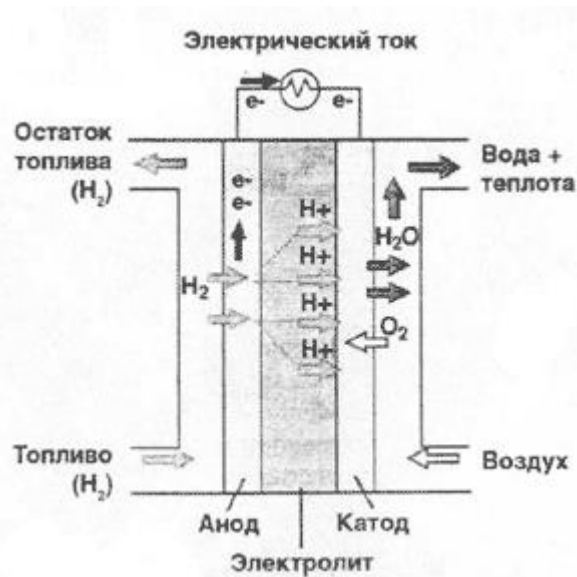


Рисунок 1 - Принцип действия водородного топливного элемента

В процессе горения химическая энергия переходит в тепловую энергию благодаря обмену электронами между атомами топлива и окислителя. Этот обмен происходит хаотически.

Горение – обмен электронов между атомами, а электрический ток – направленное движение электронов. Если в процессе химической реакции заставить электроны совершать работу, то температура процесса горения будет понижаться. В топливных элементах электроны отбираются у реагирующих веществ на одном электроде, отдают свою энергию в виде электрического тока и присоединяются к реагирующим веществам на другом.

Основа любого химического источника тока – два электрода соединенные электролитом. Топливные элементы состоят из анода, катода и электролита. На аноде окисляется, т.е. отдает электроны, восстановитель (топливо, CO или H_2), свободные электроны с анода поступают во внешнюю цепь, а положительные ионы удерживаются на границе анод-электролит (CO^+ , H^+). С другого конца цепи электроны подходят к катоду, на котором идет реакция восстановления (присоединение электронов окислителем O^{2-}). Затем ионы окислителя переносятся электролитом к катоду.

В топливных элементах вместе сведены вместе три фазы физико-химической системы:

- а) газ (топливо, окислитель);
- б) электролит (проводник ионов);
- в) металлический электрод (проводник электронов).

В топливных элементах происходит преобразование энергии окислительно-восстановительной реакции в электрическую, причем, процессы окисления и восстановления пространственно разделены электролитом. Электроды и электролит в реакции не участвуют, но в реальных конструкциях со временем загрязняются примесями топлива. Электрохимическое горение может идти при невысоких температурах и практически без потерь.

Усложняет использование топливных элементов то, что для них топливо необходимо «готовить». Например для топливных элементов получают водород путем конверсии органического топлива или газификации угля.

Топливные элементы – это электрохимические устройства, которые теоретически могут иметь очень высокий коэффициент преобразования химической энергии в электрическую (до 80 %).

КПД, определённый по теплоте химической реакции, может быть и выше 100 % из-за того, что в работу может превращаться и теплота окружающей среды. Здесь, тем не менее, нет никакого противоречия с ограничениями на КПД тепловых машин, поскольку топливные элементы не работают по замкнутому циклу, и реагирующие вещества не возвращаются в начальное состояние. При химической реакции в топливном элементе в электрическую энергию превращается, в конечном счёте, не теплота реагентов, а их внутренняя энергия и, возможно, некоторое количество теплоты из окружающей среды.

В настоящее время известно несколько типов топливные элементы, различающихся составом используемого электролита и другими параметрами.

Топливные элементы с протонообменной мембраной (Proton Exchange Membrane Fuel Cells, PEMFC) функционируют при относительно низких рабочих температурах (60-160°C). Они отличаются высокой удельной мощностью, позволяют быстро регулировать выходную мощность, могут быть быстро включены. Недостаток элементов этого типа – высокие требования к качеству топлива, поскольку его загрязнения могут вывести из строя мембрану. Номинальная мощность топливных элементов составляет 1-100 кВт, КПД по выходу электроэнергии 30-35%, суммарный КПД (с учётом отдачи тепла) – до 70%.

Щелочной топливный элемент (Alkaline Fuel Cell, AFC), наиболее изученная технология топливных элементов, эти элементы летали с человеком на Луну. НАСА использует щелочные топливные элементы с середины 60-х годов, в серии аппаратов Аполлон и Спейс Шаттл. Также AFC-элементы использовались во время работ над советской лунной программой «Буран». На «Буране» были установлены топливные элементы мощностью 10 кВт. Щелочные топливные элементы потребляют водород и чистый кислород, и производят воду, тепло, и электричество. Они являются самыми эффективными из топливных элементов, коэффициент полезного действия их доходит до 70 %.

Топливные элементы на основе ортофосфорной кислоты (Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFC) имеют диапазон рабочих температур 150-200°C. Основная область их применения – автономные источники тепло- и электроснабжения средней мощности (до 500 кВт). В качестве электролита используется раствор ортофосфорной кислоты H_3PO_4 . Электроды выполнены из бумаги, покрытой углеродом, в котором рассеян платиновый катализатор. Электрический КПД PAFC-элементов составляет 37-42%. Однако, поскольку эти топливные элементы работают при достаточно высокой температуре, имеется возможность использовать образующийся пар для дополнительной генерации. В этом случае общий КПД может достигать 90%.

Топливные элементы на основе расплавленного карбоната (Molten Carbonate Fuel Cells, MCFC) функционируют при очень высоких температурах – 600-700°C. Это позволяет непосредственно использовать водородсодержащее сырьё – без применения отдельного риформера. Технологический процесс, получивший название «внутренний риформинг», позволяет значительно упростить конструкцию электрохимического генератора. В топливные элементы этого типа электролит состоит из солей карбоната калия и карбоната лития, нагретых примерно до 650°C. В этих условиях соли находятся в расплавленном состоянии. На аноде водород взаимодействует с ионами $(CO_3)^{2-}$ с образованием воды и диоксида углерода, высвобождая электроны, которые направляются во внешнюю цепь, а на катоде кислород взаимодействует с диоксидом углерода и электронами из внешней цепи, вновь образуя ионы $(CO_3)^{2-}$. Топливные элементы на основе расплавленного карбоната требуют значительного времени на запуск и не позволяют оперативно регулировать выходную мощность, поэтому основная область их применения – крупные стационарные источники тепловой и электрической энергии. Однако

они отличаются высокой эффективностью преобразования топлива – электрический КПД доходит до 60%, а общий – до 85%.

Твёрдоокисные топливные элементы (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC) характеризуются простотой конструкции и функционируют при очень высоких температурах: 700-1000°C. Такие температуры позволяют использовать относительно «грязное», слабо очищенное топливо. Как и у топливных элементов на основе расплавленного карбоната, их область применения – крупные стационарные источники тепловой и электрической энергии. Твёрдоокисные топливные элементы конструктивно отличаются от топливных элементов на основе технологий PAFC и MCFC. Анод, катод и электролит здесь изготовлены из специальных сортов керамики. Чаще всего в качестве электролита используется смесь оксида циркония и оксида кальция, но могут применяться и другие оксиды. Электролит образует кристаллическую решетку, покрытую с обеих сторон пористым электродным материалом. Конструктивно такие элементы выполняются в виде трубок или плоских плат, что позволяет в их производстве использовать технологии электронной промышленности. Так как твёрдоокисные топливные элементы могут работать при очень высоких температурах, их выгодно использовать для производства и электрической, и тепловой энергии.

При высоких рабочих температурах на катоде образуются ионы кислорода, которые мигрируют через кристаллическую решетку на анод, где взаимодействуют с ионами водорода, образуя воду и высвобождая свободные электроны. При этом водород выделяется из природного газа непосредственно в элементе, то есть нет необходимости в отдельном риформере.

Прямой метаноловый топливный элемент (Direct Methanol Fuel Cells, DMFC), это разновидность топливного элемента с протонообменной мембраной, в котором топливо, метанол, предварительно не разлагается с выделением водорода, а напрямую используется в топливном элементе. Поскольку метанол поступает в топливный элемент напрямую, каталитический риформинг (разложение метанола) не нужен, хранить метанол гораздо проще, чем водород. Энергетическая ёмкость (количество энергии в данном объеме) у метанола выше, чем в таком же объеме сильно сжатого водорода. Однако метанол ядовит, поэтому использование DMFC приложений в бытовой технике может быть опасным. Существенные ограничения на широкое применение таких топливных элементов накладывает использование в качестве катализаторов драгоценных металлов (платиноидов), что ведет к дороговизне установок.

Существуют две сферы применения топливных элементов: автономная и большая энергетика.

Для автономного использования основными являются удельные характеристики и удобство эксплуатации. Стоимость вырабатываемой энергии не является основным показателем.

Для большой энергетики решающим фактором является экономичность. Кроме того, установки должны быть долговечными, не содержать дорогих материалов и использовать природное топливо при минимальных затратах на подготовку.

Наибольшие выгоды сулит использование топливных элементов в автомобиле. Здесь, как нигде, скажется компактность топливных элементов. При непосредственном получении электроэнергии из топлива экономия последнего составит порядка 50%.

Впервые идея использования топливных элементов в большой энергетике была сформулирована немецким ученым В. Освальдом в 1894 году.

Наибольшего технологического совершенства достигли среднетемпературные топливные элементы первого поколения, работающие при температуре 200 - 230°C на жидком топливе, природном газе либо на техническом водороде. Электролитом в них служит фосфорная кислота. Электроды выполнены из углерода, а катализатором явля-

ется платина (платина используется в количествах порядка нескольких граммов на киловатт мощности).

Электростанция такого типа была введена в строй в штате Калифорния 1991 году. Она состоит из восемнадцати батарей массой по 18 т.

Две электростанции на топливных элементах США поставили в Японию. Первая из них была пущена еще в начале 1983 года. Эксплуатационные показатели станции соответствовали расчетным. Она работала с нагрузкой от 25 до 80% от номинальной. КПД достигал 30 - 37%.

Сейчас в разных районах США испытываются небольшие теплофикационные установки мощностью по 40 кВт с коэффициентом использования топлива около 80%. Они могут нагревать воду до 130°C и размещаются в прачечных, спортивных комплексах, на пунктах связи и т.д. Около сотни установок уже проработали в общей сложности сотни тысяч часов. Экологическая чистота электростанций на топливных элементах позволяет размещать их непосредственно в городах.

Лучшими характеристиками обладают уже проектирующиеся модульные установки мощностью 5 МВт со среднетемпературными топливными элементами второго поколения. Они работают при температурах 650...700°C. Их аноды делают из спеченных частиц никеля и хрома, катоды – из спеченного и окисленного алюминия, а электролитом служит расплав смеси карбонатов лития и калия. Повышенная температура помогает решить две крупные электрохимические проблемы: снизить «отравляемость» катализатора окисью углерода, повысить эффективность процесса восстановления окислителя на катоде.

Еще эффективнее будут высокотемпературные топливные элементы третьего поколения с электролитом из твердых оксидов (в основном двуокиси циркония). Их рабочая температура – до 1000°C. КПД энергоустановок с такими топливными элементами близок к 50%. Здесь в качестве топлива пригодны и продукты газификации твердого угля со значительным содержанием окиси углерода. Не менее важно, что сбросовое тепло высокотемпературных установок можно использовать для производства пара, приводящего в движение турбины электрогенераторов.

Фирма Vestingaus занимается топливными элементами на твердых оксидах с 1958 года. Она разрабатывает энергоустановки мощностью 25...200 кВт, в которых можно использовать газообразное топливо из угля. Готовятся к испытаниям экспериментальные установки мощностью в несколько мегаватт. Другая американская фирма Engelgurd проектирует топливные элементы мощностью 50 кВт работающие на метаноле с фосфорной кислотой в качестве электролита.

В создание топливных элементов включается все больше фирм во всем мире. Американская United Technology и японская Toshiba образовали корпорацию International Fuel Cells. В Европе топливными элементами занимаются бельгийско-нидерландский консорциум Elenko, западногерманская фирма Siemens, итальянская Fiat, английская Jonson Metju. Над созданием образцов электростанций на топливных элементах в настоящее время работают Газпром и федеральные ядерные центры РФ.

В заключение следует отметить, что человек, в который раз повторил созданное природой устройство получения энергии. В то же время этот факт говорит о перспективности направления. Все процессы в природе очень рациональны, поэтому шаги по реальному использованию топливных элементов вселяют надежду на энергетическое будущее.

УДК 620.92.002.68

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Райко Д. М., Кривицкая Е. А., Гузыревич И.В., Куцко Т.С.
Научный руководитель – Седнин В. А.

Экологическую обстановку в городах с высокой плотностью населения независимо от того, есть в них вредные производства или нет, во многом определяет состояние системы санитарной очистки от непромышленных отходов. К ним относятся твердые бытовые отходы, или ТБО, отходы, сопровождающие деятельность коммерческих и производственных фирм, пользующихся услугами коммунальных служб, садовый и уличный мусор, листва и некоторые другие.

Свалки - мощный источник биологического загрязнения. В общей сложности из отходов в окружающую среду попадает более ста токсичных веществ. Нередко свалки горят, выбрасывая в атмосферу ядовитый дым.

Сейчас в Беларуси работают 5 мусороперерабатывающих заводов: в Могилеве, Бресте, Новополоцке, Барановичах. Эти предприятия в силах справиться лишь менее чем с 10% ТБО. Остальной мусор просто "хоронят" на спецполигонах.

В экономически развитых странах все меньше бытовых отходов вывозится на свалки и все больше перерабатывается промышленными способами. Самый эффективный из них – термический, который позволяет почти в 10 раз снизить объем отходов, вывозимых на свалки, причем несгоревший остаток уже не содержит органических веществ, вызывающих гниение, самопроизвольное возгорание и опасность эпидемий. Для улучшения проблем утилизации мусора в Беларуси, страна должна заимствовать опыт экономически развитых стран.

При сжигании ТБО в продуктах сгорания образуются диоксины, которых относят к группе так называемых ксенибиотиков, то есть молекулы любого из диоксинов способны нарушить деятельность клетки и вызвать затем цепь биохимических реакций, полностью нарушающих все функции организма. Однако был предложен способ сжигания ТБО, при котором не образуются перечисленные вредные вещества. Должны соблюдаться следующие условия:

- температура должна превышать 1250°C;
- процесс должен происходить в окислительной среде (то есть при некотором избытке кислорода);
- уничтожение отходов длится более двух секунд, причем температура практически мгновенно достигает рабочего значения.

Вышеперечисленные условия соблюдены в печи Ванюкова.

Андрей Владимирович Ванюков предложил свою технологию плавки металла в плавильной печи. Печь Ванюкова предназначена для переработки медных, медно-никелевых и медно-цинковых концентратов, сульфидного сырья или ТБО. При плавке концентратов плавка происходит в шлако-штейновой ванне печи, куда интенсивно подается кислородно-воздушная смесь.

Проведение процесса плавки в печи неотделимо от непрерывной работы систем, составляющих комплекс: систем подачи шихты, подачи кислородсодержащего дутья и природного газа, охлаждения кессонированных элементов печи, непрерывного отвода продуктов плавки — шлака, штейна и технологических газов, очистки, охлаждения и утилизации технологических газов, аспирации, систем. Все кессонированные элементы печи охлаждаются оборотной химически очищенной водой в количестве до 1000 м³/ч при давлении на входе в кессоны и фурмы 0,6 МПа

Комплекс печи работает с потреблением различных видов топлива: угля и природного газа — для технологических нужд и для отопления сифонов штейна и шлака, обогрева желобов для выдачи штейна и шлака. Основным видом топлива является природный газ.

Процесс включает в себя загрузку шихты в печь Ванюкова на поверхность расплава, продувку расплава кислородсодержащим газом, плавку с получением шлака, штейна и отходящих запыленных газов, содержащих диоксид серы и кислород, охлаждение газов в газоохладительной камере с улавливанием пыли водным раствором и образованием пульпы, сгущением пульпы в сгустителе, нейтрализацией сгущенной пульпы и складированием сгущенной нейтрализованной пульпы. При этом плавку ведут с получением газов, имеющих температуру 1250°C, содержащих кислород и аргон в сумме до 5,3% по объему.

Сущность изобретения заключается в том, что в способе переработки сульфидных материалов, включающем загрузку шихты в печь Ванюкова на поверхность расплава, продувку расплава кислородсодержащим газом, плавку с образованием штейна, шлака и отходящих газов, содержащих брызги шлака, шихтовую пыль, кислород и диоксид серы, вывод из зоны продувки жидких продуктов плавки и газов, охлаждение газов водным раствором с образованием пульпы оборотной пыли и охлажденных, очищенных от пыли и брызг шлака газов, отделение брызг шлака и пыли от оборотного раствора. Согласно изобретению плавку ведут с дополнительной подачей в отходящие газы кислорода до содержания его в газах 6 - 9% по объему, из пульпы оборотной пыли первоначально выделяют брызги шлака путем отсадки с декантацией, обеспечивающей отделение твердой фракции, скорость осаждения которой в воде составляет 80-160 м/с, выделенную твердую фракцию направляют на плавку в составе шихты.

Переработка в печи Ванюкова сульфидных материалов сопровождается выделением в газовую фазу печи элементарной серы, образующейся за счет диссоциации высших сульфидов железа и цветных металлов, содержащихся в шихте. В газовом пространстве печи происходит частичное окисление серы кислородом воздуха, поступающего в печь через загрузочные устройства и неплотности. Но, как показывает практика эксплуатации печей Ванюкова, подсосов воздуха в печь не достаточно для полного дожига серы, и ее окончательный дожиг происходит вне печи, в газоперерабатывающих устройствах. Однако при охлаждении газов, выходящих из печи водным раствором, дожиг невозможен и элементарная сера, содержащаяся в газах, конденсируется и улавливается раствором совместно с пылью. Способ плавки и охлаждения газов печей Ванюкова с применением водных растворов, должен предусматривать обязательный эффективный дожиг элементарной серы, содержащейся в газах до охлаждения. Это достигается за счет дополнительной подачи кислорода в отходящие газы на стадии плавки в количестве, обеспечивающем величину содержания кислорода в газах 6-9%. При содержании кислорода в газах менее 6% окисление серы происходит не полностью. При содержании кислорода более 9% идентифицируется процесс окисления охлаждающего раствора с накоплением серной кислоты в нем, что приводит к необходимости увеличения количества раствора, выводимого на нейтрализацию.

Экологическая безопасность достигается за счет отсутствия на выходе из печи высокотоксичных соединений и применения системы очистки газа, имеющей запас по пропускной способности и рассчитанной на улавливание практически всех возможных вредных соединений, встречающихся в твердых отходах производства и потребления и образующихся при их переработке.

Шлаковый расплав используется в качестве исходного сырья для получения минераловатных плит. Остаток шлакового расплава после водной грануляции поступает в виде инертных материалов на предприятия стройиндустрии или строительство автодо-

рог. Уловленная пыль, в зависимости от содержания в ней компонентов, отправляется потребителю или возвращается в оборот – на переработку с ТБО.

Газы охлаждаются в котле-утилизаторе с получением пара энергетических параметров, очищаются от пыли, возгонов, вредных примесей и поступают на производство товарной угольной кислоты. Энергетический пар поступает в турбогенераторы для производства электроэнергии. Отработанный пар турбогенераторов с температурой 165 – 200 °С может быть использован для обогрева теплиц.

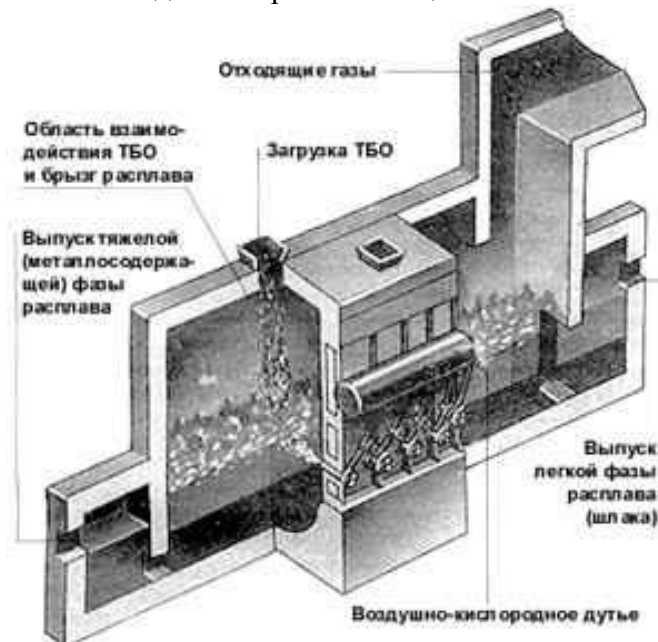


Рисунок 1 – Конструкция печи Ванюкова

Осуществление предлагаемого способа позволяет: увеличить производительность печи Ванюкова по переработке на 25 - 30% за счет использования более надежной в работе системы эвакуации газов, их охлаждения и очистки от пыли, повышения коэффициента использования оборудования; повысить извлечение ценных компонентов в штейн из шихты на 0,2% за счет возврата в производство уловленной пыли, повышения коэффициента использования оборудования; снизить на 20 - 25% расходы на текущий ремонт и эксплуатацию оборудования для переработки газов.