

УДК 674:658.567.1/519.255

## НЕФТЕЕМКОСТЬ СОРБЕНТА ИЗ УГЛИСТОЙ МАССЫ ОТ СОДЕРЖАНИЯ В НЕФТЕШЛАМЕ ВОДЫ И НЕФТИ

Филина Н.А., Мазуркин П.М.

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, e-mail: kaf\_po@mail.ru

Приведен способ очистки водной поверхности от нефтяных загрязнений, который может быть использован для очистки водных объектов от пленки аварийно-разлитой и другой плавающей нефти. Разработаны математические модели процесса сорбции древесных отходов в программной среде Curve Expert 1.3.

**Ключевые слова:** углистая масса, сорбция, результаты моделирования

## PETROCAPACITY OF A SORBENT FROM COALY MASSES FROM THE CONTENT IN OIL-SLIME WATER AND OIL

Filina N. A., Mazurkin P.M.

Mari state technical university, Yoshcar-Ola, e-mail: kaf\_po@mail.ru

In this work there are some ways of water surface oil treatment, which can be used for water objects purification in the case of oil outflow and other kinds of supernatant oils. There were developed the mathematical models of the process of waste wood sorption in the software environment Curve Expert 1.3.

**Keywords:** coaly masses, sorption, the results of modeling

Поиск новых сорбентов для очистки поверхности водных объектов от нефтяных загрязнений является актуальной задачей. Древесина является дешевым сырьем для

получения сорбентов, причем уникальным сорбентом является древесный активированный уголь. В патенте на изобретение [3] приведены данные по экспериментам (табл. 1).

**Таблица 1**

Экспериментальные данные [3] по сорбции древесных опилок

Температура пиролиза древесной фракции $T$ , °C	Степень обугливания $\zeta$ , %	Толщина нефтяной пленки $h$ , мм	Нефтеемкость сорбента $E$ , кг/кг	Содержание в нефтешламе, % мас.	
				воды $v_w$	нефти $v_n$
25	0	7,13	2,47	16,94	59,12
105	0	5,83	2,63	12,97	63,08
150	2,18	4,92	2,85	10,46	66,29
200	3,88	4,69	3,00	9,71	67,72
250	6,68	8,85	3,24	9,46	69,19
300	13,90	2,23	3,70	9,34	71,37
350	16,24	3,87	4,28	9,42	73,43
400	18,43	9,10	5,13	9,03	76,13
600	24,27	2,46	6,52	8,38	79,44

По данным [3] очистка водной поверхности от нефтяных загрязнений выполняется порошком в виде углистой массы. Она получается при карбонизации измельченных и подсушенных древесных отходов в интервале температур 300–350 °C в инертной среде до степени обугливания 13–16%.

Цель статьи – факторный анализ выявлением статистических закономерностей процесса сорбции нефтепродуктов углистой массой по данным табл. 1.

В интервале температур 200–300 °C емкость рассматриваемых поглотителей нефти составляет 3,0–3,7 кг/кг (см. табл. 1). Нефтеемкость сорбентов 3,0–4,5 кг/кг можно рассматривать как экономически выгодную. Процесс поглощения нефти с поверхности воды сопровождается и водопоглощением исследуемых сорбентов. При этом степень

обводненности нефтешлама с увеличением температуры обжига сорбентов при низкотемпературной карбонизации в сравнении с воздушно-сухим древесным опилом сначала резко снижается (в 1,74 раза при 200 °C) и затем изменяется незначительно [3].

Каждый фактор, приведенный в табл. 1 оценивается относительно самого себя по порядку предпочтения. Процесс установления предпорядка предпочтения среди значений фактора называется ранжированием. В табл. 2 приведено ранговое распределение значений факторов.

Для ранжирования любой из приведенных факторов рассматривается как векторная величина, то есть такая физическая отличительная особенность, которая имеет четкое направление количественного изменения «чем больше, тем лучше».

Таблица 2

Ранговое распределение значений факторов

Температура пиролиза древесной фракции $T$ , °C		Степень обугливания $\zeta$ , %		Толщина нефтяной пленки $h$ , мм		Нефтеемкость сорбента $E$ , кг/кг		Содержание в нефтешламе, % мас.			
								воды $v_w$		нефти $v_n$	
0	25	0	0	6	7,13	8	2,47	0	16,94	8	59,12
1	105	0	0	5	5,83	7	2,63	1	12,97	7	63,08
2	150	1	2,18	4	4,92	6	2,85	2	10,46	6	66,29
3	200	2	3,88	3	4,69	5	3	3	9,71	5	67,72
4	250	3	6,68	7	8,85	4	3,24	4	9,46	4	69,19
5	300	4	13,9	0	2,23	3	3,7	6	9,34	3	71,37
6	350	5	16,24	2	3,87	2	4,28	5	9,42	2	73,43
7	400	6	18,43	8	9,1	1	5,13	7	9,03	1	76,13
8	600	7	24,27	1	2,46	0	6,52	8	8,38	0	79,44

В табл. 3 приведена корреляционная матрица, полученная после анализа бинарных отношений между всеми принятыми по исходным данным (табл. 1) переменным величинам.

Из общего количества 36 клеток исключили 9 значений, т.к. нет зависимости между толщиной нефтяной пленки и температурой пиролиза древесной фракции,

толщиной нефтяной пленки и степенью обугливания, толщиной нефтяной пленки и нефтеемкости сорбента, толщиной нефтяной пленки и содержанием в нефтешламе воды и нефти. Оставшиеся 27 трендовых закономерностей были вычислены в программе CurveExpert-1.3 в виде экспоненциального закона с порогом уровня адекватности выше 0,800.

Таблица 3

Корреляционная матрица факторных связей

Влияющие факторы	Зависимые факторы					
	$T$ , °C	$\zeta$ , %	$h$ , мм	$E$ , кг/кг	$v_w$ , % мас.	$v_n$ , % мас.
$T$ , °C	1	0,9949	нет	0,9973	0,9837	0,9985
$\zeta$ , %	0,9759	1	нет	0,9929	0,9258	0,9738
$h$ , мм	0,9351	нет	1	0,8261	0,9912	0,9562
$E$ , кг/кг	0,9985	нет	нет	1	0,9998	0,9852
$v_w$ , % мас.	0,9876	нет	нет	0,9597	1	0,9770
$v_n$ , % мас.	0,9947	нет	нет	0,9997	0,9958	1

Данные (табл. 1) моделировали в программной среде Curve Expert 1.38 [1] (табл. 4).

Модели 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12 состоят из двух частей. В модели 2, 3, 6, 8, 10, 12 первая составляющая формулы показывает, что процесс сорбции протекает по закону гибели, а вторая составляющая представляет собой биотехническое возбуждение значений фактора. Эти двухчленные уравнения содержит два устойчивых закона распределения. Первая составляющая является законом гибели, предложенный нами [2], в котором в отличие от закона Лапласа вводится интенсивность гибели (степень объясняющей переменной). Вторая составляющая является биотехни-

ческим законом проф. П.М. Мазуркина. Причем первая составляющая является частным.

В модели 5, 9 и 13 первая составляющая является постоянным числом. Модель 1 имеет три составляющие. Причем все они положительно направлены, то есть увеличение нефтеемкости сорбента уменьшает содержание воды в нефтешламе.

Изучив матрицу представленную в табл. 2 и бинарные отношения между факторами, представленными в табл. 3, отбросив все значения с доверием ниже 95% можно оставить шесть факторных связей 1, 2, 6, 11, 12 и 13 для дальнейшего исследования (табл. 5).

Таблица 4

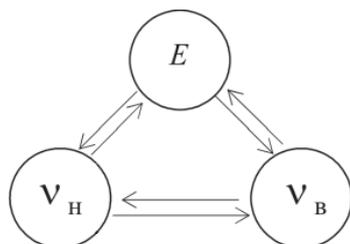
Бинарные отношения между факторами

Номер модели	Уравнение факторной бинарной связи	Коэффициент корреляции
1	$v_B = 100 \exp(-0,072877E^{3,92523}) + 1,57927E^{2,12944} \exp(-0,57777E) + 6,40019$	0,9998
2	$E = 0,010586 \exp(0,080414v_H^{1,0003534}) + 0,012838v_H^{3,20044} \exp(-0,14336v_H^{1,0000687})$	0,9997
3	$v_H = 58,39057 \exp(-8,075383 \cdot 10^{-5} T^{1,73841}) + 0,0048301T^{1,94082} \exp(-0,026451T^{0,72368})$	0,9985
4	$T = -273 + 33,63281E^{1,72692} + 19,42249E^{0,86412} \exp(-3,138136)$	0,9985
5	$E = 1,68092 \cdot 10^{-12} T^{5,05323} \exp(-0,0010395T^{1,28456}) + 2,62192$	0,9973
6	$v_B = 105,55291 \exp(-0,00033228v_H^{1,99491}) - 2,53178 \cdot 10^{-38} v_H^{28,83422} \exp(-0,47349v_H^{1,0021607})$	0,9958
7	$\zeta = 6,66565 \cdot 10^{-14} T^{12,03394} \exp(-7,27285T^{0,27945})$	0,9949
8	$T = -960122,27 \exp(-0,15470v_H) + 5,63899 \cdot 10^8 v_H^{-6,12562} \exp(0,15739v_H^{1,0094675})$	0,9947
9	$E = 0,20076\zeta^{0,29566} \exp(0,084713\zeta) + 2,55078$	0,9929
10	$v_B = 9,33686 \exp(-0,0106306 h) + 5,55110 h^{12,54912} \exp(-0,0016241h^{3,91346})$	0,9912
11	$v_H = 32828000E^{3,055731} \exp(-13,78609E^{0,16173})$	0,9852
12	$v_H = 711,26678 \exp(-1,35125v_B^{0,21542}) - 2,09806 \cdot 10^{-6} v_B^{76,510178} \exp(-55,290454v_B^{0,46368})$	0,9770
13	$E = 6,00444 \cdot 10^{-110} v_B^{181,0398} \exp(-16,52278 v_B^{1,0000125}) \cos\left(\frac{\pi v_B}{0,094081} + 0,90925\right)$	0,9597

**Таблица 5**  
Корреляционная матрица для стратегии исследования

Влияющие факторы	Зависимые факторы		
	$E$ , кг/кг	$v_B$ , % мас.	$v_H$ , % мас.
$E$ , кг/кг		0,9998	0,9852
$v_B$ , % мас.	0,9597		0,9770
$v_H$ , % мас.	0,9997	0,9958	

Изучив корреляционную матрицу представленную в табл. 5, у нас получается факторный треугольник, т.е. зависимость нефтеемкости сорбента от содержания в нефтешламе воды и нефти, и наоборот:



Проанализировав представленный граф и данные табл. 3 и 4, и обработав их в программной среде Curve Expert 1.3. нами по-

лучены следующие зависимости представленные на рис. 1-6:

Из зависимости представленной на рис. 3, которой соответствует формула модели 1, видно, что первой составляющей можно пренебречь. Вторая составляющая является законом гибели. Третья составляющая является биотехническим законом проф. П.М. Мазуркина.

Из зависимости, представленной на рис. 1, которой соответствует формула модели 13, видно, что изменение нефтеемкости от содержания воды определяется тенденцией (трендом) разностного вида и волновой составляющей.

Из зависимости представленной на рис. 2, которой соответствует формула модели 2, видно, что первой составляющей можно пренебречь. Вторая составляющая является законом гибели.

Из зависимости, представленной на рис. 4, которой соответствует формула модели 6, видно, что первая составляющая является законом гибели. Вторая составляющая является биотехническим законом проф. П.М. Мазуркина.

Причем первая составляющая является частным случаем биотехнического закона.

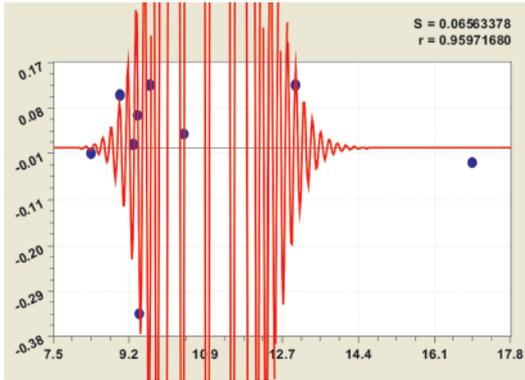


Рис. 1. Нефтеемкость от содержания воды

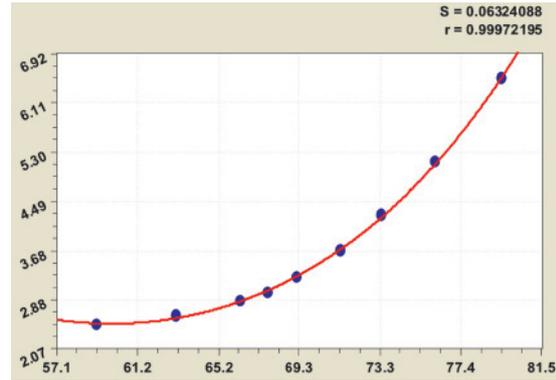


Рис. 2. Нефтеемкость от содержания нефти

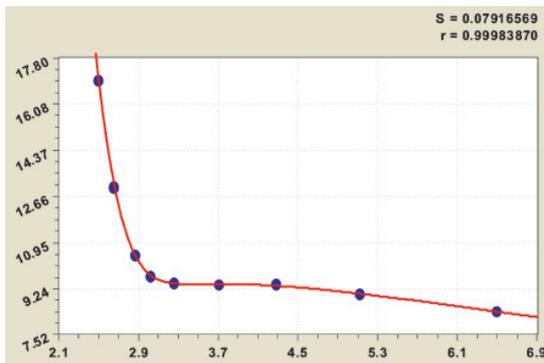


Рис. 3. Содержание воды от нефтеемкости

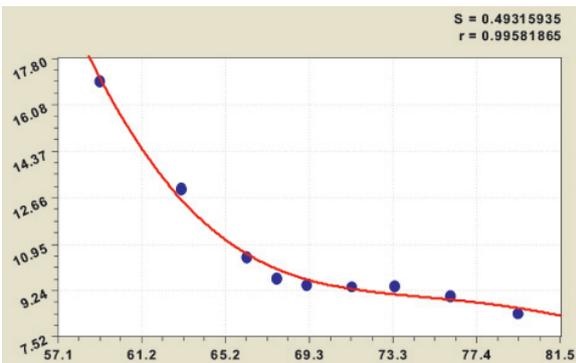


Рис. 4. Содержание воды от содержания нефти

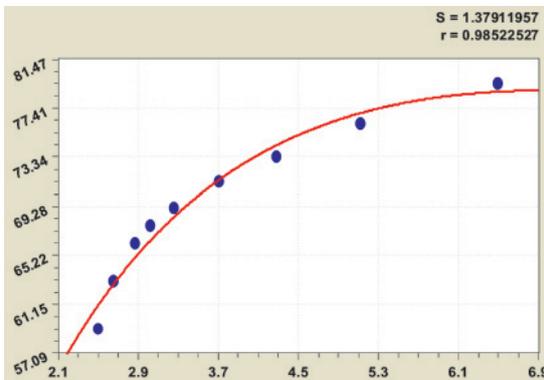


Рис. 5. Содержание нефти от нефтеемкости

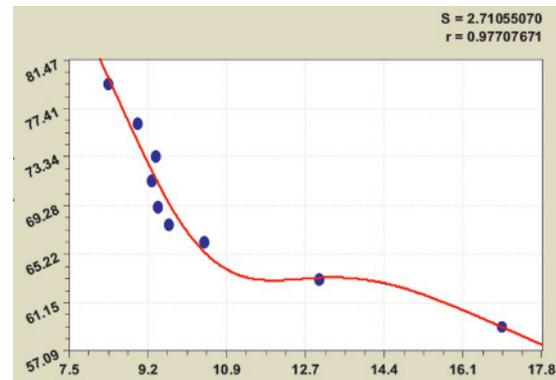


Рис. 6. Содержание нефти от содержания воды в нефтяном шламе

Поэтому все закономерности получается из одной формулы.

Из зависимости, представленной на рис. 5, которой соответствует формула модели 11, изменение содержание нефти от нефтеемкости происходит по биотехническому закону проф. П.М. Мазуркина.

Из зависимости, представленной на рис. 6, которой соответствует формула модели 12, видно, что первая составляющая является законом гибели (спада). Вторая

составляющая является биотехническим законом проф. П.М. Мазуркина.

Высокие коэффициенты корреляции (в правом верхнем углу графиков) уравнений показывают наличие в результатах экспериментов скрытого фактора или даже группы скрытых факторов.

Комплексное изображение нефтеемкости сорбента от содержания воды и нефти в нефтешламе можно представить в трехмерном пространстве (рис. 7), которое показывает взаимосвязь между факторными связями.

## fakt 1.txt, X , Y , Z

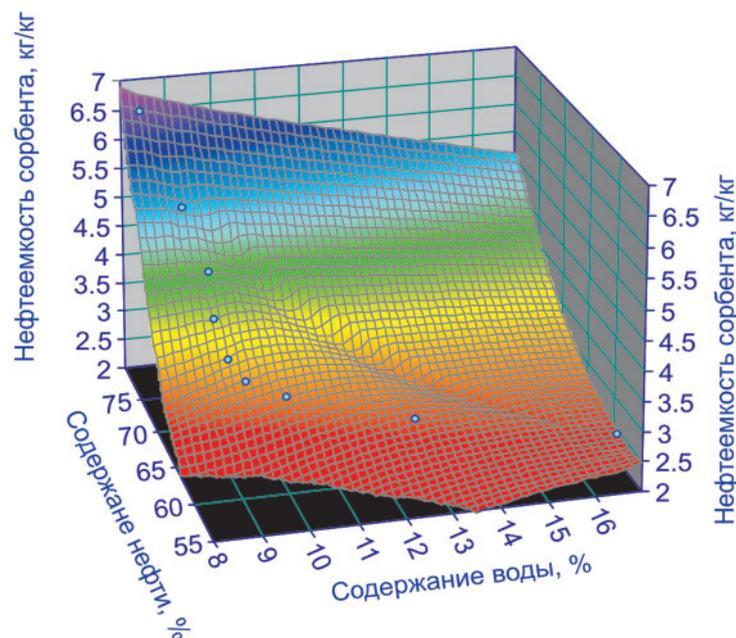


Рис. 7. Зависимость нефтеемкости сорбента от содержания воды и нефти в нефтешламе

Был проведен процесс математического моделирования, т.е. произведена формулировка законов, связывающих основные объекты модели; адекватность модели; анализ математической модели и модернизация этой модели. Анализ математической модели позволяет проникнуть в сущность изучаемых явлений.

По статистическим моделям возможно дополнительное исследование добротности различных сценариев, т.е. детальное изучение зависимостей нефтеемкости сорбента от содержания воды и нефти и наоборот.

Статья подготовлена и опубликована при поддержке гранта 3.2.3/4603 МОН РФ.

#### Список литературы

1. Мазуркин П.М. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учеб. пособие для вузов / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 292 с.
2. Мазуркин П.М. Статистическое моделирование. Эвристико-математический подход. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 100 с.
3. Пат. 2088725 Российская Федерация МПК6 E02B015/04 C09K003/32, Способ очистки водной поверхности от нефтяного загрязнения / Хасанов И.Ю.; Рогозин В.И.; Танатаров М.А.; Хасанов Р.Ю.; заявитель и патентообладатель Хасанов Ильмер Юсупович. – № 95112899/13; заявл. 07.24.95; опубл. 08.27.97.