нефти, а также отходов нефтедобывающих и перерабатывающих производств и отработанных масел.

Плазмохимический процесс пиролиза пропан-бутана и его смеси с другими газами с целью получения ацетилена выполнялся в плазменном устройстве с использованием дуговых плазмотронов постоянного и переменного тока специальной конструкции и закалкой газов пиролиза затоплением струи пирогаза в объеме жидких углеводородов – дизельного топлива. Установлено, что при определенных режимах работы установки концентрация ацетилена в продуктах пиролиза может достигать 30,0 – 37,9 об. % при теоретически возможной в данных условиях концентрации ацетилена 38,05 об. %.

Проведено обобщение тепловых и массообменных характеристик изученных вариантов плазменного пиролиза, получены соответствующие зависимости для удельного энерговклада (энергетического критерия $К_{ЭН}$ по Сурису-Шорину), концентраций продуктов процесса и других выходных параметров. Показано, что возможность регулирования концентрации ацетилена в широком диапазоне (0,5-38 об.%) позволит реализовывать в содержащих $C_2H_2$ теплоносителях регулируемый синтез наноматериалов, в том числе многостенных углеродных нанотрубок [3].

В целом, при исследовании данного процесса выявлены режимы с высокой степенью превращения сырья – пропан-бутана (сжиженный газ) в $C_2H_2$ - 95-99 %, высокой концентрацией ацетилена в пирогазе и низкими энергозатратами (до 4,0 кВт·ч/кг, что эквивалентно $К_{ЭН} \leq 1$). Следовательно, процесс в данных условиях, с использованием плазмотронов постоянного и переменного тока и с закалкой продуктов пиролиза в объеме жидких углеводородов (в частности, дизельного топлива), достаточно хорошо оптимизирован и может быть предложен для промышленной реализации.

**Литература**

1. Макоид В.К., Ганз С.Н., Пархоменко В.Д. // Изв. вузов. Сер. «Химия и хим. технология». 1972. Т. 15, № 4. С. 506.
2. Моссэ А.Л., Менх В.А., Крылова И.А., Забродин В.К. // ИФЖ. 1971. Т. 20, № 3, С. 462.
3. Раков Э.Г. // Успехи химии. 2000. Т. 69. С. 41.

УДК 536.24:621.57-9

## ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ МОЛОКООХЛАДИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

В.И. Володин, С.В. Здитовецкая

Белорусский государственный технологический университет

Одним из направлений повышения эффективности работы компрессионной молокоохладительной установки при первичной обработке молока является организация его непосредственного охлаждения без промежуточного хладоносителя.

Здесь возможна реализация двух схем: с рекуперативным испарителем-молокоохладителем и испарителем в виде непроточной емкости для охлаждения молока. В первом случае молокоохладительная установка работает в стационарном режиме, во втором – в нестационарном. Последний подход является предпочтительным, так как теплоизолированный испаритель дополнительно можно использовать в качестве резервуара для временного хранения молока после его охлаждения. Однако в настоящее время существует проблема расчета процессов при совместной работе испарителя и конденсатора в таких установках в реальном времени.

В данной работе рассматривается приближенный метод расчета молокоохладительной установки с непроточным испарителем-молокоохладителем, работающей в нестационарном режиме. Созданный метод позволяет получить адекватные результаты как для аппаратов с процессами кипения и конденсации, так и для установки в целом.

В основе метода лежит сопряженный расчет испарителя и конденсатора, а также параметров цикла компрессионной холодильной машины в стационарном режиме [1]. В настоящей работе этот метод распространен для расчета молокоохладительных установок, работающих в нестационарном режиме. Теплообменные аппараты рассчитываются позонно с учетом течения одно- и двухфазных потоков [2].

Рассмотрим особенности описанного выше метода численного анализа и исследуемой установки. Контур молокоохладительной установки включает в себя испаритель и конденсатор с двухфазными потоками. Нестационарность работы установки определяется режимными параметрами испарителя, который представляет собой емкость, заполненную заданным объемом молока. В рубашке испарителя или в объеме молока размещены каналы для потока хладагента, циркулирующего в контуре установки. Температура молока с течением времени постепенно уменьшается, что приводит к изменению параметров потока кипящего хладагента. Его температура, а соответственно и давление в испарителе понижаются, что определяет уменьшение теплового потока аппарата и холодопроизводительности установки в целом. Это оказывает влияние на параметры конденсатора, так как расход хладагента в контуре изменяется с течением времени.

Целью решаемой задачи является определение времени охлаждения молока от начальной температуры ~35 °С до заданной конечной 3–5 °С. Теплоперенос в испарителе описывается системой дифференциальных уравнений теплового баланса и теплопередачи, которые учитывают изменение во времени количества теплоты, передаваемого от молока к хладагенту. На каждом шаге интегрирования по времени $d\tau$ процесс считается квазистационарным. Для данного временного интервала проводится также сопряженный расчет контура и конденсатора.

Водоохлаждаемый конденсатор представляет собой змеевиковый перекрестно-противоточный теплообменник, в котором конденсируется перегретый хладагент. Хотя конструкция конденсатора довольно широко используется, однако до сих пор методология его расчета в большинстве инженерных приложений является неадекватной. Она не позволяет достоверно оценить температуру подогретой воды, так как приближенный расчет проводится по одному участку, когда теплота перегрева включается в теплоту конденсации. В настоящей работе расчет проводится по двум участкам, что позволяет получить значение температуры подогретой воды, близкое к реальному.

Созданный метод применялся для анализа работы опытной холодильно-нагревательной установки с хладагентом R22. Сравнение расчетных и

экспериментальных данных подтвердило достоверность разработанного метода расчета. Получены результаты об изменении параметров испарителя и конденсатора и их влиянии на холодо- и теплопроизводительность установки в целом. Исследования показали, что потери давления в аппаратах при их совместной работе могут оказывать существенное влияние на тепловой поток.

Таким образом, разработана математическая модель для расчета молокоохладительной установки в нестационарном режиме работы. Она также может быть использована для анализа работы и теплового проектирования компрессионных трансформаторов тепла другого назначения.

**Литература**


1. Володин В.И. Комплексный подход к расчету параметров компрессионной холодильной машины // Холодильная техника. 1998. № 2. С. 8–10.
2. Володин В.И. Влияние процессов теплообмена на эффективность компрессионных трансформаторов тепла // Тепломассообмен ММФ–2000. IV Минский междунар. форум. Минск: АНК ИТМО НАНБ, 2000. Т. 10. С. 202-208.


УДК 66.021.4:519.1-7

## СИСТЕМНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И АППАРАТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ УСТАНОВОК ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ


М.Н. Гамрекели

Уральский государственный лесотехнический университет
gamrekely@mail.ru; general@usfea.ru


Эффективность использования тепла в технологических установках определяется интенсивностью тепломассообмена как в основных, так и во вспомогательных аппаратах и системах. Выбор аппаратурных схем установок и конструкций аппаратов, входящих в их состав, в настоящее время происходит при рассмотрении ограниченного числа возможных вариантов и часто зависит от пристрастий разработчиков.

В докладе рассмотрена система синтеза оптимальных технических решений (СОТР) сложных теплопотребляющих технологических установок на основе наиболее полного применения современной научно-технической информации.

Оптимальный вариант выбирается по максимальному значению термического КПД и минимальным удельным затратам тепла в расчете на 1 кг испаренной влаги или произведенного продукта.

За аналог СОТР принята система структурного анализа, предложенная рядом авторов [1] для решения простых изобретательских задач, когда индивидуальное распознавание технического решения (ТР) синтезируемого объекта осуществляется на основе описания всех известных особенностей в виде многоуровневого дерева с ветвями из взаимосвязанных характерных признаков. Для оптимального технического решения (ОТР) сложных технологических установок нами использованы три типа