

УДК 502.13

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОРБЕНТОВ
ПРИ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ****В. В. КОВАЛЕВА, В. А. КАЛИНИНА***(Представлено: канд. пед. наук, доц. А. П. МАТЕЛЕНОК)*

В статье рассмотрены сорбционные материалы, применяемые для очистки от нефтяного загрязнения воды. Дана характеристика выбранных сорбционных материалов, применяемых для очистки от нефтяного загрязнения воды. Представлена модель изменения концентрации нефти в загрязненных водах под действием сорбентов. Приведена математическая модель фильтрации водонефтяной смеси в адсорбционном фильтре.

Масштабы промышленного загрязнения природных экосистем нефтью и нефтепродуктами продолжают увеличиваться во всем мире. Главным фактором, влияющим на увеличение этих масштабов, является дисбаланс между бурным ростом всех отраслей современной промышленности и совершенствованием технологий очистки воды от нефтяных загрязнений. В настоящее время для очистки воды от нефтяных загрязнений разработаны различные по технологии методы и регулярно внедряются новые. В первую очередь следует использовать для этих целей наиболее экологические и безопасные способы, не забывая об эффективности и финансовых затратах. В данной работе рассмотрены сорбционные материалы, применяемые для очистки от нефтяного загрязнения воды, представлена математическая модель изменения концентрации нефти в загрязненных водах под действием сорбентов.

Сорбция представляет собой один из наиболее эффективных методов глубокой очистки от растворенных органических веществ сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической, текстильной и других отраслей промышленности. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно и совместно с биологической, как метод предварительной и глубокой очистки. Преимуществами этого метода являются возможность поглощения веществ из многокомпонентных смесей и высокая степень очистки, особенно слабо концентрированных сточных вод. Сорбционные методы весьма эффективны для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ с их последующей утилизацией и использования очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Условно сорбенты можно разделить на четыре группы[1]:

1. Сорбенты на основе растительных остатков (отруби различных злаков и гречихи, торф, лузга от подсолнечных семечек, древесные опилки и т. п.).
2. Сорбенты на синтетической основе изготовлены на основе полиуретана, полиэтилена, полипропилена, карбамидоформальдегидных смол и т. д.
3. Углеродные сорбенты используются в качестве фильтра для очистки воды от нефти и нефтепродуктов.
4. Сорбенты на основе природных пористых минералов (вермикулит, перлит). Эта группа может быть поделена еще на две подгруппы: гидрофибрированные и негидрофибрированные.

Основные преимущества сорбента: отсутствие десорбции; возможность применения на воде и суше; высокая степень очистки; высокая скорость и большой объем впитывания; универсальность (более 85 абсорбируемых веществ); неабразивность сорбента; изолирование летучих горючих паров (подавление паров 90 % и более); удобный при транспортировке и применении; не требует специальной подготовки и оборудования при применении и сборе; доступная цена.

При разработке требований к характеристикам фильтрующего оборудования зачастую приходится проводить многочисленные модельные эксперименты. В настоящее время реальные испытательные стенды все чаще заменяются виртуальными. Первым шагом на пути к этому является создание математической модели процесса фильтрации эмульсии сквозь слой сорбента.

Можно выделить следующие основные процессы, протекающие внутри адсорбционного фильтра:

1. Гидродинамический процесс фильтрации жидкости сквозь пористую среду;
2. Физико-химический процесс адсорбции капель дисперсной фазы на поверхности пористого материала;
3. Коалесценция микрокапель дисперсной фазы на поверхности пористого материала.

Первый из этих процессов достаточно хорошо изучен и сначала 50х годов двадцатого века для описания моделей фильтрации грунтовых вод и нефти. Фильтрация жидкости сквозь пористую среду описывается в литературе обобщенным законом Дарси[2]:

$$u_i = \frac{K}{\mu_i} \text{grad}P ,$$

где u_i – линейная скорость фильтрации i -фазы;

K – проницаемость среды;

μ_i – вязкость i -фазы;

$gradP$ – градиент давлений по трем направлениям x, y, z .

Уравнение массопереноса в жидких средах выводится из первого закона Фика о сохранении массы. В общем случае оно выглядит так:

$$v \frac{\partial c}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial a}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_i \frac{\partial c}{\partial x} \right),$$

где $c(x, t)$ – средняя концентрация в подвижной фазе (на единицу объема этой фазы);

$a(x, t)$ – средняя концентрация сорбата (на единицу объема слоя);

D_i – коэффициент диффузии;

ε – пористость;

x – длина;

t – время.

Здесь первое слагаемое учитывает влияние скорости фильтрации на концентрацию дисперсной фазы; второе – массоперенос в порах; третье – скорость перехода массы сорбируемой компоненты из жидкой фазы на твердую поверхность; четвертое – массоперенос в результате конвективной и капиллярной диффузии.

Величина поглощенного объема нефти определяется зависимостью Лэнгмюра:

$$a = \frac{A_M bc}{1 + bc}$$

где A_M – емкость монослоя; b – константа;

или Фрейндлиха:

$$a = kc^n, \text{ где } k \text{ и } n \text{ – константы.}$$

Данную систему уравнений следует дополнить начальными и граничными условиями: непроницаемостью стенок аппарата, пористостью среды, перепадом давлений на входе и выходе из аппарата, исходной концентрацией дисперсной фазы, исходными плотностью и вязкостью жидкости. Таким образом получим математическую модель фильтрации водонефтяной смеси в адсорбционном фильтре.

Своевременная очистка поверхности воды от нефтяных загрязнений позволит снизить величину экологического ущерба при аварийных разливах нефти, которые являются одним из негативных аспектов функционирования современного промышленного производства.

Применение различных сорбционных материалов для борьбы с нефтяными загрязнениями почвы и воды позволяет обеспечить их высокую степень очистки, а рассмотренные математические модели позволяют адекватно описать фильтрацию водонефтяной эмульсии, не стабилизированной ПАВ, и могут быть предложены для описания процессов очистки воды и нефти при ликвидации аварийных разливов нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савенок В. Е., Ковалевская Н. А., Марущак А. С. Технологии улавливания и сбора нефтенасыщенных сорбентов с очищаемых поверхностей // Вестник ВГТУ. 2015. №2 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-ulavlivaniya-i-sbora-neftenasyschennyh-sorbentov-s-ochischaemyh-poverhnostey> (дата обращения: 31.10.2024).
2. Игонина М. В., Васькин С. В. Математические модели фильтрации водонефтяной смеси сквозь слой сорбента // Научные проблемы водного транспорта. 2007. №23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-filtratsii-vodo-neftyanoy-smesi-skvoz-sloy-sorbenta> (дата обращения: 31.10.2024).