



Научная статья
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 661.741.141
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.028

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ ДЛЯ РЕКУПЕРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ АСБЕСТОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Ольга Михайловна Горелова ¹, Владимир Александрович Сомин ²,
Лариса Федоровна Комарова ³, Михаил Сергеевич Некрасов ⁴

^{1, 2, 3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
¹ osgor777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7397-7803>
² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>
³ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>
⁴ Барнаульский завод автоформованных термостойких изделий, Барнаул, Россия
ati.nekrasov@gmail.com

Аннотация. Проведено обоснование выбора адсорбента для поглощения растворителей из паровоздушной смеси, образующихся при производстве асбестотехнических изделий. Рассчитаны равновесные концентрации компонентов растворителя Р-12 для различных активированных углей, на основании которых в качестве адсорбента выбран уголь марки СКТ-3. В результате технологического расчета определены параметры работы адсорбционной установки, ее основные размеры, количество загружаемого угля и улавливаемого растворителя.

Ключевые слова: адсорбция, асбестотехнические изделия, этилацетат, толуол, адсорбент.

Для цитирования: Изучение процесса адсорбции для рекуперации растворителей в производстве асбестотехнических изделий / О. М. Горелова [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 200–204. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.028.

Original article

STUDY OF THE ADSORPTION PROCESS FOR SOLVENT RECOVERY IN THE PRODUCTION OF ASBESTIC PRODUCTS

Olga M. Gorelova ¹, Vladimir A. Somin ², Larisa F. Komarova ³,
Mikhail S. Nekrasov ⁴

^{1, 2, 3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
¹ osgor777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7397-7803>
² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>
³ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>
⁴ Barnaul plant of auto-molded heat-resistant products, Barnaul, Russia
ati.nekrasov@gmail.com

Abstract. The substantiation of the choice of the adsorbent for the absorption of solvents from the vapor-air mixture, formed during the production of asbestos-technical products, has been carried out. The equilibrium concentrations of the components of the R-12 solvent were calculated for various activated carbons, on the basis of which the SKT-3 coal was selected as the adsorbent. As a result of the

© Горелова О. М., Сомин В. А., Комарова Л. Ф., Некрасов М. С., 2021

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ДЛЯ РЕКУПЕРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ АСБЕСТОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

technological calculation, the parameters of the adsorption unit operation, its main dimensions, the amount of coal loaded and the captured solvent were determined.

Keywords: *adsorption, asbestos products, ethyl acetate, toluene, adsorbent.*

For citation: Gorelova, O. M., Somin, V. A., Komarova, L. F. & Nekrasov, M. S. (2021). Study of the adsorption process for solvent recovery in the production of asbestic products. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 200-204. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.028.

ВВЕДЕНИЕ

Рекуперация растворителей из паровоздушных смесей (ПВС) позволяет обеспечить ресурсосбережение в производстве резинотехнических изделий и снижение воздействия на окружающую среду.

На стадии улавливания растворителей из ПВС в производстве асбестотехнических изделий (АТИ) чаще всего используется процесс адсорбции на активированных углях, а десорбция традиционно осуществляется с помощью острого водяного пара.

Поглощение паров летучих растворителей можно проводить в стационарных (неподвижных), кипящих и плотных движущихся слоях поглотителя, однако в производственной практике наиболее распространенными являются рекуперационные установки со стационарным слоем адсорбента, размещаемым в вертикальных, горизонтальных или кольцевых адсорберах [1].

Адсорберы вертикального типа обычно используют при небольших объемах расхода потоков, подлежащих очистке паровоздушных (парогазовых) смесей (до 30 тыс. м³/ч), горизонтальные и кольцевые аппараты служат, как правило, для обработки таких смесей при высоких (десятки и сотни тысяч м³ в час) расходах [2]. Рекуперационные установки со стационарным слоем адсорбента работают по трем технологическим циклам: четырех-, трех- и двухфазному. Четырехфазный цикл включает последовательно фазы адсорбции, десорбции, сушки и охлаждения. Адсорбцию проводят на активных углях. При десорбции острым паром удаляют адсорбированный растворитель. При сушке нагретым воздухом из адсорбента вытесняют влагу, накапливающуюся в нем в фазе десорбции при конденсации части острого пара. Нагретый и обезвоженный поглотитель охлаждают атмосферным воздухом.

Активные угли, являющиеся гидрофобными адсорбентами, наиболее предпочтительны для улавливания паров углеводородов. Угли должны иметь высокую селективность по отношению к извлекаемому компоненту, быть механически прочными, доступ-

ными и способными выдерживать многократную регенерацию.

Известны различные способы получения сорбентов для улавливания углеводородов.

Авторы [3] получали активированные угли методом карбонизации в атмосфере азота при 800 °С в течение 1 ч косточек сливы, скорлупы арахисовых, грецких и кокосовых орехов с последующей парогазовой активацией. Установлено, что наибольшей адсорбционной емкостью в газовом потоке обладает сорбент из кокосовых орехов, статическая емкость которого по бензолу равна 151 мг/г. Изучено влияние температуры на процесс: для парогазовых смесей с 1 % об. углеводородов адсорбция падает на (50–80) %, однако в области низких концентраций до 0,005 % об. активность углей практически не зависит от температуры процесса, что указывает на целесообразность их применения для очистки низкоконцентрированных газовых потоков при повышенных температурах без их предварительного охлаждения.

Авторы [4] в качестве сорбента использовали монтмориллонит, модифицированный катионными поверхностно активными веществами. Определены кинетические параметры адсорбции из газовой фазы декана, толуола и этанола. Выявлено, что степень адсорбции низкомолекулярных веществ на поверхности сорбента определяется не только природой адсорбента и адсорбата, но и свойствами растворителя. Как правило, адсорбированные нитроксильные радикалы находятся на поверхности наночастиц в агрегированном состоянии (в виде кластеров). Полярные вещества адсорбируются преимущественно на свободной поверхности, а неполярные – на участках, занятых фрагментами ПАВ. Кинетика адсорбции толуола и спирта из газовой фазы носит полихронный характер, что свидетельствует о неоднородности поверхности наночастиц. Наличие катионного красителя в составе смеси практически не влияет на адсорбцию алифатических и ароматических углеводородов, но приводит к значительному усилению адсорбции спиртов.

В работе [5] рассмотрена адсорбция бен-

зола и толуола на расширенном графите. Показано, что при термобарическом расщеплении природного графита разрушение происходит в основном вдоль базисных плоскостей, увеличение которых вызывает специфическую адсорбцию неполярных и слабополярных веществ. С ростом температуры величина адсорбции бензола и толуола на поверхности расширенного графита уменьшается. Расширенный графит проявляет высокую динамическую адсорбционную активность по отношению к ароматическим углеводородам: максимальное значение адсорбции бензола из парогазовой фазы составляет 3,52 ммоль/г, для толуола – 2,22 ммоль/г.

Кроме углеродных материалов, для получения сорбентов используют и вещества минеральной природы. В частности, в работе [6] изучалась адсорбция толуола, циклогексана и н-гексана на цеолите. Показано, что К-формы цеолита (оффретиты) способны удерживать адсорбированный толуол до температур (300–400) °С.

Авторами [7] изучены адсорбционные равновесия на синтетических цеолитах из растворов изооктан – бензол и изооктан – толуол, при 200 °С, 300 °С и 400 °С. Установлено, что для выделения бензола и толуола из раствора изооктана наиболее выгодно использование цеолита в натриевой форме.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основной целью при расчете адсорбционной установки является определение равновесных зависимостей, расчет кинетических характеристик сорбции и определение основных размеров аппаратов на основе уравнений динамики процесса.

Для использования в процессе получения АТИ на одном из предприятий г. Барнаула было предложено использовать растворитель Р-12, который представляет смесь толуола (60 % масс), бутилацетата (30 % масс) и ксилола (10 % масс). Для его улавливания компонентов этого растворителя, согласно данным [8], могут применяться угли СКТ-3, АР-А, АР-3, КАД-йодный.

Для выбора адсорбционного материала был проведен расчет равновесных концентраций веществ (толуола, п-ксилола, бутилацетата) для перечисленных углей. Расчет произведен при температуре 55 °С согласно требованиям технологического процесса (рисунки 1–3).

Как видно из графических зависимостей на рисунках 1–3, наименьшей сорбционной способностью ко всем извлекаемым компонентам обладает КАД-йодный уголь, для которого равновесная концентрация по всем веществам составляет не более 0,2 кг/кг.

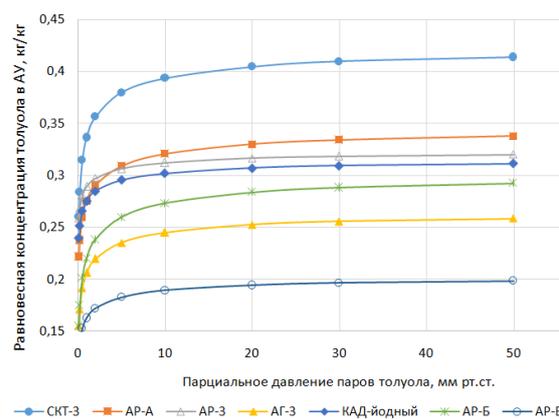


Рисунок 1 – Сравнение поглотительной способности углей по толуолу

Figure 1 - Comparison of the absorption capacity of coal for toluene

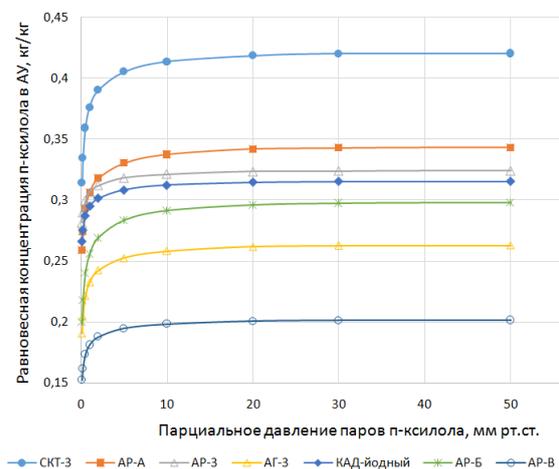


Рисунок 2 – Сравнение поглотительной способности углей по п-ксилолу

Figure 2 - Comparison of absorption p-xylene capacity of coals

Наибольшей сорбционной способностью по отношению к компонентам растворителя Р-12 обладает уголь СКТ-3 (0,42–0,43 кг/кг).

В дальнейшем для данного угля были построены изотермы сорбции компонентов растворителя Р-12 и дополнительно бензола, изопробилбензола и этилацетата. Результаты представлены на рисунке 4.

Отмечено, что при парциальном давлении 7,2 мм.рт.ст. равновесная концентрация толуола составляет 0,38 кг/кг, п-ксилола и бутилацетата – 0,7 кг/кг. Несколько хуже поглощаются этилацетат и изопробилбензол.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ ДЛЯ РЕКУПЕРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ АСБЕСТОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

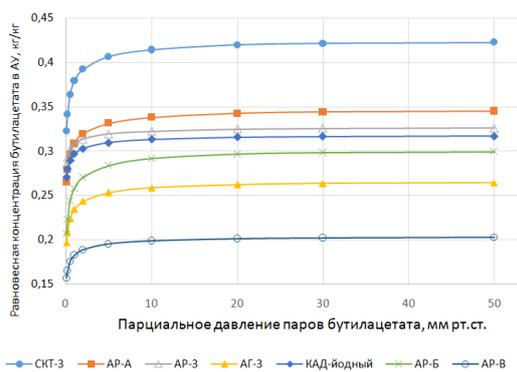


Рисунок 3 – Сравнение поглощательной способности углей по бутилацетату

Figure 3 - Comparison of the absorption capacity of coal for butyl acetate

На основании проведенных исследований для поглощения паров растворителя Р-12 был выбран вертикальный адсорбер с неподвижным слоем сорбента SKT-3.

Проскоковая концентрация поглощаемого вещества в очищенном воздухе составит:

$$C = 0,05C_0 = 0,00175 \text{ кг/м}^3,$$

где $C_0 = 0,035 \text{ кг/м}^3$ – исходная концентрация паровоздушной смеси.

Продолжительность адсорбции вычисляется по формуле:

$$\tau = \frac{a_0^*}{wC_0} \left\{ H - \frac{w}{\beta_y} \left[\frac{1}{K} \ln \left(\frac{C_0}{C} - 1 \right) + \ln \frac{C_0}{C} - 1 \right] \right\},$$

где τ – продолжительность, мин;

a_0^* – равновесная сорбционная емкость;

w – скорость газового потока, м/с;

$K = C_0/C^*$; C^* – содержание вещества в газовом потоке, равновесное с половинным количеством от максимально адсорбируемого данным адсорбентом, кг/м³;

β_y – коэффициент массоотдачи, с-1;

H – высота слоя адсорбента, м;

Для заданных параметров рассчитанная продолжительность адсорбции составила 12830 минут, или 3,56 часа.

Для более полной выработки емкости адсорбента примем время его работы до равновесной концентрации, равным 1,44 ч, тогда продолжительность всего процесса составит 5 ч. Это требует установки двух последовательно работающих адсорберов, первый обеспечит максимальное использование емкости угля, второй – очистку воздуха до заданной степени.

Исходя из расхода газовой смеси 3750 м³ за один цикл адсорбции, рассчитаем диаметр адсорбера:

$$D_a = \sqrt{\frac{3750 \times 4}{\pi w \tau}} = \sqrt{\frac{3750 \times 4}{3,14 \times 0,22 \times 10693}} = 1,43 \text{ м.}$$

Принимаем адсорбер диаметром 1,5 м.

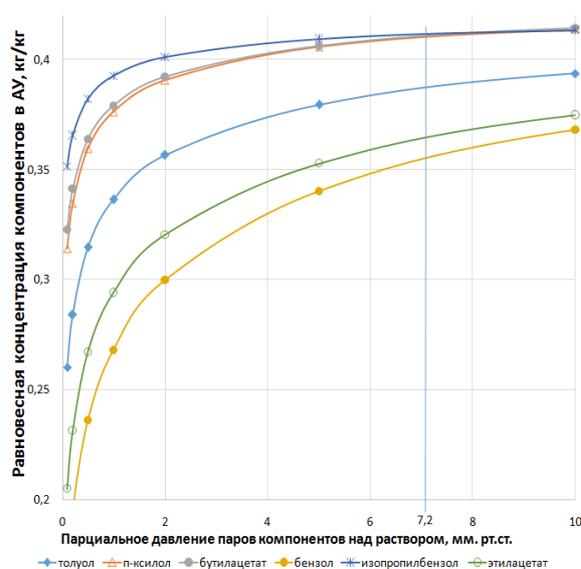


Рисунок 4 – Сравнение поглощательной способности угля SKT-3 по отношению к различным растворителям

Figure 4 - Comparison of the absorption capacity of SKT-3 coal in relation to various solvents

Расчет материального баланса процесса адсорбции позволил определить количество уловленного за один цикл растворителя, которое составило 131 кг. Поскольку компоненты растворителя представляют собой жидкости, практически не растворимые в воде, их отделение от воды целесообразно осуществить методом расслаивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучена поглощательная способность углей различных марок по отношению к компонентам растворителя Р-12.

Рассчитана установка для поглощения растворителя Р-12 из паровоздушной смеси. Рассчитан и подобран основной аппарат – адсорбер диаметром 1,5 м с загрузкой из активированного угля марки SKT-3 высотой 0,7 м. Количество угля, загружаемого в адсорбер, составляет 470 кг.

Установлены основные технологические параметры проведения процесса: продолжительность адсорбции 5 часов, продолжительность десорбции – 1 ч, количество необходимого насыщенного водяного пара на один цикл адсорбции – 1000 кг, продолжительность сушки – 1 ч, продолжительность охлаждения – 1 ч, количество охлаждающего агента (воздух) – 3700 м³, температура охлаждающего воздуха 25 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. Москва :Химия, 1976. 512 с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. Изд. 2-е. Москва : Химия, 1973. 754 с.
3. Адсорбция паров углеводородов активными углями из растительного сырья / Т.В. Анурова [и др.] // Сорбционные и ионообменные процессы, 2004. Т. 77. № 5. С. 743–748.
4. Адсорбция и молекулярная динамика низкомолекулярных веществ на наночастицах модифицированного монтмориллонита / В.Б. Иванов [и др.] // Химическая физика наноматериалов. 2014. Т. 33. № 3. С. 84–91.
5. Негуторов Н.В., Гилязова И.Р., Пыхова Н.В. Кинетика адсорбции органических веществ на расширенном графите // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2014. №1 (18). С. 60–66.
6. Материаловедение и технологии материалов влияние условий синтеза цеолита типа оффретита на его адсорбционные свойства / К. Горшунова [и др.] // Журнал Физической химии. 2015. Т. 89. № 5. С. 830–836.
7. Юсубов Ф.В., Ибрагимов Ч.Ш. Экологические аспекты адсорбционных процессов в неподвижном слое // Вестник науки и образования. 2017. Т. 2. № 5 (29). С. 17–23.
8. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. Т.1. 917 с.

Информация об авторах

О. М. Горелова – кандидат технических наук, доцент кафедры химической техники и инженерной экологии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В. А. Сомин – доктор технических наук, заведующий кафедрой химической техники и инженерной экологии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Л. Ф. Комарова – доктор технических наук, профессор кафедры химической техники и инженерной экологии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

М. С. Некрасов – директор по перспективному развитию Барнаульского завода автоформованных термостойких изделий.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 01.04.2021; одобрена после рецензирования 18.05.2021; принята к публикации 28.05.2021.

The article was submitted to the editorial board on 01 Apr 21; approved after review on 18 May 21; accepted for publication on 28 May 21.

REFERENCES

1. Keltsev, N.V. (1976). *Basics of adsorption technology*. Moscow: Chemistry. (In Russ).
2. Dytner, Yu.I. (1973). Basic processes and devices of chemical technology: design manual. Moscow: Chemistry. (In Russ).
3. Anurova, T.V., Klushin, V.N., Mukhin, V.M., Myshkin, V.E., Anurov, S.A. & Suare, M.A. (2004). Adsorption of hydrocarbon vapors by activated carbons from vegetable raw materials. *Sorption and ion exchange processes*, 77 (5), 743-748. (In Russ).
4. Ivanov, V.B., Zavodchikova, A.A., Barashkova, I.I., Solina, E.V. & Wasserman, A.M. (2014). Adsorption and molecular dynamics of low-molecular substances on nanoparticles of modified montmorillonite. *Chemical Physics of Nanomaterials*, 33 (3), 84-91. (In Russ).
5. Negutorov, N.V., Gilyazova, I.R. & Pykhova, N.V. (2014). Kinetics of adsorption of organic substances on expanded graphite. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*, 1 (18), 60–66. (In Russ).
6. Gorshunova, K.K., Travkina, O.S., Kapustin, G.I., Kustov, L.M., Pavlov, M.L. & Kutepov, B.I. (2015). Materials science and technology of materials influence of conditions of synthesis of offretite type zeolite on its adsorption properties. *Journal of Physical Chemistry*, 89 (5), 830-836. (In Russ).
7. Yusubov, F.V. & Ibragimov, Ch.Sh. (2017). Environmental aspects of adsorption processes in a fixed bed. *Bulletin of Science and Education*, 5 (29), 17-23. (In Russ).
8. Timonin, A.S. (2003). *Engineering and ecological reference book*. Kaluga: publishing house of N. Bochkareva. (In Russ).

Information about the authors

O. M. Gorelova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology, Polzunov Altai State Technical University.

V. A. Somin – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology, Polzunov Altai State Technical University.

L. F. Komarova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology, Polzunov Altai State Technical University.

M. S. Nekrasov – Director for Prospective Development of the Barnaul plant of auto-formed heat-resistant products.