

до 2030 года: в 3 т. / сост.: А. Н. Рыков, О. А. Бушкевич. – М.: Проектное научно-исследовательское республиканское предприятие «БелНИПИЭнергоПром». 2018. Т. 1. ч. 1. 230 с.

5. Макеева, Е. Н. Перевод котельных на альтернативное топливо / Е. Н. Макеева, Э. Р. Зверева, О. Ю. Морозова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2024. Т.26, № 1. С. 107-117.

УДК 66. 047.75.4/5

А.А. Боровик, доц., канд. техн. наук;
С.К. Протасов, доц., канд. техн. наук (БГЭУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПУХА РОГОЗА КАК СОРБЕНТА ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ

В мире остро стоит вопрос очистки воды от загрязнений. Сюда, прежде всего, относится ликвидация аварийных разливов нефти (ЛАРН) при ее добыче, перевозке, переработке и использовании (например, загрязнение Черного моря при аварии танкеров в Керченском проливе в декабре 2024 г). Для очистки загрязненной нефтью воды широко применяются различные сорбенты. При этом количество используемых при ЛАРН сорбентов велико и рациональным является применение сорбентов на основе природных возобновляемых материалов.

Одним из таких эффективных нефтесорбентов является пух початков рогоза. Рогозы массово растут по берегам рек, озер, прудов, стариц, каналов, водохранилищ и на болотах, образуя густые заросли. Стебель рогоза заканчивается цилиндрическим початком темного бурого цвета. Початок состоит из множества пушинок, которые плотно в нем упакованы.

Сама пушинка состоит из стволика и прикрепленных к нему множества волосинок, образующих древовидную форму. Причем сорбционные свойства пуха обеспечиваются свободным пространством между волосинками и стволиками пушинок, а также между самими пушинками [1]. В таблице сравниваются основные показатели пуха рогоза и других сорбентов.

Из таблицы видно, что сорбент на основе пуха рогоза превосходит по основным показателям другие сорбенты от 2,9 до 83 раз. Плаваемость чистого пуха рогоза превышает 100 дней, а в насыщенном нефтью состоянии более 120 дней. Отработанный пух рогоза можно утилизировать биологическим методом.

Таблица – Сравнение показателей нефтесорбентов

| Наименование нефтесорбента | Стоимость, бел. руб/кг | Нефтеемкость, г сорбата/г сорбента | Повторное использование, раз | Эффективность, кг сорбата/бел. руб |
|----------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Пух рогоза | 3,42 | 20 | > 50 | 5,85 |
| Ньюсорб | 4,47 | 4,6–9 | 1 | 1,03–2,01 |
| Вспененный графит | 607 | 45–55 | 1 | 0,07–0,09 |
| «СОНЕТ-1» | 2 | 2–4 | 1 | 2–4 |

Но созревшие початки следует сразу собирать, поскольку качество пуха в них быстро ухудшается. Однако свежесобранные початки рогоза имеют высокую влажность, способствующую развитию различных микроорганизмов, плесени, грибков и личинок насекомых. Поэтому влажный пух следует высушивать до равновесного состояния. Например, если температура воздуха равна 18–20 °С, а относительная влажность 46–50 %, то равновесное влагосодержание пуха составляет $U_p = 0,11 \frac{\text{кг влаги}}{\text{кг сух. мат}}$, что обеспечивает неизменность показателей пуха в течение многих лет.

Авторами предложены 4 основных способа предварительной подготовки и последующей сушки пуха рогоза:

- 1) сушка цельных созревших початков в природных условиях или в конвективных сушилках до равновесного состояния;
- 2) предварительное распушивание початков с отделением пуха от стеблей, загрузка влажного пуха в конвективную сушилку и высушивание до требуемого влагосодержания;
- 3) распушивание початков рогоза, загрузка влажного пуха в маты с дальнейшей сушкой матов в конвективной сушилке;
- 4) распушивание початков рогоза, загрузка влажного пуха в маты с дальнейшей сушкой матов в естественных условиях.

Были проведены опытные исследования конвективной сушки цельных созревших початков рогоза. Построены зависимости влагосодержания и скорости сушки початков от времени. Установлено, что достичь состояния равновесия ($U_p = 0,11 \frac{\text{кг влаги}}{\text{кг сух. мат}}$) между початками и воздухом можно за время, приблизительно равное 8 часам.

Также экспериментально исследовалась конвективная сушка влажного пуха рогоза, отделенного от стеблей [2]. Построены зависимости влагосодержания пуха и скорости его сушки от температуры и скорости сушильного агента, начального влагосодержания пуха, его кажущейся плотности и высоты слоя в сушилке, проведен анализ опытных данных. Получены формулы для расчета времени сушки до равновесного влагосодержания в зависимости от перечисленных па-

раметров. Причем время достижения равновесного влагосодержания пуха $U_p = 0,11 \frac{\text{кг влаги}}{\text{кг сух. мат}}$ от его начального влагосодержания $U_n = 0,58 \frac{\text{кг влаги}}{\text{кг сух. мат}}$ не превышает 50 минут.

Проведены исследования естественной (без принудительной конвекции) сушки вертикально подвешенных матерчатых матов, наполненных пухом рогоза, в закрытых помещениях [3]. Построены кривые сушки и кривые скорости сушки для различного начального влагосодержания пуха. Получены формулы для расчета времени сушки и максимальной скорости сушки. Установлено, что в условиях естественной сушки пуха при комнатной температуре его равновесное состояние достигается приблизительно за 20 часов.

Выполняя анализ достоинств и недостатков каждого из перечисленных способов сушки пуха рогоза, можно сделать следующие выводы.

Сушка цельных початков рогоза не требует предварительного распушивания, что упрощает процесс. Однако вследствие высокого диффузионного и термического сопротивления переносу массы и тепла время высушивания велико. Кроме того, по мере высыхания початки начинают самораспушиваться с отрывом пушинок. Сухой пух рогоза вследствие очень низкой плотности обладает высокой летучестью, поэтому его очень трудно собрать, а затем использовать в качестве сорбента в свободном состоянии (особенно в условиях ветреной погоды).

Этот же недостаток характерен и 2-го способа сушки при выгрузке высушенного пуха из конвективной сушилки и последующего его использования. Однако предварительное распушивание влажных початков во 2-ом способе перед загрузкой в сушильный аппарат не приводит к уносу пуха воздухом (влажный пух вследствие большей плотности не обладает высокой летучестью). Кроме того, в процессе предварительного распушивания влажный пух существенно подсыхает и время сушки в сушилке значительно снижается. Также при осуществлении 2-го способа не производится сушка стеблей рогоза, в которых сосредоточено относительно много влаги. Этим достигается экономия энергии (тепла на сушку и электроэнергии на работу вентиляторов) и значительно ускоряется высушивание.

Наиболее рациональными, исходя из вышесказанного, являются 3-ий и 4-ый способы сушки, поскольку при распушке початков и загрузке влажного пуха в маты не будет происходить его унос воздухом. Но самым главным достоинством этих способов, на наш взгляд, является то, что маты с высушенным до равновесия пухом можно не толь-

ко хранить достаточно длительное время в помещениях, но и максимально быстро и удобно осуществлять их погрузку и доставку к месту аварий с последующим использованием при ЛАРН. Кроме этого, маты достаточно просто и удобно размещать на водных поверхностях и, в некоторых случаях, на поверхностях земли, загрязненных нефтью или нефтепродуктами (загрязняющими веществами). Маты, насыщенные загрязняющими веществами, можно легко поднять с поверхности и осуществить регенерацию. Регенерацию можно проводить, например, методом отжима, пропуская маты между вращающимися вальцами и собирая загрязняющие вещества в специальную емкость. Регенерированные маты можно повторно использовать для очистки поверхностей.

Очевидно, что 4-ый способ сушки значительно более экономичнее 3-го способа, поскольку для испарения влаги используется теплота окружающего воздуха, а не калорифера. Кроме того, не требуется установка и работа вентиляторов. Однако сушка в естественных условиях требует наличия соответствующих помещений. Также естественная сушка значительно более продолжительная, чем конвективная. Поэтому 4-ый способ предпочтительнее для заготовки и длительного хранения определенных запасов пуха рогоза в матах. Третий способ следует применять в случаях массового загрязнения обширных акваторий или территорий нефтью или нефтепродуктами, когда имеющихся запасов пуха рогоза в матах и других сорбентов недостаточно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасов С.К., Горовых О.Г., Боровик А.А., Саевич К.Ф. Получение нефтесорбента на основе волосков гинофора летучек рогоза. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. № 8. 2021. С. 33–38.

2. Протасов С.К., Боровик А.А., Брайкова А.М. Расчет времени сушки пуха рогоза в конвективной сушилке. Мичуринский агрономический вестник, №2. 2023. С. 65–74.

3. Протасов С.К., Боровик А.А., Брайкова А.М. Естественная сушка пуха рогоза. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Выпуск 9. 2023. С. 527–530.