

БИОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.2.01

УДК 66.936:546.05

Т.К.А. Куен, Л.А. Зенитова

Казанский национальный исследовательский
технологический университет, Казань, Россия

ХИТОЗАНСОДЕРЖАЩИЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНЫ В КАЧЕСТВЕ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ НЕФТЕРАЗЛИВОВ

Исследованы технология получения эффективного и экономичного нефтяного сорбента на основе пенополиуретана, наполненного хитозаном, и его свойства.

Важным фактором для сорбентов является плавучесть. Эластичные пенополиуретаны имеют в своей структуре сообщающиеся ячейки, что закономерно способствует высокой поглощающей способности таких пен. Однако в сатурированном состоянии они могут потерять плавучесть и затонуть, что негативно сказывается на живых организмах водных объектов. Жесткие пенополиуретаны, наоборот, имеют закрытопористую структуру, т.е. ячейки в пене не сообщаются, что затрудняет проникновение сорбата в пену, однако в то же время такой сорбент сохраняет плавучесть в сатурированном состоянии. Поэтому использовали два типа сорбентов, предполагая, что если эластичный пенополиуретан будет иметь склонность к «затапливанию», то жесткий пенополиуретан избежит этого недостатка.

В качестве наполнителя использовался хитозан двух видов: хитозан, растворимый в воде, и хитозан, растворимый в кислоте, в количестве от 20 до 50 мас. % от суммы компонентов пенополиуретанов.

Отмечено, что с ростом количества введенного хитозана растет плотность сорбентов, что негативно отражается на их сорбционной активности.

Тип хитозана влияет на процесс вспенивания как относительно плотности адсорбента, так и временных параметров вспенивания. Это оказывает свое влияние на баланс протекающих реакций.

Водорастворимый хитозан в процессе получения пенополиуретанов частично может растворяться в воде, присутствующей в полиольном компоненте пенополиуретанов, и способен реагировать с изоцианатным компонентом, конкурируя с гидроксильными группами полиольного компонента. Таким образом, изоцианатного компонента в системе становится недостаточно для полноценного вспенивания пенополиуретановой композиции.

Для кислоторастворимого хитозана этот процесс невозможен в силу его стойкости к воде.

Показано, что самой высокой адсорбционной способностью по отношению к нефти обладает эластичный сорбент с использованием хитозана в количестве 30 мас. %, поглощающая способность которого по отношению к нефти составляет $\approx 13,65$ г/г.

На практике разливы нефти чаще всего происходят на водной поверхности. Для выявления преимущественной способности поглощать нефть или воду были проведены исследования сорбционной емкости сорбентов по отношению к воде.

Выявлено, что самой высокой адсорбционной способностью по отношению к воде обладает также эластичный сорбент с использованием хитозана 30 мас. %, поглощающая способность которого по отношению к воде составляет $\approx 8,49$ г/г.

При этом сорбент преимущественно поглощает нефть с коэффициентом поглощения 0,6.

При сравнении сорбентов, наполненных различным типом хитозана, выявлено, что сорбент, содержащий хитозан, растворимый в кислоте, имеет большую нефтеемкость, чем сорбент, содержащий хитозан, растворимый в воде.

Ключевые слова: сорбент, хитозан, пенополиуретана, нефть, наполнение.

T.Q.A. Quyen, L.A. Zenitova

Kazan National Research Technological University,
Kazan, Russian Federation

LIQUIDATION OF OIL SPILLS USING A SORBENT BASED ON CHITOSAN

There are many different ways to deal with removing oil from the sea surface and preventing coastal oil pollution, for example, mechanical exploitation and the use of dispersants. However, the goal of any spill response is to minimize damage to the sea and the oil chamber in contact with the coastline. For this reason, removal must be done extremely quickly to remove oil from the sea.

Adsorption, an efficient separation process, is used for a wide range of applications as an effective and economical way to remove pollutants. Published studies have shown that chitosan is effective in removing compounds of various toxic metals, such as cadmium, mercury, molybdenum, uranium, vanadium, platinum and palladium, and oil. In the oil spill troubleshooting process, the adsorbent not only absorbs the entire oil, but many other components are adsorbed depending on the water, heavy metals so the article compares the ability. adsorption of adsorbents for two types of materials: based on hard polyurethane foam (PSP) and flexible polyurethane foam (PPUel) filled with chitosan. It has been demonstrated that the adsorbent is elastic with chitosan with a mass of 30% of the mass having the highest adsorption capacity for oil. PPUel-30-HK is capable of absorbing ~ 13.61 g / g for oil. In addition, the adsorption capacity of water adsorbents, Studies have shown that the adsorption capacity is highest with qualitative water. elastic adsorption using chitosan with a weight of 30 % – PPUel-20-HK, water adsorption capacity is ~ 8.49 g / year therefore, the adsorbent with the highest adsorption capacity is PPUel-30-HK.

In this case, the preferred absorber absorbs oil with a absorption coefficient of 0.6.

Keywords: sorbent, chitosan, polyurethane foam, oil, filling.

Сырая нефть представляет собой естественную жидкость со сложной смесью органических молекул, в основном углеводов с различными химическими и физическими свойствами. В то же время она также

является основным сырьем для производства нефтехимических продуктов, таких как растворители, химические удобрения, пластмассы, пестициды, асфальт, топливо, остальные 12 % используются для нефтехимии.

Более 50 % сырой нефти в мире добывается в районе Аравийского залива из береговых и морских скважин. В этом районе зарегистрировано 550 случаев разливов нефти, в общей сложности 14 000 баррелей в период с 1995 по 1999 г. и 11 000 баррелей в период с 2000 по 2003 г. было разлито [1–3].

Существуют различные способы удаления нефти с поверхности моря и предотвращения загрязнения нефтью береговой линии, например, механическое извлечение или применение диспергаторов. Однако цель проведения любого реагирования на разливы нефти заключается в том, чтобы свести к минимуму загрязнение моря и предотвратить попадание нефти на береговую линию. По этой причине ликвидация должна быть проведена чрезвычайно быстро [4–6]. Когда разлив нефти проникает в субстрат береговой линии, последствия от этого остаются на длительный период времени.

В качестве основных методов ликвидации нефтяных загрязнений на водной поверхности выделяют 4 группы:

1) ликвидация боновыми заграждениями (боновые заграждения позволяют перемещать нефтяные пятна в любом направлении для удобства сбора);

2) химические методы (растворение в воде или нефти поверхностно-активных веществ, меняющих соотношение поверхностных энергий межфазных границ в системе нефть – вода);

3) применение специальных сорбентов;

4) биологические методы (применение микроорганизмов-деструкторов).

Адсорбция – эффективный процесс разделения, который используется для широкого спектра приложений как эффективный и экономичный способ удаления загрязняющих веществ.

Эффективным сорбентом при удалении соединений токсичных металлов, таких как кадмий, ртуть, молибден, уран, ванадий, платина и палладий, является хитозан – гидрофильный природный полимер, полученный щелочным деацетилизацией хитина, содержащегося главным образом в панцирях креветок и крабов.

Кроме того, перспективными областями применения хитозана являются текстильное производство, процесс получения бумаги, сельское хозяйство и даже ядерная промышленность [7–11].

Известно, что пенополиуретан (ППУ) является эффективным сорбентом, который также способен поглощать нефть и нефтепродукты [12, 13].

Целью настоящего исследования является разработка технологии получения эффективного и экономичного нефтяного сорбента на основе пенополиуретана, наполненного хитозаном и исследование его свойств.

Экспериментальная часть.

Материалы. Объектом исследования служил сорбент, полученный на основе пенополиуретана и хитозана.

Для получения сорбента были использованы компоненты:

- компонент Аэл производства ООО «ЭЛАСТОКАМ» г. Нижнекамск (ТУ 2226-068-10480596-07) на основе смеси простых полиэфиров, катализаторов, ПАВ и воды для получения эластичного ППУ, а также компонент Аж для получения полужесткого пенополиуретана (ППУпж);
- компонент Б для эластичного пенополиуретана производства «Дау Изолан», г. Владимир, Россия;
- хитозан – водорастворимый хитозан (ХВ), хитозан, растворимый в кислоте (ХК), ООО «Хитозан», Вьетнам.

Получение сорбента. Для получения сорбента использовалось два способа.

Первый способ – получение сорбента на основе эластичного ППУ (ППУэл) из компонента А и компонента Б для эластичного ППУ.

Второй способ – получение сорбента на основе полужесткого ППУ (ППУпж) из компонента Аж и компонента Бэл для эластичного пенополиуретана.

Важным фактором для сорбентов является плавучесть. Эластичные пены имеют в своей структуре сообщающиеся ячейки, что закономерно способствует высокой поглощающей способности таких пен. Однако в сатурированном состоянии они могут потерять плавучесть и затонуть, что негативно сказывается на живых организмах водных объектов. Жесткие пены, наоборот, имеют закрытопористую структуру, т.е. ячейки в пене не сообщаются, что затрудняет проникновение сорбата в пену, однако в то же время такой сорбент сохраняет плавучесть в сатурированном состоянии. Поэтому использовали два типа сорбентов, предполагая, что если ППУэл будет иметь склонность к «затапливанию», то ППУпж избежит этого недостатка.

В качестве наполнителя использовался хитозан в количестве от 20 до 50 мас. % от суммы компонентов А и Б.

Соотношение компонентов: А (эл/ж) : Б (эл) = 100 : 60. После изготовления сорбента его измельчали до размеров частиц $D_{\text{усл}} = 0,125 \text{ см}^3$.

Принципиальная технологическая схема получения сорбента приведена на рис. 1.

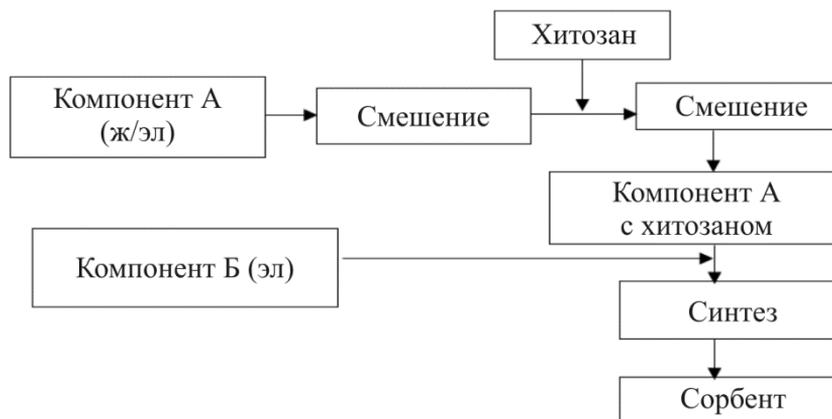


Рис. 1. Технологическая схема получения нефтяного сорбента

Методы исследования. При приготовлении сорбентов проводили определение по технологической пробе при свободном вспенивании согласно ТУ 6-55-32–89.

Испытание сорбента по технологической пробе при свободном вспенивании проводилось в стакане объемом 500 мл и включало определение:

- времени старта (τ_c , с) – времени от начала перемешивания компонентов до четко видимого увеличения объема смеси компонентов;
- времени подъема (τ_p , с) – времени от начала перемешивания компонентов до окончания увеличения объема.

Определение кажущейся плотности проводилось по ГОСТ 409–77.

Для определения нефтеемкости в пластиковую форму вносили 50 мл нефти и определенное количество сорбента. Нефтеемкость определяли по разности масс насыщенного и исходного сорбентов через 1; 1,5; 2; 3; 5; 8; 10; 15; 20; 30; 60; 90 и 120 мин его пребывания в нефти. За нефтеемкость принимали величину максимального насыщения сорбента нефтью, когда кривая зависимости нефтеемкости от времени поглощения выходила на плато [14, 15]:

$$\text{Нефтеемкость} = \frac{m_2 - m_1}{m_1},$$

где m_1 – масса сухого сорбента, г; m_2 – масса сорбента после поглощения нефти через 1, 2, ..., 120 мин, г.

Оценка преимущественной емкости сорбентов определялась по формуле

$$a = \frac{\text{водоёмкость}}{\text{нефтеёмкость}}.$$

Результаты и их обсуждение.

Определение технологических параметров вспенивания. По временным параметрам вспенивания видно, что они зависят от количества наполнителя, а также от типа ППУ и наполнителя (табл. 1). Закономерно, чем больше наполнителя, тем «труднее» композиция вспенивалась. Как время старта τ_c , так и время подъема τ_n ниже в случае меньшей степени наполнения ППУ.

Таблица 1

Технологические параметры вспенивания ППУ
в зависимости от состава сорбента

Сорбент	τ_c , с	τ_n , с	Кажущаяся плотность, кг/м ³
ППУ _{пж}	30	116	64,39
ППУ _{пж-20-ХК} *	32	121	234,86
ППУ _{пж-30-ХК}	35	157	375,44
ППУ _{пж-40-ХК}	36	180	125,96
ППУ _{пж-50-ХК}	44	189	83,76
ППУ _{пж-20-ХВ} **	29	198	78,49
ППУ _{пж-30-ХВ}	35	273	91,92
ППУ _{пж-40-ХВ}	42	310	141,77
ППУ _{пж-50-ХВ}	53	341	118,04
ППУ _{эл}	27	150	59,10
ППУ _{эл-20-ХК} ***	28	162	67,46
ППУ _{эл-30-ХК}	40	172	71,41
ППУ _{эл-40-ХК}	45	185	88,37
ППУ _{эл-50-ХК}	54	173	391,41
ППУ _{эл-20-ХВ} ****	92	2075	119,32
ППУ _{эл-30-ХВ}	134	2350	136,95
ППУ _{эл-40-ХВ}	202	–	286,86
ППУ _{эл-50-ХВ}	–	–	384,61

*ППУ полужесткий, наполненный растворимым в кислоте хитозаном в количестве 20 %;

** ППУ полужесткий, наполненный растворимым в воде хитозаном в количестве 20 %;

*** ППУ эластичный, наполненный растворимым в кислоте хитозаном в количестве 20 %;

**** ППУ эластичный, наполненный растворимым в воде хитозаном в количестве 20 %.

Кроме того, время старта τ_c ППУэл наступает несколько раньше, чем для сорбента ППУпж. Аналогичная зависимость и для показателя время подъема τ_n пены. Высокие временные параметры вспенивания по сравнению с традиционными для ненаполненного ППУ обусловлены присутствием в композиции относительно большого количества «тяжелого» наполнителя. В случае ненаполненного ППУ-сорбента кажущаяся плотность ниже, чем у ППУэл и ППУпж с наполнителем.

Отмечено, что ППУэл, наполненный ХВ в количестве 40, коллапсирует, а с 50%-м наполнением практически не вспенился. По-видимому, в данном случае на плохое вспенивание оказывает влияние большое количество наполнителя и способность ХВ растворяться в воде. Последнее нарушает баланс реакций вспенивания и образования полимерной сетки. Впоследствии это скажется на сорбционной способности сорбентов как по отношению к нефти, так и к воде.

Время старта τ_c для сорбента ППУпж-30-ХК наступает несколько раньше, чем для ППУпж-30-ХВ. Та же закономерность наблюдается и для ППУэл-20-ХВ и ППУэл-20-ХК. Аналогичная закономерность наблюдается и для показателя времени подъема пены τ_n , что, вероятно, связано с типом хитозана.

Очевидно, что хитозан имеет в своей структуре реакционно-способные группы, влияющие на процесс образования пены: это метилольные, гидроксильные и аминные группы, способные взаимодействовать с изоцианатными группами компонента Б (рис. 2).

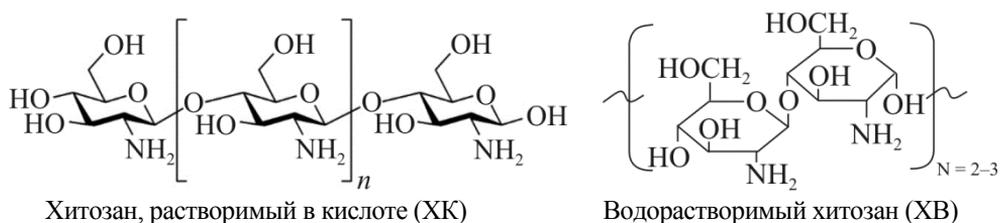
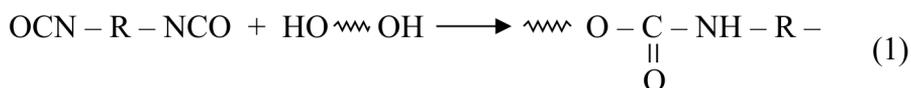
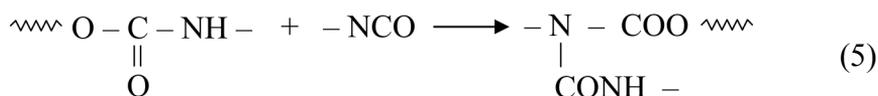
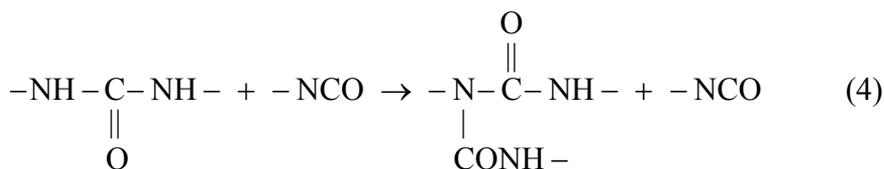
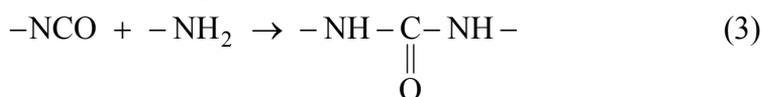
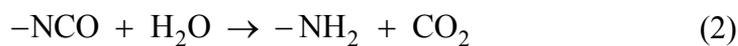


Рис. 2. Структурная формула хитозана

Тип хитозана влияет на процесс вспенивания как относительно плотности адсорбента, так и по отношению к временным параметрам вспенивания. ХВ в отличие от ХК обладает высокой растворимостью в воде. Это оказывает свое влияние на баланс протекающих реакций.

При синтезе ППУ одновременно проходит ряд реакций:





Основной из них является реакция уретанообразования между гидроксилсодержащим компонентом (компонент А) и изоцианатными группами изоцианатного компонента (компонент Б) [реакция (1)]. Поскольку в компоненте А присутствует вода, то изоцианатные группы компонента Б реагируют с ней, с образованием углекислого газа, который является химическим вспенивателем ППУ [реакция (2)]. Кроме того, изоцианатные группы компонента Б реагируют с аминами, присутствующими в компоненте А, с образованием мочевинных группировок [реакция (3)], которые, в свою очередь взаимодействуя с изоцианатными группами компонента Б, дают биуретовые группировки [реакция (4)]. Последние ответственны за разветвление и сшивку полимерных цепей. Образовавшиеся по реакции (1) уретановые группировки при взаимодействии с изоцианатными группами компонента Б по реакции (5) дают аллофанатные группировки, которые, как и биуретовые, приводят к разветвлению и сшивке полимерных цепей. В случае повышения скорости реакций образования полимерных цепей [реакция (1), (3), (4), (5)] процесс вспенивания по реакции (2) затруднен или вообще не происходит. В случае повышения скорости взаимодействия изоцианатных группировок с водой пена быстро растет, но в определенный момент коллапсирует, не образуя сетчатого каркаса полимера. С целью выравнивания скорости протекания этих реакций в систему ППУ, а именно в компонент А, вводят катализаторы, чтобы удлинение и сшивка полимерных цепей происходила одновременно.

Водорастворимый хитозан в процессе получения ППУ частично может растворяться в воде, присутствующей в компоненте А, и способен реагировать с изоцианатом компонента Б, конкурируя с гидроксильными группами компонента А. Таким образом, компонента Б в системе становится недостаточно для полноценного вспенивания ППУ композиции.

Для кислоторастворимого хитозана этот процесс невозможен в силу его стойкости к воде.

Влияние времени экспозиции в нефти на нефтеемкость сорбентов. По данным, приведенным на рис. 3, видно, что для всех сорбентов в первые 15–20 мин происходит быстрое поглощение нефти. Через 20–30 мин сорбции ППУэл достигается состояние равновесия. Обращает на себя внимание тот факт, что с ростом степени наполнения ХВ в ППУэл сорбционная емкость сорбента падает. Наоборот нефтеемкость сорбента, наполненного большим количеством ХК, выше, чем поглощение нефти сорбентом с меньшей степенью наполнения ХК (рис. 3, б).

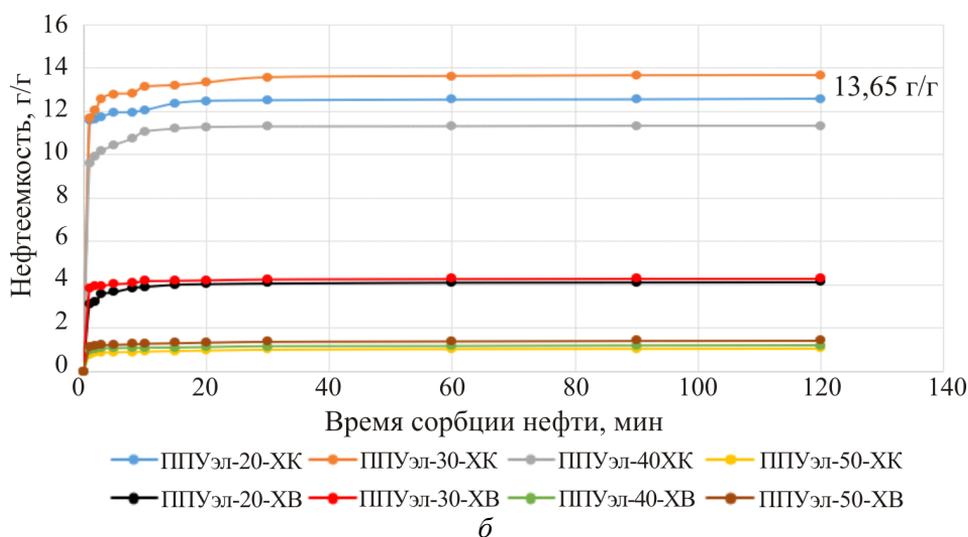
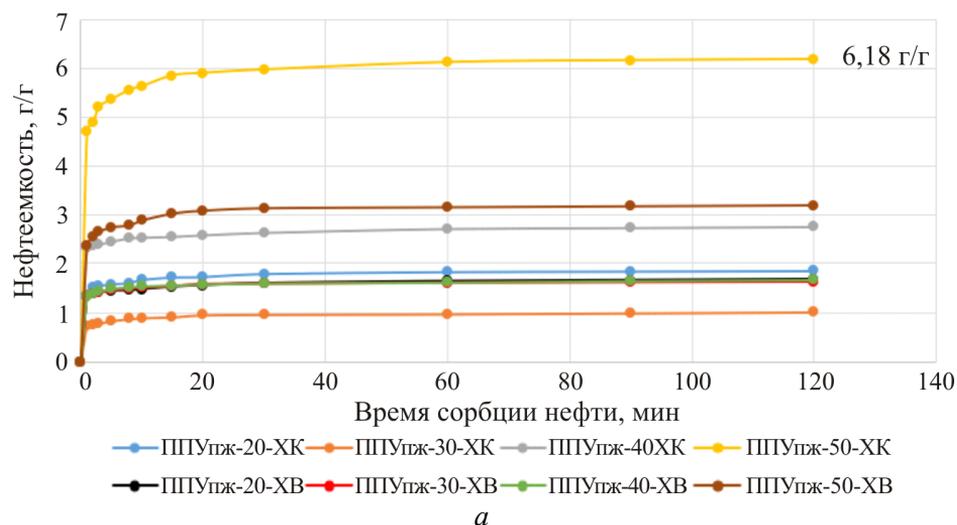


Рис. 3. Зависимость нефтеемкости сорбента ППУпж (а) и сорбента ППУэл (б) от его состава и времени экспозиции в нефти

При наполнении полужесткого сорбента водорастворимым хитозаном от 20 до 40 % нефтеемкость сорбента практически одинакова. И только при наполнении 50 % ХВ сорбционная емкость увеличилась. Для ХК с ростом степени наполнения нефтеемкость растет за исключением сорбента с 30 % наполнения. Среди сорбентов ППУпж наиболее эффективным по отношению к нефти является сорбент ППУпж-50-ХК. Его поглощающая способность по отношению к нефти составляет $\approx 6,12$ г/г (см. рис. 3, а).

Самым эффективным среди ППУэл является сорбент ППУэл-30-ХК. Его поглощающая способность по отношению к нефти составляет $\approx 13,65$ г/г (см. рис. 3, б).

В общем случае по отношению к нефти поглощающая способность эластичных наполненных сорбентов выше по сравнению с полужесткими.

Влияние времени экспозиции в воде на адсорбционную емкость сорбентов. На практике разливы нефти чаще всего происходят на водной поверхности. Для выявления преимущественной способности поглощать нефть или воду были проведены исследования сорбционной емкости сорбентов по отношению к воде (рис. 4).

Вид кривых сорбции воды несколько отличается от кривых сорбции нефти. Так, достижение равновесия в случае ППУпж наступает позже по сравнению с временем достижения равновесия по нефти (см. рис. 3, а; 4, а). При этом для ППУэл вид кривых сорбции воды подобен таковым для нефти (см. рис. 3, б; 4, б).

В первые 15–20 мин происходит быстрое поглощение воды. Через 20–30 мин сорбция ППУэл достигает равновесного состояния.

Оценивая влияние типа наполнителя для полужестких ППУ, можно видеть, что с ростом наполнения ХВ в общем случае поглощающая способность сорбента растет. Такая же зависимость характерна и для сорбента с ХК. Среди сорбентов ППУпж самым эффективным по отношению к воде является сорбент ППУпж-50-ХК. Его поглощающая способность составляет $\approx 5,39$ г/г (см. рис. 4, а).

Влияние типа наполнителя сорбента по отношению к воде для эластичных ППУ показано на рис. 4, б. Для ХВ при его содержании 20 и 30 % сорбционная емкость по отношению к воде низкая и практически одинакова. Далее с ростом степени наполнения ХВ сорбционная емкость падает. Аналогичная зависимость наблюдается и для ХК. При этом сорбенты, содержащие ХК, имеют бóльшую водоемкость,

чем аналоги с наполнением ХВ. Самым эффективным среди ППУЭл является сорбент ППУЭл-20-ХК. Его поглощающая способность по отношению к воде составляет $\approx 8,49$ г/г (см. рис. 4, б).

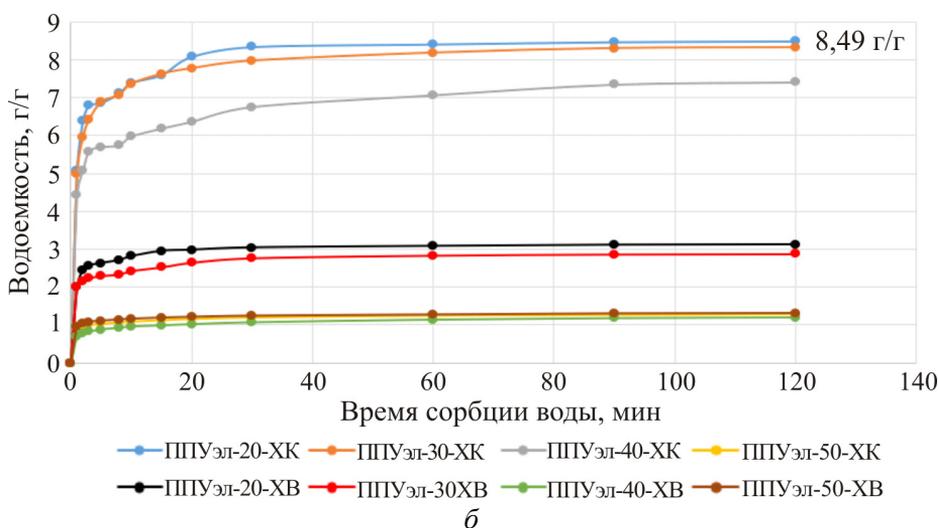
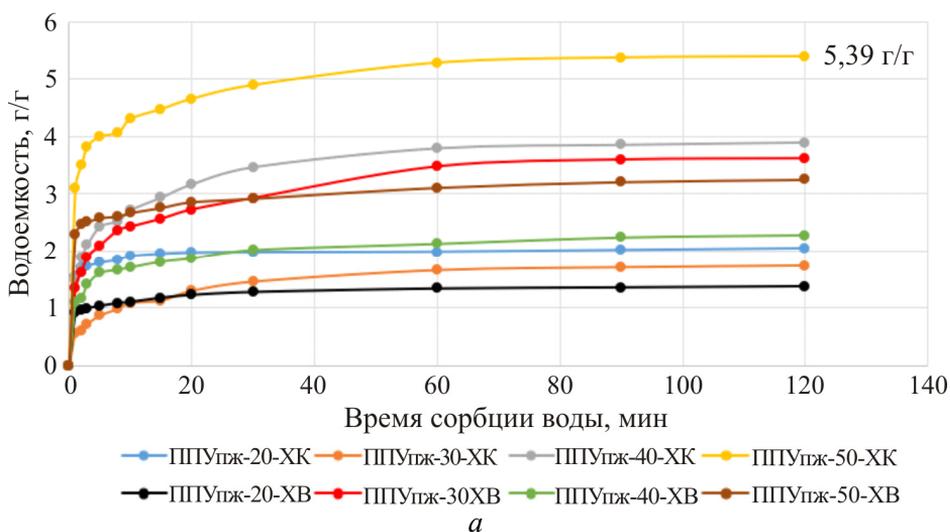


Рис. 4. Зависимость емкости сорбента ППУпж (а) ППУэл (б) от его состава и времени экспозиции в воде

Отмечено, что оба типа сорбента сохраняют свою плавучесть в насыщенном состоянии.

Оценивать поглощающую способность сорбентов по отношению к нефти в сравнении со способностью поглощать воду принято по показателю a , который определяется как отношение его водоемкости к нефтеемкости:

$$a = \frac{\text{водоёмкость}}{\text{нефтеёмкость}}.$$

Если $a = 1$, адсорбция нефти и воды одинакова; если $a < 1$, адсорбент сорбирует нефть лучше воды; если $a > 1$, адсорбент сорбирует воду лучше, чем нефть (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент поглощения сорбентов a
относительно нефти и воды

Образцы сорбентов	Коэффициент a	Образцы сорбентов	Коэффициент a
ППУэл-20-ХК	0,68	ППУпж-20-ХК	1,11
ППУэл-30-ХК	0,61	ППУпж-30-ХК	1,71
ППУэл-40-ХК	0,65	ППУпж-40-ХК	1,41
ППУэл-50-ХК	1,23	ППУпж-50-ХК	0,87
ППУэл-20-ХВ	0,76	ППУпж-20-ХВ	0,82
ППУэл-30-ХВ	0,67	ППУпж-30-ХВ	2,23
ППУэл-40-ХВ	1,01	ППУпж-40-ХВ	1,37
ППУэл-50-ХВ	0,92	ППУпж-50-ХВ	1,01

По данным табл. 2 видно, что наилучшей поглощающей способностью по отношению к нефти в сравнении со способностью поглощать воду обладает сорбент ППУэл-30-ХК.

Заключение. Разработан эффективный сорбент на основе эластичного пенополиуретана, наполненный 20–30 мас. % хитозаном, растворимым в кислоте. Его поглощающая способность по отношению к нефти составляет $\approx 13,65$ г/г. Преимущества сорбента заключаются в том, что он обладает высоким коэффициентом рентабельности на поглощенный литр нефти, не тонет даже в сатурированном состоянии, обладает высокой скоростью сорбции (90 % поглощения за 15–20 мин), легок в эксплуатации, благодаря своей высокой эластичности дает возможность извлекать поглощенное вещество путем отжима или центрифугирования, нетоксичен для человека, водной фауны, животного и растительного мира, изготавливается на основе доступного возобновляемого сырья.

При сравнении сорбентов, наполненных различным типом хитозана, выявлено, что сорбент, содержащий хитозан, растворимый в кислоте, имеет большую нефтеёмкость, чем сорбент, содержащий хитозан, растворимый в воде.

Список литературы

1. Pagter R.H. De, Whiddon D.J. Strategy of Remedial Investigations. SPE Paper 27173 // 2nd Int. Conf. on Health, Safety & Environment in Oil & Gas Exploration & Production. – Jakarta, Indonesia, 1994.
2. Ratliff M.D. Treatment Techniques of Oil-Contaminated Soil and Water Aquifers. SPE Paper 27170 // 2nd Int. Conf. on Health, Safety & Environment in Oil & Gas Exploration & Production. – Jakarta, Indonesia, 1994.
3. Yrum K., Pekdemir T., Copur M. Surfactants treatment of crude oil contaminated soils // Journal of Colloid and Interface Science. – 2004. – № 276. – P. 456–464.
4. Чикина Н.С. Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов с использованием сорбента на основе пенополиуретана и отходов зерновых культур: дис. ... канд. техн. наук / Казан. гос. технол. ун-т. – Казань, 2010. – 163 с.
5. Application of chitosan for the removal of metals from wastewaters by adsorption – Mechanisms and models review / V.K. Gerente, C. Lee, P. Lee, G. McKay // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2007. – № 37. – P. 41.
6. Adsorptive removal of chromium (VI) from aqueous solutions and its kinetics study / Y.H. Chang, C.F. Huang, W.J. Hsu, F.C. Chang // J. Appl. Polym. Sci. – 2007. – № 104. – P. 2896.
7. Очистка сточных вод с применением хитозана / Е.А. Тарановская, Н.А. Собгайда, И.П. Алферов, П.А. Морев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (85). – С. 322–326.
8. Тарановская Е.А., Собгайда Н.А., Маркина Д.В. Технология получения и использования гранулированных сорбентов на основе хитозана // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 5. – С. 42–45.
9. Абдуллин В.Ф., Артеменко С.Е., Арзамасцев О.С. Особенности процессов экстрагирования при извлечении биополимера хитина из панциря ракообразных // Химические волокна. – 2008. – № 6. – С. 21–24.
10. Абдуллин В.Ф. Технология и свойства биополимера хитозана из панциря речного рака: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2006. – 116 с.
11. Арзамасцев О.С., Артеменко С.Е., Абдуллин В.Ф. Интенсификация процесса получения пленок хитозана // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – № 4 (60). – Вып. 2. – С. 112–114.
12. Иванова М.А., Зенитова Л.А. Регенерация поглощенной нефти из сорбента ППУ-ОЗК // Актуальные проблемы науки о полимерах. – 2011. – С. 75–76.
13. Снижение экологической нагрузки от разливов нефти и нефтепродуктов с помощью сорбента на основе пенополиуретана и отходов зерновых культур / Н.С. Чикина, А.В. Мухамедшин, А.В. Анкудинова, Л.А. Зенитова, А.С. Сироткин, А.В. Гарабаджиу // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – № 6. – С. 184–192.

14. Сорбент «OILFORMSORB» для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов / М.А. Иванова, Л.А. Зенитова, Н.С. Чикина, Р.Т. Муртазина, В.В. Янов // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: теория и практика: материалы II междунар. науч.-практ. конф. – Ч. II. – Казань, 2011.

15. Регенерация поглощенных продуктов сорбентом ППУ-ОЗК / М.А. Иванова, Р.Т. Муртазина, Н.С. Чикина, В.В. Янов, Л.А. Зенитова // Всероссийская рабочая химическая конференция «Бутлеровское наследие – 2011». – Казань, 2011.

References

1. De Pagter R.H., Whiddon D.J. SPE Paper 27173 , presented at the 2nd Int. *Conf. on Health, Safety & Environment in Oil & Gas Exploration & Production*, 1994, Jakarta, Indonesia, 25-27 January.

2. Ratliff M.D. SPE Paper 27170, presented at the 2nd Int. *Conf. on Health, Safety & Environment in Oil & Gas Exploration & Production*, 1994, Jakarta, Indonesia, 25- 27 January.

3. Yrum K., Pekdemir T., Copur M. Surfactants treatment of crude oil contaminated soils, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, no. 276, pp. 456-464, Elsevier Science.

4. Chikina N.S. Likvidatsiia razlivov nefti i nefteproduktov s ispol'zovaniem sorbenta na osnove penopoliuretana i otkhodov zernovykh kul'tur [Oil and petroleum product spill treatment using a sorbent based on polyurethane foam and grain waste]. Ph. D. thesis. Kazan', 2010, 163 p.

5. Gerente C., Lee V. K. C., Lee P., McKay G. *Crit. Rev. Env. Sci. Technol.*, 2007, no. 37, p. 41.

6. Chang Y. H., Huang C. F., Hsu W. J., Chang F. C., *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007, no. 104, p. 2896.

7. Taranovskaia E.A., Sobgaida N.A., Alferov I.P., Morev P.A. Ochistka stochnykh vod s primeneniem khitozana [Waste water treatment using chitosan]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 10 (85), pp. 322-326.

8. Taranovskaia E.A., Sobgaida N.A., Markina D.V. Tekhnologiya polucheniia i ispol'zovaniia granulirovannykh sorbentov na osnove khitozana [Production technology and use of granular sorbents based on chitosan]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*, 2016, no. 5, pp. 42-45.

9. Abdullin V.F., Artemenko S.E., Arzamastsev O.S. Osobennosti protsessov ekstragirovaniia pri izvlechenii biopolimera khitina iz pantsiria rakoobraznykh [Features of chitin biopolymer extraction processes from the shell of crustaceans]. *Khimicheskie volokna*, 2008, no. 6, pp. 21-24.

10. Abdulin V.F. Tekhnologiya i svoistva biopolimera khitozana iz pantsiria rechnogo raka [Technology and properties of chitosan biopolymer from crayfish shell]. Ph. D. thesis. Saratov, 2006, 116 p.

11. Arzamastsev O.S., Artemenko S.E., Abdullin V.F. Intensifikatsiia protsessa polucheniia plenok khitozana [Intensification of the producing chitosan films process]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, no. 4 (60), iss. 2, pp. 112 – 114.

12. Ivanova M.A., Zenitova L.A. Regeneratsiia pogloshchennoi nefti iz sorbenta PPU-OZK [Recovery of absorbed oil from PPU-OZK sorbent]. *Aktual'nye problemy nauki o polimerakh*, 2011, pp. 75-76.

13. Chikina N.S., Mukhamedshin A.V., Ankudinova A.V., Zenitova L.A., Sirotkin A.S., Garabadzhiu A.V. Snizhenie ekologicheskoi nagruzki ot razlivov nefiti i nefteproduktov s pomoshch'iu sorbenta na osnove penopoliuretana i otkhodov zernovykh kul'tur [Reducing the environmental burden of oil and petroleum products spills using a sorbent based on polyurethane foam and grain waste]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2009, no. 6, pp. 184-192.

14. Ivanova M.A., Zenitova L.A., Chikina N.S., Murtazina R.T., Ianov V.V. Sorbent «OILFORMSORB» dlia likvidatsii razlivov nefiti i nefteproduktov [OILFORMSORB" sorbent for oil and petroleum products spills treatment]. *Sovremennye problemy bezopasnosti zhiznediatel'nosti: teoriia i praktika. Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Chast' II. Kazan, 2011.

15. Ivanova M.A., Murtazina R.T., Chikina N.S., Ianov V.V., Zenitova L.A. Regeneratsiia pogloshchennykh produktov sorbentom PPU-OZK [Regeneration of absorbed products by the sorbent PPU-OZK]. *Vserossiiskaia rabochaia khimicheskaiia konferentsiia «Butlerovskoe nasledie-2011»*. Kazan, 2011.

Получено 19.03.2019

Об авторах

Куен Тхи Куинь Ань (Казань, Россия) – аспирант кафедры технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет (420015, г. Казань, К. Маркса ул., 68; e-mail: quynhanhmoitruong@gmail.com).

Зенитова Любовь Андреевна (Казань, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68; e-mail: liubov_zenitova@mail.ru).

About the authors

Thi Quynh Anh Quyen (Kazan, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Technology of Synthetic Rubber, Kazan National Research Technological University (68, K. Marx str., Kazan, 420015, e-mail: quynhanhmoitruong@gmail.com).

Lyobov A. Zenitova (Kazan, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Synthetic Rubber Technology, Kazan National Research Technological University (68, K. Marx str., Kazan, 420015, e-mail: liubov_zenitova@mail.ru).