

ВДОВЕНКО С. В., асп.
Национальный авиационный университет Украины

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

Показана важность переработки нефтяных шламов. Определены наиболее важные исходные характеристики и проведен анализ технологий переработки нефтяных шламов, образующихся на нефтеперерабатывающих заводах. Функционально-стоимостной анализ базовых технологий утилизации нефтяных шламов показал, что наивысшую интегральную оценку имеет технология термодесорбции и трехфазного центрифугирования.

Ключевые слова: углеводороды, нефтеперерабатывающий завод, переработка нефтяного шлама, функционально-стоимостной анализ.

© Вдовенко С. В., 2013.

Постановка проблемы. Одним из наиболее опасных загрязнителей природной среды являются токсичные отходы антропогенного происхождения – нефтяные шламы (НШ), образующиеся, как побочный продукт нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Эти отходы представляют собой сложные смеси переменного состава, включающие нефтяные углеводороды (как правило, в виде высококипящих мазутных фракций нефти), землю, песок, глину, механические включения, ил, воду, эмульсии и пр. В основном, НШ представляют собой тяжелые нефтяные остатки, содержащие 10...56 % нефтепродуктов, 30...85 % воды, а также 13...46 % твердых примесей [1–3].

По существующей практике, НШ, образующиеся в результате технологических операций переработки нефти и нефтепродуктов, накапливают и хранят в открытых хранилищах на территориях очистных сооружений НПЗ, нанося вред окружающей среде. Объёмы этих отходов постоянно растут, поэтому проблема очистки и утилизации НШ имеет глобальный характер [4, 5].

Технологии переработки НШ требуют значительных эксплуатационных и капитальных затрат, однако в условиях растущего дефицита и значительного удорожания топлива и по причине ужесточения требований к охране окружающей среды, эти затраты являются целесообразными. Приоритет в финансировании получают проекты, позволяющие минимизировать количество продуктов переработки НШ, или дающие возможность повторно и с выгодой их использовать. Поэтому технологии переработки НШ отечественных и зарубежных фирм направлены, в основном, на выделение и утилизацию нефти и нефтепродуктов [6].

Решение проблемы переработки НШ в условиях действующих НПЗ требует определения оптимальной и универсальной базовой технологии, учитывая качественный состав НШ, присущих для НПЗ.

Анализ технологических методов переработки НШ. Решающими факторами, определяющими загрязняющие свойства НШ, а также возможные направления их переработки и нейтрализации вредного воздействия на объекты природной среды, являются состав и физико-химические свойства НШ, которые способны изменяться во времени. Именно этим объясняется неизбежность многообразия используемых технологий и оборудования переработки НШ (табл. 1) [6–8].

Существующие на сегодня технологии переработки НШ отличаются большим разнообразием, разной степенью эффективности и высокой стоимостью. Вопрос, какие именно технологии переработки нефтяного шлама являются наиболее целесообразными для дальнейших исследований, разработки и внедрения на НПЗ, требует обоснования. Поэтому целью работы является определение оптимальной технологии переработки НШ НПЗ путем использования метода функционально-стоимостного анализа (ФСА) наиболее важных характеристик таких технологий.

Метод ФСА предоставляет возможность однозначно сформулировать основу ранжирования, а также имеет простой математический аппарат [9–11]. В данном методе не существует зависимости мнения эксперта от характеристик, предлагаемых для сравнения.

Результаты исследований и их анализ. Для выполнения ФСА технологий переработки НШ НПЗ были выбраны следующие исходные характеристики:

X_1 – класс опасности продуктов переработки НШ (регламентируется приказом Министерства природных ресурсов РФ от 15.06. 01 № 511). Опасность отходов определяется их токсичностью по отношению к живым организмам, а также условиями хранения или размещения в окружающей среде. В основу современных технологий переработки НШ положен принцип получения экологически безопасных продуктов переработки и углеводородов, возвращаемых в технологический цикл НПЗ;

X_2 – глубина отбора углеводородов из НШ. Под ним понимают количество полученных из 1 т НШ свободных углеводородов, которые в дальнейшем идут на повторную переработку;

X_3 – объем конечных продуктов переработки НШ и возможность их промышленного использования. От показателя зависят дальнейшие затраты НПЗ, связанные с транспортированием, захоронением или

утилизацией НШ. Очевидно, что минимизация продуктов переработки НШ и возможность их промышленного использования делают технологию более предпочтительной;

X_4 – удельная стоимость переработки НШ. Удельная стоимость представляет собой сумму переменных и постоянных затрат на единицу перерабатываемого НШ. Показатель уменьшается при условии отбора углеводов из НШ и промышленного использования переработанного НШ;

X_5 – диапазон содержания углеводов в НШ, при котором эффективно работает оборудование. От параметра зависит возможность установки перерабатывать разные по составу и физико-химическим характеристикам НШ;

X_6 – площадь, занимаемая установкой переработки НШ. Параметр должен быть минимизирован;

X_7 – транспортное исполнение установок переработки НШ. Мобильность установок позволяет перерабатывать образующиеся НШ по месту их образования в разных точках НПЗ и на прилегающих территориях. Для стационарных установок необходимо предусматривать транспорт для перевозки НШ по территории НПЗ и за его пределами к месту переработки;

X_8 – температурные условия окружающей среды, при которых работает технологическое оборудование. От данной характеристики зависит непрерывность процесса переработки НШ и затраты, связанные со строительством дополнительных обогреваемых зданий и сооружений под технологическое оборудование.

X_9 – использование реагентов в технологии переработки НШ. Данная характеристика непосредственно влияет на затраты, связанные с переработкой НШ. Минимизация потребления реагентов делает технологию более экологически чистой.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки методов и технологий переработки НШ

Метод	Технология	Преимущества	Недостатки
Термический	Косвенная термодесорбция	1. Возможность переработки НШ разного происхождения и состава. 2. Извлечение из НШ углеводородных ресурсов. 3. Получение экологически чистого продукта переработки НШ, имеющего возможность промышленного использования. 4. Отсутствует потребление реагентов	1. Выбросы дымовых газов в атмосферу 2. Высокая стоимость оборудования 3. Относительно низкая производительность
Химический	Химическое капсулирование	1. Возможность переработки НШ разного происхождения и состава. 2. Высокая скорость протекания химических реакций капсулирования 3. Получение продукта переработки НШ, имеющего возможность промышленного использования в дорожном строительстве 4. Низкая стоимость оборудования	1. Высокий удельный расход реагентов. 2. Большой объем образующихся продуктов переработки НШ. 3. Отсутствует возможность извлечения углеводородных ресурсов из НШ
Механический	Трехфазное центрифугирование	1. Извлечение из НШ углеводородных ресурсов. 2. Высокая производительность	1. Переработка только жидких НШ 2. Высокая стоимость оборудования 3. Для полного обезвреживания остатков НШ требуется их дополнительная переработка 4. Максимальное содержание твердых частиц в декантере не более 15%
Биологический	Биоредимация, фиторемедиация	1. Получение экологически чистого продукта переработки НШ 2. Низкая стоимость оборудования 3. Возможность одновременной переработки НШ больших объемов	1. Переработка НШ с незначительным содержанием углеводов 2. Необходимость организации полигонов большой площади 3. Строгая зависимость от температурных условий 4. Длительность процесса 5. Опасность заражения очищаемых территорий новыми микроорганизмами 6. Отсутствует возможность извлечения углеводородных ресурсов из НШ 7. Использование удобрений для жизнедеятельности микроорганизмов
Отмыв НШ	Экстракция	1. Получение экологически чистого продукта переработки НШ 2. Возможность переработки НШ разного происхождения.	1. Высокая стоимость оборудования 2. Использование растворителей

		3. Извлечение из НШ углеводородных ресурсов.	
--	--	--	--

Для сравнительного анализа выбраны базовые технологии переработки НШ [1, 2, 5–8, 12–15]: Y_1 – химическое капсулирование НШ; Y_2 – косвенная термическая десорбция НШ; Y_3 – биологическая очистка НШ; Y_4 – механическое трехфазное центрифугирование НШ; Y_5 – отмыв НШ растворителями.

Для определения максимально эффективной технологии переработки НШ НПЗ по указанным выше характеристикам осуществлен функционально-стоимостной анализ (ФСА). При девяти характеристиках необходимое количество парных сравнений равно 36.

Метод парных сравнений ФСА предполагает процесс ранжирования характеристик по степени важности (весомости). Для этого каждой характеристике присвоен индекс (табл. 2). При парном сравнении характеристик использованы три степени весомости: более значимая – оценка 1,5; менее значимая – оценка 0,5 и равнозначные между собой – оценка 1.

Таблица 2 – Исходные данные для анализа

Индекс исходной характеристики и	Индекс технологии переработки				
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
X_1	4	5	4...5	2...3	4...5
X_2	0 %	98 % и более	0 %	до 80 %	97 % и более
X_3	увеличивается; зависит от содержания углеводородов; колеблется в диапазоне 1...2 (по объему) или 2...4 для высокотоксичных НШ	уменьшается на объем отобранных углеводородов и воды	уменьшается на объем разложившихся углеводородов	уменьшается на объем отобранных углеводородов и воды	
X_4	1,5...2,0	2,0...2,5	1	2	2,5...3,0
X_5	не регламентируется	до 30 % об.	до 7 % масс.	от 10 % об.	не регламентируется
X_6	до 600 м ²	до 500 м ²	более 10 000 м ²	до 600 м ²	до 1500 м ²
X_7	мобильная или стационарная	мобильная или стационарная	стационарная	мобильная или стационарная	стационарная
X_8	от минус 15 °С и выше	от плюс 5 °С и выше	от плюс 5 °С и выше	от плюс 5 °С и выше; требуется предварительный нагрев до 70...100 °С	любые температурные условия при предварительном нагреве
	при более низких температурах оборудование размещают в отапливаемом помещении				
X_9	значительный расход извести и модификатора	не используются	незначительный расход удобрений для жизнедеятельности и микроорганизмов	незначительный расход флокулянта	использование растворителей

Опрошено пять независимых экспертов, каждому из которых было предложено сравнить попарно характеристики X_1 – X_9 и выбрать из каждой пары более весомую характеристику технологий переработки.

Экспертами выступили: главный инженер представительства компании Emerol Ltd в Туркменистане С. Вдовенко, руководитель проектов компании Speks (Латвия) С. Бабайцев, руководитель проектов компании «Нафтарос» (РФ) Р. Шахраманян, руководитель экологического департамента компании Кеелесо (Великобритания) О. Солодков, руководитель экологического департамента представительства компании Emerol Ltd в Туркменистане А. Щербина. Эксперты имеют большой опыт работы на различных НПЗ и участвовали в реализации проекта утилизации нефтешламов Туркменбашинского НПЗ.

Итоговую (среднюю) оценку степени весомости каждой из избранных характеристик устанавливали как

результат мнения всех экспертов $k_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i$, где B_i – весомость характеристики, определенная каждым

экспертом; m – количество экспертов. Средняя оценка второго из двух сравниваемых критериев $k_2 = 2 - k_1$ (табл. 3).

Таблица 3 – Экспертные оценки

Сравниваемые пары	Оценка эксперта					Средняя оценка	
	1	2	3	4	5	k_1	k_2
$X_1 - X_2$	1,5	1	1,5	1,5	1	1,3	0,7
$X_1 - X_3$	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,4	0,6
$X_1 - X_4$	1,5	1	1	1	0,5	1	1
$X_1 - X_5$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_1 - X_6$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_1 - X_7$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_1 - X_8$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_1 - X_9$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_2 - X_3$	0,5	1,5	1,5	1	1,5	1,2	0,8
$X_2 - X_4$	0,5	0,5	0,5	1	1	0,7	1,3
$X_2 - X_5$	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,6	1,4
$X_2 - X_6$	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	0,6
$X_2 - X_7$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_2 - X_8$	1,5	1	1	1,5	1	1,2	0,8
$X_2 - X_9$	1	1	1,5	1,5	0,5	1,1	0,9
$X_3 - X_4$	0,5	0,5	0,5	1	1	0,7	1,3
$X_3 - X_5$	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,6	1,4
$X_3 - X_6$	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,4	0,6
$X_3 - X_7$	1,5	1	1,5	1,5	1	1,3	0,7
$X_3 - X_8$	1	1,5	1,5	1	1,5	1,3	0,7
$X_3 - X_9$	1,5	1	1	0,5	1,5	1,1	0,9
$X_4 - X_5$	1,5	1	1	1,5	0,5	1,1	0,9
$X_4 - X_6$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_4 - X_7$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_4 - X_8$	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,4	0,6
$X_4 - X_9$	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,4	0,6
$X_5 - X_6$	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,4	0,6
$X_5 - X_7$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
$X_5 - X_8$	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,4	0,6
$X_5 - X_9$	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,4	0,6
$X_6 - X_7$	0,5	1	1	0,5	0,5	0,7	1,3
$X_6 - X_8$	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,6	1,4
$X_6 - X_9$	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,6	1,4
$X_7 - X_8$	0,5	0,5	1	1	0,5	0,7	1,3
$X_7 - X_9$	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,6	1,4
$X_8 - X_9$	0,5	1	0,5	1	0,5	0,7	1,3

По данным экспертного опроса заполнена таблица приоритетов характеристик (табл. 4). Значения, расположенные выше главной диагонали матрицы в табл. 4, соответствуют средним оценкам k_1 в табл. 3. Значения, расположенные ниже главной диагонали, – оценкам k_2 . Коэффициент приоритета рассчитан для каждой строки таблицы, как $k_{пр} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} k_i$, где n – количество сравниваемых характеристик.

Затем выполнена балльная оценка каждой характеристики с оценкой каждого значения согласно степени целесообразности в технологическом процессе. Наилучшим значениям присвоено 10 баллов; близким к наилучшим – 8...9; приемлемым – 4...7; близким к приемлемым – 2...3; неудовлетворительным – 0...1 (табл. 5).

Выполнив балльное оценивание и зная приоритет каждой характеристики, можно определить их интегральные оценки (табл. 6).

Таблица 4 – Приоритет исходных характеристик

Индекс	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	Сумма	$k_{пр}$	Приоритет
X_1	0	1,3	1,4	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	11,2	0,156	1
X_2	0,7	0	1,2	0,7	0,6	1,4	1,5	1,2	1,1	8,4	0,117	4
X_3	0,6	0,8	0	0,7	0,6	1,4	1,3	1,3	1,1	7,8	0,108	5

X ₄	1	1,3	1,3	0	1,1	1,5	1,5	1,4	1,4	10,5	0,146	2
X ₅	0,5	1,4	1,4	0,9	0	1,4	1,5	1,4	1,4	9,9	0,138	3
X ₆	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0	0,7	0,6	0,6	4,7	0,065	9
X ₇	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	1,3	0	0,7	0,6	5,3	0,074	8
X ₈	0,5	0,8	0,7	0,6	0,6	1,4	1,3	0	0,7	6,6	0,092	7
X ₉	0,5	0,9	0,9	0,6	0,6	1,4	1,4	1,3	0	7,6	0,106	6

Таблица 5 – Балльная оценка исходных характеристик

Индекс технологии переработки	Балльная оценка исходных характеристик								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
Y ₁	7	0	0	3	9	9	9	8	0
Y ₂	10	10	10	2	8	10	9	5	10
Y ₃	7	0	7	10	3	0	1	4	4
Y ₄	3	7	8	4	6	9	9	4	6
Y ₅	8	9	9	1	9	3	1	4	3

Таблица 6 – Интегральная оценка технологий переработки нефтешламов

Технология	Интегральная оценка									Сумма оценок	Приоритет
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉		
Косвенная термодесорбция	1,56	1,17	1,08	0,29	1,10	0,65	0,66	0,46	1,06	8,03	1
Трехфазное центрифугирование	0,47	0,82	0,87	0,58	0,83	0,59	0,66	0,37	0,63	5,81	2
Отмыв НШ растворителями	1,24	1,05	0,98	0,15	1,24	0,20	0,07	0,37	0,32	5,61	3
Химическое капсулирование	1,09	0,00	0,00	0,44	1,24	0,59	0,66	0,73	0,00	4,75	4
Биологическая очистка	1,09	0,00	0,76	1,46	0,41	0,00	0,07	0,37	0,42	4,58	5

Выводы. Метод ФСА позволил провести сравнительный анализ наиболее прогрессивных технологий переработки НШ, образующихся на НПЗ, и определить их интегральные оценки. Наивысшие оценки получили технологии косвенной термодесорбции и трехфазного центрифугирования.

Таким образом, чтобы уменьшить потери углеводородных ресурсов на НПЗ, улучшить экологическую ситуацию и достичь максимального экономического эффекта, необходимо сосредоточить внимание на комбинировании механического и термического методов переработки НШ с применением трехфазных сепараторов для извлечения углеводородных ресурсов и термодесорбционных блоков для переработки твердых отходов в экологически чистый и нейтральный продукт.

Список использованной литературы

1. *Абросимов А. А.* Экология переработки углеводородных систем / А. А. Абросимов – М. : Химия, 2002. – 608 с.
2. *Ибатулин Р. Р.* Исследование свойств нефтешламов и способы их утилизации / Р. Р. Ибатулин, И. И. Мутин, М. Н. Исхакова, К. Г. Сахабутдинов // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 11. – С. 116–118.
3. *Дметриевский А. Б.* Идентификация и минимизация химического и радиационного загрязнения окружающей среды нефтешламами : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.26.03 / А. Б. Дметриевский. – СПб. : СП ГТИ, 2007. – 29 с.
4. *Соркин Я. Г.* Безотходное производство в нефтеперерабатывающей промышленности / Я. Г. Соркин. – М. : Химия, 1983. – 200 с.
5. *Филатов Д. А.* Отмыв нефтешлама композициями ПАВ с последующей биодеструкцией нефти в отработанном растворе / Д. А. Филатов, Сваровская Л. И., Алтунина Л. К. // Вода: химия и экология. – 2011. – № 2. – С. 41–46.
6. *Сейдов А.* Рынок оборудования по утилизации нефтешлама в РФ в 2004–2012 гг. / А. Сейдов, И. Рухля, Ю. Фомиц, О. Плиткина – М. : АТ Consulting, 2012. – 140 с.
7. *Хайдаров Ф. Р.* Нефтешламы. Методы переработки и утилизации / Ф. Р. Хайдаров. – Уфа : Монография, 2003. – 74 с.
8. *Романцева С. В.* О взаимосвязи углеродного состава нефтешламов с методами их утилизации / С. В. Романцева, А. П. Ликсутина // Вестник Тамбовского университета ; сер. «Естественные и технические науки». – 2003. – № 1. – С. 129-130.
9. *Горлова Л. П.* Организация функционально-стоимостного анализа на предприятии / Л. П. Горлова, Е. П. Крыжановская, В. В. Муровская. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 127 с.
10. *Грамп Е. А.* Опыт использования функционально-стоимостного анализа в промышленности США / Е. А. Грамп, Л. М. Соркина. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 127 с.
11. *Рузинов Л. П.* Статистические методы оптимизации химических процессов / Л. П. Рузинов – М. : Химия, 1972. – 200 с.
12. *Нератов Д.* Нефтешлам – в дело / Д. Нератов // Трубопроводный транспорт нефти. – 2007. – № 9. – С. 6–8.

13. *Мингулов Ш. Г.* Опыт природоохранной деятельности ООО «НГДУ Туймазанефть» в области биоразложения нефтешламов и улавливания легких фракций углеводородов / Ш. Г. Мингулов, Ф. Н. Миникаев // Нефтяное хозяйство. 2004. – № 8. – С. 40–41.
14. *Глезин И. К.* Пиролиз твердых отходов нефтеперерабатывающей промышленности / И. К. Глезин, В. И. Петров, Т. А. Тимофеев – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1981.
15. *Ручкина О. И.* Экологически безопасная утилизация твердых нефтеотходов / О. И. Ручкина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2003. – Вып. 4. – С. 29-32.

Надійшла до редакції 01.04.2013.