

УДК 66.042.88, 666.1.031.2

А. В. КОШЕЛЬНИК, канд. техн. наук, ИПМаш НАН Украины

В. М. КОШЕЛЬНИК, д-р техн. наук,

Е. В. ХАВИН, канд. техн. наук,

А. Е. ЖБАНКОВ

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт,
г. Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК В УТИЛИЗАЦИОННЫХ СХЕМАХ СТЕКОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрены основные направления снижения энергоемкости стекольного производства путем совершенствования системы утилизации теплоты отходящих дымовых газов. Проанализированы утилизационные схемы с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии.

Розглянуто основні напрямки зниження енергоємності склоробного виробництва шляхом удосконалення системи утилізації теплоти димових газів, що відходять. Проаналізовано утилізаційні схеми з комбінованим виробленням теплової й електричної енергії.

Введение

Стекольная отрасль охватывает широкий ассортимент разнообразной продукции – от мелкосерийного производства хрустальных изделий до значительных объемов стекла, производимого с помощью флоат-процесса для строительной и автомобильной отраслей промышленности. Способы производства стеклоизделий имеют широкий диапазон по производительности. Промышленные агрегаты варьируются от электрических печей малой мощности для производства керамического волокна до регенеративных печей с поперечным направлением пламени для производства листового стекла производительностью до 700 т стекломассы в сутки [1, 2].

Производство стекла относится к энергоемким процессам. Выбор источника энергии, метода нагрева и регенерации теплоты являются здесь определяющими для конструкции печей. Эти же факторы являются наиболее значимыми для энергоэффективности и экологичности стекольного производства. За последние двадцать лет удельное потребление энергии на производство тонны стекломассы в мире сократилось в среднем вдвое и составляет сегодня для большинства печей от 3,2 до 12,2 ГДж/т в зависимости от вида стекла, конструкции и производительности печи. Одновременно с этим была также усовершенствована технология производства и достигнуто последовательное снижение массы готовых стеклянных изделий [3, 4].

Постановка проблемы в общем виде

Так, энергия, необходимая для реализации технологических процессов стекловарения, обычно составляет более 75 % общего энергопотребления производства тарного стекла. Другими потребителями энергии в стекольном производстве являются питатели, оборудование для формования (сжатый воздух и воздушное охлаждение форм), отжига и системы отопления. В качестве примера приведено на рис. 1 типичное для стекольного производства распределение потребления энергии на стеклотарном предприятии [1].

Выбор способа стекловарения является одним из ключевых факторов, определяющих энергоэффективность всего производства. Для стекловаренных печей, использующих как источник энергии органическое топливо, основной особенностью конструкции является возможность утилизации теплоты дымовых газов для нагрева воздуха горения – с помощью регенеративных или рекуперативных теплообменников. Другим существенным фактором является размеры и конструкция печи. Регенеративные печи позволяют достичь более

высоких, до 1350 – 1400 °С, температур подогрева воздуха по сравнению с рекуперативными печами (температура подогрева 750 – 800 °С), что обеспечивает лучшую эффективность технологических процессов стекловарения. Современная регенеративная печь может иметь общую тепловую эффективность до 50 %, потери теплоты с дымовыми газами составляют около 20 %.

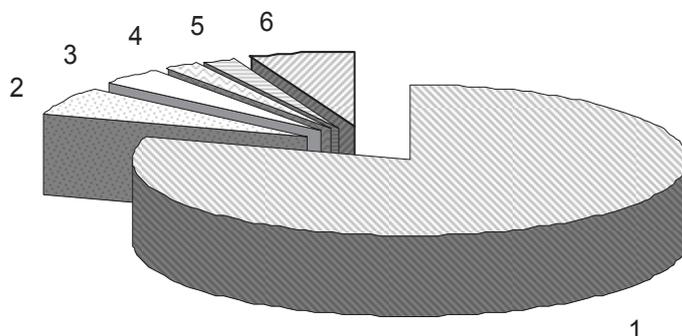


Рис. 1. Диаграмма энергопотребления на стекольном предприятии: 1 – печь; 2 – питатели; 3 – сжатый воздух; 4 – охлаждение форм; 5 – leaks; 6 – остальное

Использование доли тепловой энергии дымовых газов с помощью регенераторов может быть увеличено путем повышения количества огнеупорных элементов регенеративных насадок в камерах. На практике это может быть реализовано путем увеличения количества камер регенераторов. По мере приближения к возможному максимуму утилизации теплоты эффективность таких мер постепенно снижается. Принципиальным ограничением здесь является стоимость огнеупоров, а в случае уже действующих печей – ограничения по габаритам и дополнительные затраты на изменение инфраструктуры печи. В этом случае энергопотребление может быть снижено до 15 % по сравнению с аналогичной печью с обычными одноходовыми регенераторами.

Интенсивность теплообмена в регенеративных теплообменниках может быть увеличена путем использования насадочных элементов, изготовленных из плавнелитых огнеупоров крестообразной формы, обеспечивающих увеличение поверхности нагрева по сравнению с теплообменниками, оснащенными насадками, изготовленными из стандартного огнеупорного кирпича. Кроме того, такие материалы более устойчивы к химическому воздействию агрессивных веществ, которые находятся в дымовых газах и обеспечивают существенно меньшее снижение эффективности работы регенераторов за весь период кампании печи из-за загрязнения насадки [5].

Одним из возможных вариантов использования теплового потенциала дымовых газов является применение когенерационных установок, что является перспективным направлением промышленной теплоэнергетики, которое развивается в работах ряда организаций, в том числе в ИТТФ НАН Украины [6].

Оборудование высокотемпературных промышленных установок элементами внешнего теплоиспользования с установкой дополнительного теплоэнергетического оборудования осуществляется с целью более полной утилизации отходов тепловой энергии и открывает возможность получения другой технологической продукции – горячей воды, пара, электроэнергии. Температура дымовых газов после печи составляет 400 – 600 °С для печей регенеративного типа и 800 – 850 °С для рекуперативных печей. Уровень температуры на выходе из котла-утилизатора определяет возможности по утилизации теплоты и ограничен уровнем температур около 200 °С из-за риска конденсации водяных паров в котле и обеспечения условий нормального функционирования дымовой трубы. Кроме того поверхности нагрева котла-утилизатора подвержены воздействию дымовых газов печи и на них могут образовываться отложения различных материалов, содержащихся в уносе. Во

многих случаях утилизируемое количество теплоты недостаточно для эффективного получения энергии и обычно возможно только на рекуперативных печах большой мощности или в тех случаях, когда возможно объединить в один поток дымовые газы нескольких печей. Применимость и экономическая целесообразность использования этого метода определяется общей эффективностью, которую можно достичь за счет его применения, с учетом использования энергии полученного пара.

Основная часть

Рассмотрим возможность применения когенерационных технологий для стеклового производства. На рис. 2 представлена схема когенерационной установки с паровой турбиной, смонтированной за четырьмя стекловаренными печами – рекуперативной (количество отходящих газов $7800 \text{ м}^3/\text{ч}$) и тремя регенеративными (количество газов – $45200 \text{ м}^3/\text{ч}$). Через общий газопровод поток дымовых газов (сплошные линии) разделяется на два потока к КУ, где они охлаждаются до $250 \text{ }^\circ\text{C}$. После КУ установлен теплообменник для подогрева воды ТО, которая может быть использована для системы отопления или технических нужд предприятия. В котле-утилизаторе КУ1 вырабатывается насыщенный пар (прерывистая линия) с давлением $4,0 \text{ МПа}$. Расположенный за ним котел-перегреватель КП вырабатывает дополнительное количество пара с давлением $3,8 \text{ МПа}$ и температурой $375 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, общее количество произведенного в комплексе пара достигает $10,5 \text{ т/ч}$. Котел КУ2 с дополнительной камерой горения Гр и перегревателем обеспечивает производство $6,2 \text{ т/ч}$ пара. Далее оба потока объединяются, и пар здесь имеет следующие параметры: давление – $3,8 \text{ МПа}$, температура – $416 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее установлена многоступенчатая конденсационная турбина ПТ и генератор Г с выходной мощностью 4 МВт . Общий КПД установки составляет около 27% . Реализация данной схемы энергосбережения одновременно приводит также, что весьма существенно, к уменьшению загрязнения окружающей среды путем сокращения выбросов пыли и продуктов горения.

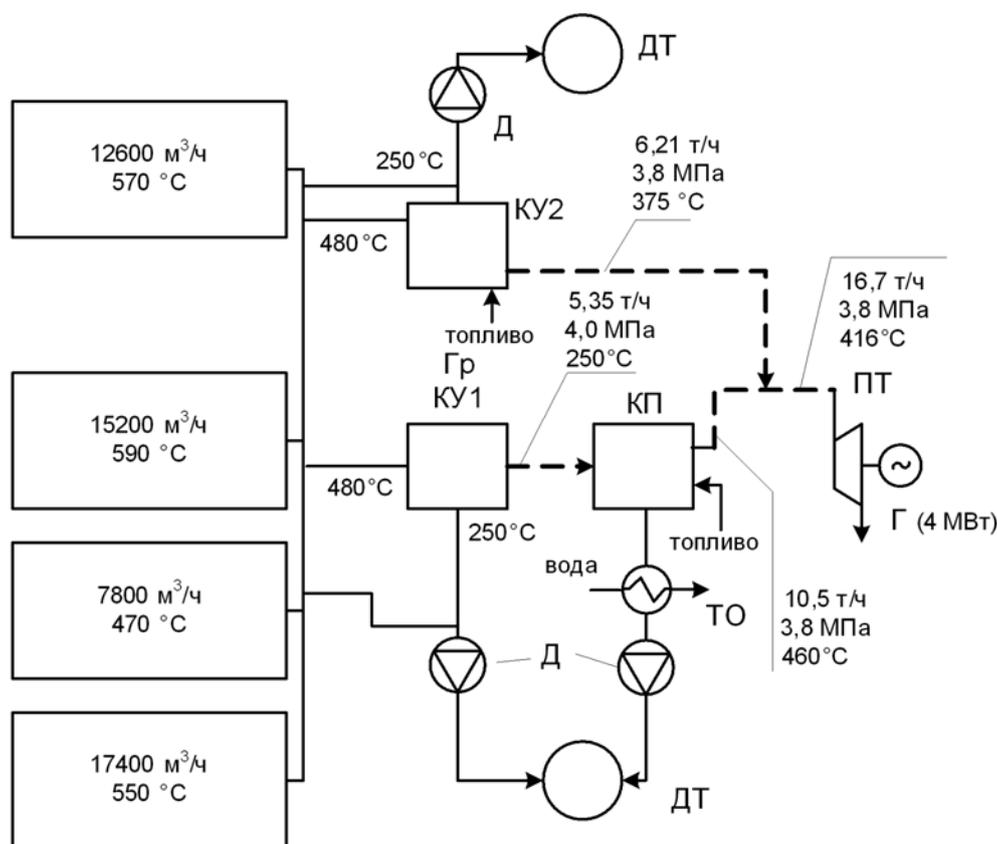


Рис. 2. Схема теплоутилизационной когенерационной установки для утилизации теплоты продуктов горения четырех стеклоплавильных агрегатов

подается на «холодную» сторону компрессора, где осуществляется процесс сорбции водорода металлгидридом. Данный процесс сопровождается выделением определенного количества теплоты, которую необходимо отводить. Процесс сжатия водорода до значения P_1 осуществляется на «горячей» стороне ТСК. Для определения эффективности водородного цикла рассмотрим работу вышеприведенной схемы при следующих условиях: температура дымовых газов на входе – 553 К; массовый расход газов $M_f = 70$ кг/с. Температура газов на выходе составляет 383 К. Количество теплоты, передаваемого силовому контуру – $Q_r = 12,7$ МВт. Рассмотрим работу термосорбционного компрессора, в котором используется гидрид $LaNi_5H_{6,7}$. Условия на входе в ТСК следующие: $P_3 = 0,2$ МПа $T_3 = 298$ К. Теплота фазового перехода металлгидрида $q_s = 15,5$ МДж/кг. Степень повышения давления в компрессоре $P_5/P_3 = 10$, что соответствует давлению на выходе $P_2 = 2,0$ МПа. Температура в точках 4 и 5 в области «изотермического плато» $T_4 = T_5 = 371$ К, максимальная температура $T_1 = 563$ К.

Для повышения эффективности установки возможно использовать схему с промежуточным нагревом рабочего тела при расширении в турбине, а также регенерацию теплоты (рис. 4) [8]. Схема с регенерацией теплоты требует наличие минимум двух теплообменных аппаратов ТО1 и ТО2. В теплообменнике водород с параметрами P_2 и T_2 нагревается до температуры T_1 , а далее расширяется в цилиндре низкого давления турбины. В другом регенераторе нагревается водород, который после сорбционного компрессора направляется в турбину.

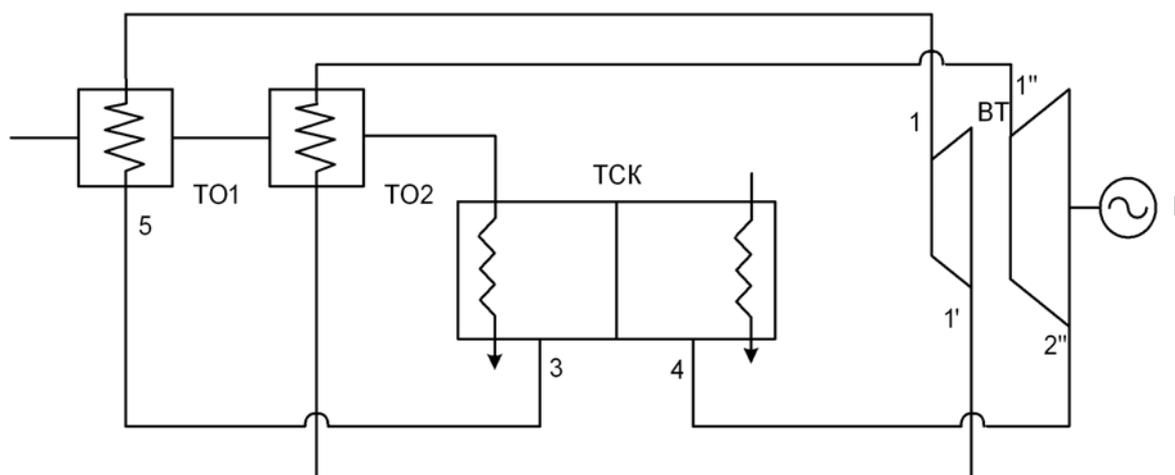


Рис. 4. Схема утилизационной водородной газотурбинной установки с термосорбционным компрессором

Введение промежуточного подогрева при давлении $P = 0,5$ МПа для данной схемы позволяет увеличить теоретическую мощность водородной турбины до 2925 кВт. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что применение в данных схемах термосорбционного компрессора с водородной турбиной для утилизации теплоты отходящих газов будет способствовать повышению эффективной мощности и КПД установок стекловаренного производства, и как следствие, снижению удельных затрат топлива на единицу продукции. Кроме того, включение водородного контура с ТСК в схему улучшает такой важный показатель работы энергопреобразующих систем как удельный выброс токсичных веществ.

Выводы

Предложены различные варианты схем с использованием когенерационных установок для утилизации высокотемпературных ВЭР с одновременным получением тепловой и электрической энергии. В качестве перспективной с точки зрения энергоэффективности предложена схема установки с использованием водородной турбины и термосорбционного

компрессора, что позволит повысить экономичность работы технологического комплекса стекольного производства путем снижения количества потребляемой энергии. Кроме того внедрение данных систем значительно снизит выбросы токсичных веществ и уменьшит тепловую нагрузку на окружающую среду.

Список литературы

1. Справочник по наилучшим доступным техническим методам использования энергоресурсов в стекольной промышленности. – М.: Эколайн, 2005. – 30 с.
2. Brunklaus H. Industrieofen. Bau und Betrieb. – Essen: Vulkan-Verlag, 1994. – 800 p.
3. Zwischenbilanz zur rationellen Energienutzung bei Thermoprozessanlagen, insbesondere Industrieoffen (Workshop in Duesseldorf). – Karlsruhe: Fraunhofer-Institut fuer Systemtechnik und Innovationforschung, 1996. – S. 82–99.
4. Козлов А. С. Теплотехника регенеративных стекловаренных печей. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 143 с.
5. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: Монография / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, В. М. КОШЕЛЬНИК, В. В. СОЛОВЕЙ, А. В. КОШЕЛЬНИК. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 628 с.
6. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие в 3-х ч. / Клименко В. Н., Мазур А. И., Сабашук П. П. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2008. – Ч. 1: Общие вопросы когенерационных технологий. – 560 с.
7. Кошельник О. В., Чорна Н. А. Розробка металогідридної технології утилізації низькопотенційних теплових викидів промислових підприємств // Енерготехнології и ресурсозбереження. – 2011. – № 5. – С. 17–21.
8. Кошельник О. В. Застосування регенеративних теплообмінників для утилізації теплоти перехідних процесів термосорбційних металогідридних компресорів // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2011. – № 1. – С. 23–28.

APPLICATION OF COGENERATION UNIT IN DISPOSAL SCHEMES OF GLASSWORK

A. V. KOSHELNIK, Cand. Tech. Sci.
 V. M. KOSHELNIK, D-r. Sci. Tech. , E. V. KHAVIN, Cand. Tech. Sci.
 A. E. ZHBANKOV

Basic directions of energy intensity reduction in glasswork by improvement recovery system of heat of exhaust combustion gases were considered. Disposal schemes with a combined production of heat and electric energy were analyzed.

Поступила в редакцию 16.07 2012