

РАЗРАБОТКА АДСОРБЕБРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА НЕФТИ ОТ ФЕНОЛА

Менделуц Н.А., бакалавр

Научный руководитель Желовицкая А.В.

**Казанский национальный исследовательский технологический
университет им. А.Н. Туполева - КАИ, Российская Федерация**

Предложена конструкция адсорбера для извлечения фенола из сточных вод гидрокрекинга. Аппарат выполнен в виде вертикальной колонны с подвижным слоем сорбента. Приведены основные конструктивные параметры. В качестве сорбента предлагается магнитопористый биоуголь из люфы (MPLB), обладающий высокой адсорбционной емкостью и возможностью быстрой сепарации.

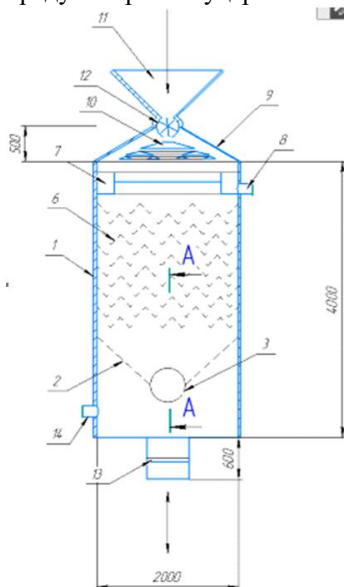
Ключевые слова: адсорбер, фенол, сорбент, сточные воды, нефть, очистка, биоуголь, гидрокрекинг, адсорбция.

Очистка фенолсодержащих сточных вод на большинстве предприятий осуществляется химическими, биологическими и физико-химическими методами. К физико-химическим методам извлечения фенолов относят непосредственно адсорбционную очистку, экстракцию, паровую обработку и т.д. [1].

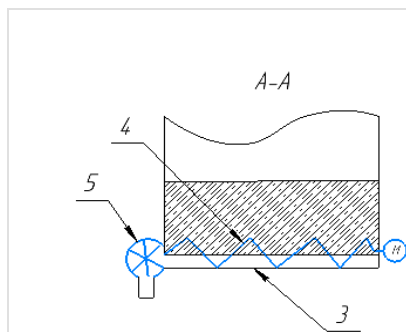
К преимуществам использования физико-химических методов можно отнести: возможность удаления из сточных вод токсичных, биохимических неокисляемых органических загрязнений; достижение более глубокой и стабильной степени очистки; меньшие размеры сооружений; меньшая чувствительность к изменениям нагрузок; возможность полной автоматизации процесса; не связность с контролем за деятельностью живых организмов; более глубокая изученность кинетики некоторых процессов, а также вопросов моделирования, математического описания и оптимизации, что важно для правильного выбора и расчета аппаратуры [2].

На основании патентно-реферативного анализа адсорбционных аппаратов, предлагается адсорбер (рис. 1) [3]. Адсорбер состоит из цилиндрического корпуса 1 с перфорированным ложным днищем 2 в форме перевернутой трапеции, образующим шнековую камеру 3 со шнеком 4 (рис. 2) и шлюзовым устройством 5. В центральной части корпуса в шахматном порядке установлены горизонтальные перфорированные перегородки 6 (рис. 3) с бортами, задерживающими адсорбент. Между перегородками формируются щели для зигзагообразного движения сорбента. В верхней части расположены кольцевой приемник очищенной воды 7 со штуцером 8, коническая крышка 9 и система концентрических колец 10 для равномерного распределения сорбента. Подача сорбента осуществляется из бункера 11 через

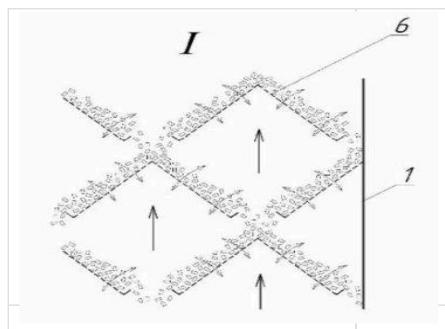
лопастной питатель 12. В днище адсорбера вмонтирован пульсатор 13. Для подачи загрязненной воды предусмотрен штуцер 14 в нижней части корпуса.



- 1 – цилиндрический корпус; 2 – перфорированное ложное днище;
 3 – шнековая камера; 6 – горизонтальные перегородки; 7 – перфорированный
 кольцевой приемник очищенной воды; 8 – штуцер; 9 – коническая крышка;
 10 – система концентрических колец; 11 – бункер; 12 – лопастной питатель;
 13 – пульсатор; 14 – штуцер, для подачи загрязненных вод
 Рисунок 1 – Вертикальный адсорбер



- 3 – шнековая камера; 4 – шнек; 5 – шлюзовое устройство
 Рисунок 2 – Шнековая камера



1 – цилиндрический корпус; 6 – горизонтальные перегородки
 Рисунок 3 – Устройство горизонтальных перегородок

Принцип работы адсорбера: сточные воды подаются через штуцер 14 в нижнюю часть корпуса и под давлением поднимаются вверх. Гранулы сорбента из бункера 11 через питатель 12 поступают на систему колец 10, смачиваются и под действием силы тяжести опускаются вниз. На пути они проходят через горизонтальные перфорированные перегородки 6, которые обеспечивают зигзагообразное движение гранул. Борты на перегородках задерживают сорбент, увеличивая время контакта. Пульсатор 13 создает пульсации, формирующие микроструи через отверстия перегородок, что взрыхляет слой и улучшает массообмен. Отработанные гранулы собираются на ложном днище 2, поступают в шнековую камеру 3 и через шлюзовое устройство 5 направляются на регенерацию. Очищенная вода собирается в кольцевом приемнике 7 и отводится через патрубок 8.

Выбор данного аппарата обусловлен следующими факторами:

1. *непрерывность процесса очистки*: в отличие от адсорберов с непрерывным слоем, данный аппарат работает непрерывно – загрузка свежего и выгрузка отработанного сорбента происходит без остановки процесса.

2. *повышение эффективности использования сорбента*: горизонтальные перфорированные перегородки с бортами создают зигзагообразную траекторию движения гранул, что увеличивает время контакта сорбента с очищаемой водой и позволяет более полно использовать его сорбционную емкость.

3. *интенсификация массообмена*: пульсатор создает колебания давления, формируя микроструи через отверстия перегородок. Это турбулизует поток, обновляет поверхность контакта фаз и способствует проникинению загрязнителей в поры сорбента.

4. *автоматизация выгрузки и подачи сорбента*: шнековая камера и

шлюзовое устройство позволяют механизировать процесс удаления отработанного и дозированной подачи свежего сорбента.

Расчет конструктивных параметров адсорбера:

$$G = q_w (C_n - C_k) \cdot 10^{-3} = 10 \cdot (5 - 0,5) \cdot 10^{-3} = 0,045 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 45 \text{ г/ч} \quad (1)$$

Где G – масса фенола, извлекаемая за час, г/ч;

$$M_{\text{сорб}} = \frac{G}{q \cdot 10^{-3}} = \frac{0,045}{0,04} = 1,125 \text{ кг/ч} \quad (2)$$

Где $M_{\text{сорб}}$ – требуемая масса сорбента в аппарате (при полном насыщении);

q – емкость сорбента, мг/г;

$$M_{\text{сорб, сут}} = M_{\text{сорб}} \cdot 24 = 27 \quad (3)$$

Где $M_{\text{сорб, сут}}$ – требуемая масса сорбента в аппарате, за 24 часа непрерывной работы;

$$F = \frac{q_w}{v} = \frac{10}{5} = 2 \text{ м}^2 \quad (4)$$

Где F – площадь поперечного сечения адсорбера, м²;

v – скорость фильтрации, м/ч;

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{8}{3,14}} = 2 \text{ м} \quad (5)$$

Где D – диаметр адсорбера, м;

$$V_{\text{сорб}} = F \cdot H = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ м}^3 \quad (6)$$

Где $V_{\text{сорб}}$ – объем загрузки сорбента в одном аппарате, м³;

H – высота слоя, принимаем равной 1,5 м;

$$M_{\text{факт}} = V_{\text{сорб}} \cdot \rho_{\text{нас}} = 3 \cdot 500 = 1500 \text{ кг} = 1,5 \text{ т} \quad (7)$$

Где $M_{\text{факт}}$ – масса сорбента в одном аппарате, т;
 ρ – насыпная плотность сорбента, принимаем равной 500 кг/м³;

$$t = \frac{M_{\text{факт}} \cdot q}{G} = \frac{1500 \cdot 0,004}{0,045} = 1333 \text{ ч} = 55 \text{ сут} \quad (8)$$

Где t – время работы аппарата до насыщения, сут;

$$\begin{aligned} H_{\text{общ}} &= H_{\text{слоя}} + H_{\text{нижн}} + H_{\text{верх}} + H_{\text{бункер}} + H_{\text{днища}} = \\ &= 1,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 1,0 = 4 \text{ м} \end{aligned} \quad (9)$$

Где $H_{\text{общ}}$ – суммарная высота, м;

$H_{\text{нижн}}$ – высота нижней зоны (под ложным днищем), м;

$H_{\text{верх}}$ – высота верхней зоны (над слоем), м;

$H_{\text{бункер}}$ – высота бункера с питателем, м;

$H_{\text{днища}}$ – высота конического днища, м;

Литература:

1. Очистка фенолсодержащих стоков методом ультрафильтрации / А. В. Бусарев, А. V. Busarev, А. С. Селюгин [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2025. – № 4. – С. 54-58. – ISSN 3034-4689. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/374404> (дата обращения: 22.03.2026). – Режим доступа: для авториз. Пользователей
2. Хайновский, К. Б. Санитарная гидротехника: учебное пособие / К. Б. Хайновский. – Калининград: КГТУ, 2016. – 111 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/449546> (дата обращения: 06.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Патент № 2806348 Российская Федерация, МПК В01D 15/02 (2006.01), В01D 15/10 (2006.01), С02F 1/28 (2006.01). Адсорбер: №2023109833: заявл. 18.04.2023; опубл. 31.10.2023 / Иванов П. П., Семенов А. Г., Иванова Л. А., Михайлова Е. С., Пачкин С Г., Тимощук И. В.; заявитель [не указан] – [б.и.]: ил. – Текст электронный