

Максимальный натяг кольца по внутреннему диаметру  $H_{\max}$  определяется по формуле

$$H_{\max} = 100(D_{2\max} - D_{\min}) / D_{\min},$$

где  $D_{\min}$  – минимальный внутренний диаметр рассчитываемого кольца,  $D_{\min} = 8$  мм.

После подстановки получаем  $H_{\max} = 24,5$  %.

Минимальный натяг кольца по внутреннему диаметру  $H_{\min}$  определяется по формуле

$$H_{\min} = 100(D_{2\min} - D_{\max}) / D_{\max},$$

где  $D_{\max}$  – максимальный внутренний диаметр рассчитываемого кольца,  $D_{\max} = 8,4$  мм.

После подстановки получаем  $H_{\min} = 17,9$  %.

Диаметр заходной фаски  $D_{зф}$  определяется по формуле

$$D_{зф} = D_{1\min} - 2d_{\max} - 1.$$

После подстановки значений получаем  $D_{зф} = 7,8$  мм.

Расчеты показали, что при полученных показателях натяга и деформации кольца (от 16 до 25 %) обеспечивается герметичность и работоспособность соединения в течение требуемого срока службы. По результатам испытаний на герметичность, проведенных в Институте резины и РТИ ПАО «Уральский завод резиновых технических изделий», была подтверждена правильность выполненных расчетов.

УДК 66.081.2: 66.092-977

Студ. К.А. Епачинцева, К.С. Ивлева  
Рук. М.Н. Гамрекели  
УГЛТУ, Екатеринбург

## АДСОРБЦИЯ ПИРОЛИЗНЫХ ГАЗОВ ДРЕВЕСИНЫ

В настоящее время при утилизации древесных отходов для получения тепловой и электрической энергии и при утилизации отработанных деревянных шпал практически повсеместно применяют простое сжигание с избытком воздуха.

Пиролитическое сжигание в отсутствие или при недостатке воздуха при температурах процесса выше  $750$  °С значительно экономичнее и снижает выбросы токсичных газов. Поэтому этот процесс имеет большие перспективы, но требует разработки специального оборудования.

Для полного устранения выбросов сравнительно небольшого количества токсичных газов необходимо дожигать пиролизный газ при высоких температурах (выше 1300 °С) или предварительно нейтрализовать их за счет сорбции.

Образующийся при пиролитическом сжигании древесины газ содержит преимущественно водород (более 80 %) и оксид углерода. Эти газы обладают высокой теплотворной способностью и при последующем сжигании образуют пары воды и углекислый газ. Небольшое количество пиролизных газов (около 2–3 %) в виде высокотоксичной смеси оксидов азота, сернистого газа и ароматических углеводородов термически не утилизируется и в выбросах загрязняет окружающую среду [1].

Применение абсорбции с использованием жидких сорбентов для нейтрализации этих газов не может быть окончательным решением экологической проблемы, так как приводит к образованию жидких отходов, которые нужно перерабатывать и переводить в безопасную для хранения форму.

Наиболее эффективным способом нейтрализации токсичных газов может быть применение адсорбции природными цеолитами. Прочная фиксация их твердыми сорбентами без превышения ПДК вредных веществ в их составе позволит, не нарушая требований экологической безопасности, возвращать отработанные сорбенты в окружающую среду и использовать их в качестве грунтов или строительных материалов.

Для решения проблемы утилизации токсичных газообразных продуктов пиролиза древесины необходимо организовать системные исследования сорбционных свойств природных цеолитов России.

Крупные залежи цеолитов находятся на всей территории РФ [2]. Базовые месторождения с запасами 3,8 млрд т при высокой концентрации цеолитов в руде (более 40 %) состоят в основном из минералов: клиноптилолита, гейландита, морденита. Кроме того, существует значительное число других типов цеолитов, образующих огромную сырьевую базу (около 20 млн т), так называемых бедных руд из местных небольших месторождений цеолитов, расположенных практически повсеместно. С учетом бедных руд суммарные запасы цеолитов в России на конец 90-х годов прошлого века составляли 23,8 млрд т.

В составах природных цеолитов самых разных месторождений содержатся в основном оксиды кальция, магния, калия, натрия. Катиониды этих и других веществ в составе руд определяют адсорбционный потенциал этих минералов, зависящий от соотношения этих веществ, их содержания в руде, фракционного и полного минерального состава каждого месторождения и от подготовки цеолита перед загрузкой в адсорбер, которая будет включать прежде всего отделение пустой породы и фракционирование, а

также гранулирование сорбента с целью увеличения поверхности контакта сорбируемых веществ.

Полнота адсорбции примесей из смесей газов может быть достаточно высокой [2]. Отмечена высокая адсорбционная емкость цеолита при очистке смесей газов от оксидов серы и азота. Установлено, что сорбция диоксида серы в расчете на грамм цеолита типа клиноптилолита достигает 148 мг/г, а морденита 186 мг/г.

Степень селективной очистки выбросов газов цеолитами от диоксида серы при производстве асфальта составляет 60–96 %, от оксидов азота 30,9–65 %.

Опыты по обогащению воздуха кислородом за счет адсорбции азота породами, содержащими цеолиты, показали высокую селективную сорбцию. Адсорбционная емкость цеолита (шабазита) по азоту составляла 24 см<sup>3</sup>/г, а по кислороду 0,1–0,3 см<sup>3</sup>/г.

Проводя исследование возможности использования цеолитов в качестве катализаторов окисления, Г.М. Пуляевская и Л.И. Чернышева [2, стр. 164–166] показали, что цеолиты могут найти применение для очистки воздуха от вредных примесей в закрытых рабочих помещениях, на закрытых стоянках автотранспорта, а также от выбросов, состоящих из угарного газа и других органических веществ.

Известна промышленная установка с применением цеолитов для полного выделения из смеси газов высокочистого водорода с исходной концентрацией в газе 50–70 %. Остальные компоненты этого потока газов: метан и его гомологи, моно- и диоксид углерода, азот, пары воды – выбрасываются в атмосферу.

Приведенные примеры показывают, что благодаря подбору типов сорбентов, режимов сорбции и селективному их применению можно не только обезвредить токсичные газообразные компоненты в составе смеси пиролизных газов, но выделять из них и аккумулировать в определенном сорбенте большое количество чистого водорода. Такой подход к организации отдельной адсорбции пиролизных газов при термической утилизации древесных отходов может быть использован для устранения загрязнения окружающей среды как за счет адсорбции токсичных газов при пиролизе древесины, так и за счет зарядки водородных аккумуляторов и перевода автотранспорта на водородное топливо.

Насущная потребность различных отраслей промышленности в повышении эффективности очистки сбросов и выбросов и массовом получении широкого спектра технологических продуктов высокого качества, логистическая доступность и огромные ресурсы разведанных месторождений предопределяют необходимость системных прикладных исследований свойств природных цеолитов по следующим направлениям:

– изучение производственных технологических процессов и производств в различных отраслях промышленности, которые нуждаются в повышении эффективности очистки и разделении технологических сред и продуктов;

– разработка программы лабораторных исследований технологических свойств природных цеолитов в условиях разных процессов, включая энергетический пиролиз низкосортной древесины и древесных отходов разного рода (отходы мебельного производства, отработанные деревянные шпалы и др.).

#### Библиографический список

1. Соколовская Ю.Г., Фалюшин П.Л. Пиролиз отходов мебельного производства. Природопользование: сб. тр. НАН Беларуси, ГНУ «Ин-т природопользования», вып. 20. Минск, 2011. – С. 143–146.

2. Природные цеолиты России. Геология, физико-химические свойства и применение в промышленности и охране окружающей среды. Т. 1: Тез. Республ. совещания «Природные цеолиты России», 25–27 ноября 1991 г., Новосибирск: РАН, Сиб. отд., Объедин. ин-т геологии, геофизики и минералогии. 1992. – 171 с.

УДК 54-414: 66.081.2 + 628.474. 383 + 66.092-977

Студ. К.А. Епачинцева, К.С. Ивлева  
Рук. М.Н. Гамрекели  
УГЛТУ, Екатеринбург

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОСОРТНОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ОТРАБОТАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ**

Древесина является одним из наиболее крупных естественно возобновляемых источников энергии. На этом факте как-то принято акцентировать внимание. Однако нужно отметить, что в процессе своего роста растения аккумулируют солнечную энергию в составе древесного вещества, причём после ее использования в качестве топлива древесина возобновляется в короткие сроки. На территории России при полной реализации расчетной лесосеки, составляющей 550 млн м<sup>3</sup>, с учетом низкосортной древесины и отходов при заготовках на лесосеке, при санитарных рубках и рубках ухода, при лесопилении, с учетом потерь от лесных пожаров, болезней и естественного отпада, а также в связи со строительством дорог и