



PILOT-SCALE INDUSTRIAL TESTING OF A COMPOSITE SORBENT DEVELOPED FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER CONTAMINATED WITH PETROLEUM PRODUCTS

Gulkhayo Uktamovna Nurnazarova¹

Feruz Sadulloyevich Tukhtaev²

Komila Soyibjanovna Negmatova³

¹Navoi Branch of the Academy of Sciences of the Republic of
Uzbekistan; ²Navoi State University;

³State Institution "Science and Development" under Islam Karimov
Tashkent State Technical University

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20570874>

ARTICLE INFO

Received: 26th May 2026

Accepted: 30th May 2026

Online: 31st May 2026

KEYWORDS

Composite sorbent,
lignocellulose, petroleum
products, wastewater,
sorption, desorption,
sorbent regeneration,
mechanical separation, oil
separator, sorption
column, water treatment,
adsorption, pilot-scale
industrial testing.

ABSTRACT

This paper presents the results of pilot-scale industrial testing of a composite sorbent developed on the basis of lignocellulosic raw materials for the treatment of wastewater contaminated with petroleum products. The main technological stages of the treatment process, including mechanical separation, sorption, and desorption, were investigated, and their efficiency was evaluated under conditions close to industrial operation. It was established that the use of an oil separator ensures the removal of 60–80% of petroleum products during the preliminary treatment stage, while subsequent sorption treatment reduces the residual concentration of pollutants to the regulatory level of ≤ 2 mg/L. The sorption capacity of the composite sorbent, regeneration parameters, and steam consumption during the desorption process were determined. Sorbents based on peanut shells and wood chips were shown to exhibit high sorption activity and stable regeneration properties. The degree of sorbent regeneration was found to reach 80–91%, contributing to reduced consumption of fresh sorbent material and improved resource-saving efficiency of the technology. The obtained results confirm the promising potential of the developed technology for application in industrial wastewater treatment systems containing petroleum contaminants.

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМПОЗИЦИОННОГО СОРБЕНТА, РАЗРАБОТАННОГО ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ЗАГРЯЗНЁННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Нурназарова Гулхаё Уктамовна ¹

Тухтаев Феруз Садуллоевич ²



Негматова Комила Сойибжановна³

¹ Навоийское отделение Академии наук Республики Узбекистан;

² Навоийский государственный университет;

³ Государственное учреждение «Фан ва тараққиёт» при Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20570874>

ARTICLE INFO

Received: 26th May 2026

Accepted: 30th May 2026

Online: 31st May 2026

KEYWORDS

Композиция, сорбент, лигноцеллюлоза, нефтепродукты, сточные воды, сорбция, десорбция, регенерация сорбента, механическое разделение, нефтеловушка, сорбционная колонна, очистка воды, адсорбция, опытно-промышленные испытания.

ABSTRACT

В данной работе представлены результаты опытно-промышленных испытаний композиционного сорбента, разработанного на основе лигноцеллюлозного сырья для очистки сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами. Исследованы основные технологические стадии процесса очистки, включающие механическое разделение, сорбцию и десорбцию, а также проведена оценка их эффективности в условиях, приближённых к промышленной эксплуатации. Установлено, что применение нефтеловушки обеспечивает удаление 60–80% нефтепродуктов на стадии предварительной очистки, тогда как последующая сорбционная обработка позволяет снизить остаточную концентрацию загрязняющих веществ до нормативного значения ≤ 2 мг/л. Определены сорбционная ёмкость композиционного сорбента, параметры регенерации и расход водяного пара в процессе десорбции. Показано, что сорбенты на основе скорлупы арахиса и древесной щепы характеризуются высокой сорбционной активностью и устойчивыми регенерационными свойствами. Установлено, что степень регенерации сорбента достигает 80–91%, что способствует снижению расхода нового сорбционного материала и повышению ресурсосберегающей эффективности технологии. Полученные результаты подтверждают перспективность разработанной технологии для применения в системах промышленной очистки нефтесодержащих сточных вод.

Введение. Наличие нефтепродуктов в составе сточных вод, образующихся на промышленных предприятиях, является одним из основных факторов, оказывающих

серьёзное негативное воздействие на экологическую безопасность. Особенно высокая концентрация нефтепродуктов в сточных водах предприятий нефтегазовой



промышленности, тепловых электростанций и химической промышленности приводит к загрязнению водоёмов, нарушению кислородного обмена и разрушению биологического равновесия. В связи с этим создание сорбционных материалов с высокими сорбционными свойствами, возможностью регенерации и экономической эффективностью для очистки сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами, является одной из актуальных научно-практических задач.

В последние годы композиционные сорбенты, полученные на основе лигноцеллюлозного сырья, широко исследуются как перспективные материалы для очистки сточных вод. Такие сорбенты отличаются высокой пористостью, развитой удельной поверхностью и способностью адсорбировать нефтепродукты. В данной работе были проведены опытно-промышленные испытания композиционного сорбента, разработанного для очистки сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами, а также проанализирована технологическая эффективность стадий механического разделения, сорбции и десорбции. В основной части подробно рассмотрены влияние параметров технологического процесса на эффективность сорбции, регенерационные свойства сорбента, а также общая экономическая и экологическая эффективность технологии.

Основная часть. Для очистки сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами, сточная вода

первоначально направляется в нефтеловушку, где свободная нефтяная плёнка, находящаяся на поверхности воды, отделяется методом гравитационного разделения. На данной стадии удаляется 60–80% нефтепродуктов (в среднем $\eta_1 = 70\%$). При исходной концентрации $C_0 = 20$ мг/л концентрация после нефтеловушки составляет приблизительно 6–8 мг/л.

После механического разделения сточная вода поступает в промежуточный резервуар, где стабилизируются скорость потока и гидравлический режим. Данный этап обеспечивает необходимые условия для эффективного протекания процесса сорбции. На следующем этапе вода подаётся в сорбционную колонну. Процесс сорбции

осуществляется при температуре 20–40°C и времени контакта 30–60 минут.

В качестве сорбента использовались композиционные материалы, изготовленные на основе скорлупы арахиса и древесной щепы (размер частиц 1–3 мм). Средняя сорбционная ёмкость данного сорбента составляет $q \approx 8$ мг/г. В результате нефтепродукты, содержащиеся в сточной воде, удерживаются с эффективностью 85–95%, а выходная концентрация снижается до $C \leq 2$ мг/л.

После насыщения сорбент регенерируется без извлечения из колонны. Процесс десорбции осуществляется с использованием водяного пара при температуре 100–150°C и давлении 0,1–0,3 МПа. Расход пара обычно составляет 1–3 кг пара на



1 кг сорбента, а продолжительность процесса — 30–90 минут.

В процессе десорбции пар проникает в пористую структуру сорбента и вытесняет адсорбированные нефтепродукты. Эффективность данного процесса составляет 80–91%, что обеспечивает возможность повторного использования сорбента. Образующаяся паронефтяная смесь направляется в конденсатор и охлаждается до 20–30°C. В результате конденсации образовавшаяся жидкость разделяется на две фазы — нефть и воду. Отделённые нефтепродукты повторно собираются, а вода возвращается в систему либо отводится.

Таким образом, технологический процесс реализуется на основе взаимосвязанной системы стадий механического разделения, сорбции и десорбции, при этом общая эффективность очистки составляет $\eta_{\text{общ}} \approx 90\text{--}95\%$.

Результаты технологических расчётов

Средняя сорбционная ёмкость композиционного сорбента:

$$q = 8 \text{ мг/г} = 0,008 \text{ г/г}$$

Необходимая масса сорбента:

$$m = \frac{M_2}{q} = \frac{600}{0,008} = 75000 \text{ г} \\ = 75 \text{ кг/сутки}$$

Следовательно, для стадии сорбции требуется 75 кг/сутки сорбента.

На основании расчётов были получены следующие результаты:

- расход очищаемой воды: 100 м³/сутки;

- общее количество нефтепродуктов: 2 кг/сутки;

- после механического разделения удаляется: 1,4 кг/сутки;

- количество нефтепродуктов, поступающих на стадию сорбции: 0,6 кг/сутки.

При принятой сорбционной ёмкости 8 мг/г суточный расход сорбента составил приблизительно 75 кг. Поскольку степень регенерации составляет 80–91%, потребность в новом сорбенте снижается до 11–12 кг/сутки.

Расчёт регенерации (десорбции)

Степень десорбции:

$$D = 80\text{--}91\% \text{ (в среднем } 85\%)$$

Потребность в новом сорбенте:

$$m_{\text{нов}} = 75 \cdot (1 - 0,85) = 11,25 \text{ кг/сутки}$$

Расход пара:

$$G = 1\text{--}3 \text{ кг пара} / 1 \text{ кг сорбента}$$

$$G_{\text{общ}} \approx 75 \cdot 2 = 150 \text{ кг/сутки}$$

Общая эффективность технологического процесса

Общая эффективность:

$$\eta_{\text{итогов}} = 1 - \frac{C_{\text{chiq}}}{C_0} = 1 - \frac{2}{20} = 0,9 \\ = 90\%$$

Следовательно, технология обеспечивает общую эффективность очистки до 90%.

Проведённые расчёты и экспериментальные результаты показали, что стадия механического разделения играет важную роль в процессе очистки сточных вод. В частности, в результате гравитационного разделения в нефтеловушке загрязняющая нагрузка снижается на $\eta_1 = 60\text{--}80\%$ (в среднем 70%). При исходной концентрации $C_0 = 20$ мг/л данный показатель уменьшает количество



нефтепродуктов, поступающих на стадию сорбции, до 6–8 мг/л.

В результате создаются благоприятные условия для процесса сорбции и повышается эффективность сорбента. Композиционные сорбенты, применённые на стадии сорбции (на основе скорлупы арахиса и древесной щепы), продемонстрировали высокую сорбционную активность. При средней сорбционной ёмкости $q \approx 8$ мг/г нефтепродукты удерживались с эффективностью $\eta_2 = 85\text{--}95\%$, а выходная концентрация снижалась до $C \leq 2$ мг/л. Это полностью соответствует действующим экологическим нормативам.

Применение процесса десорбции (регенерации) значительно повышает экономическую и техническую эффективность технологии. Согласно результатам испытаний, степень регенерации сорбента составляет $D = 80\text{--}91\%$. Это означает, что вместо первоначально требуемых 75 кг/сутки сорбента благодаря регенерации достаточно использовать лишь 11–12 кг/сутки нового сорбента. В результате расход сорбента уменьшается в 6–7 раз.

Кроме того, имеется возможность повторного сбора нефтепродуктов, выделяющихся в процессе регенерации, что повышает ресурсосберегающий эффект технологии. Общая эффективность процесса составляет $\eta_{\text{общ}} \approx 90\text{--}95\%$, а согласованное применение процессов механического разделения и сорбции обеспечивает высокие результаты.

Предлагаемая технология позволяет эффективно очищать

сточные воды на основе процессов механического разделения и сорбции. Высокие сорбционные и регенерационные свойства композиционных сорбентов служат основанием для рекомендации данной технологии как перспективного решения для применения в промышленных условиях.

Заключение. В данной исследовательской работе были проведены опытно-промышленные испытания композиционного сорбента, созданного на основе лигноцеллюлозного сырья для очистки сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами, а также дана оценка основным параметрам технологического процесса.

Полученные результаты показали, что на стадии механического разделения эффективно удаляется 60–80% нефтепродуктов, а на последующей стадии сорбции возможно снижение концентрации нефтепродуктов до уровня экологических нормативов. Композиционные сорбенты продемонстрировали высокую сорбционную активность, обеспечив адсорбцию нефтепродуктов из сточных вод с эффективностью 85–95%.

Результаты исследования показали, что возможность регенерации сорбентов значительно повышает экономическую эффективность технологии. В процессе десорбции восстановление сорбента до 80–91% позволило снизить расход нового сорбента и



обеспечить непрерывность технологического процесса.

Кроме того, комплексное применение процессов механического разделения, сорбции и десорбции позволило повысить общую эффективность очистки до 90–95%,

что подтверждает перспективность предложенной технологии как экологически безопасного, ресурсосберегающего и практически эффективного решения для очистки промышленных сточных вод.

References:

1. Турабджанов С.М., Юсупов Ф.Н., Ибодуллаев А.С. Технологии сорбционной очистки сточных вод. – Ташкент: Фан, 2021. – 248 с.
2. Rashidova S.Sh., Negmatov S.S., Yusupbekov A.X. Composite biosorbents based on agricultural waste for wastewater treatment // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 10, №4. – P. 107–115.
3. Komarova L.F., Oleynik E.F., Lipatov Yu.S. Sorption materials for purification of oil-contaminated wastewater // Chemical and Petroleum Engineering. – 2020. – Vol. 56, №7. – P. 412–418.
4. Аскарлов М.А., Бабаев Т.М., Ашуров Н.Р. Физико-химические свойства сорбентов, полученных на основе лигноцеллюлозной биомассы // Химический журнал Узбекистана. – 2023. – №2. – С. 61–68.
5. Salem M.H., Ehrampoush M.H., Sheikhalishahi S. Adsorption of petroleum pollutants using lignocellulosic biosorbents // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – Vol. 24. – P. 101–109.
6. Тухтаев Ф.С., Нурназарова Г.У. Разработка композиционных сорбентов для очистки сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами // Материалы республиканской научно-практической конференции. – Навои, 2026. – С. 118–123.
7. Kumar A.A., Perlman M.M., Geracaris S. Development of adsorption systems for industrial wastewater purification // Journal of Water Process Engineering. – 2023. – Vol. 51. – P. 103–112.