

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ МАСЛОСОДЕРЖАЩЕЙ ЭМУЛЬСИИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Работа выполнена в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования на базе Центра Высочких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

*Святченко А.В., аспирант, ассистент,
Четвериков А.В., ассистент,
Сапронова Ж.А., доктор технических наук, профессор,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Шайхиев И.Г., доктор технических наук, заведующий кафедрой,
Казанский национальный исследовательский технологический университет*

Аннотация: *рассмотрен процесс очистки маслосодержащей эмульсии листовым каштановым опадом (ЛКО). Установлены факторы, влияющие на процесс очистки с приложением полного факторного эксперимента. Математическая модель, полученная при выполнении полного факторного эксперимента, имеет вид линейного уравнения. Итоги расчета сопоставимы с результатами эксперимента. Полученные данные позволяют вести процесс водоочистки при оптимальных значениях технологических параметров.*

Ключевые слова: *индустриальное масло, нефтепродукты, водоочистка, математическое планирование эксперимента*

STUDYING THE PROCESS OF OIL-CONTAINING EMULSION PURIFICATION BY MEANS OF EXPERIMENT PLANNING METHOD

*Svyatchenko A.V., Postgraduate, Assistant Professor,
Chetverikov A.V., Assistant Professor,
Sapronova Zh.A., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Shaykhiev I.G., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Head of the Department,
Kazan National Research Technological University*

Abstract: *the process of oil-containing emulsion purification with chestnut tree waste (CTW) is considered. The factors influencing the process of purification with the application of a full factorial experiment are established. The mathematical model obtained under carrying out a full factorial experiment has the form of a linear equation. The results of the calculation are comparable with the results of the experiment. The data obtained allow conducting a process of water purification at optimal values of technological parameters.*

Keywords: *industrial oil, oil products, water purification, mathematical planning of the experiment*

Введение

Индустриальное масло марки И-20А (ГОСТ 20799-88) [1] является одним из широко распространенных нефтепродуктов, часто используемых в гидравлических системах промышленного оборудования, для строительных, дорожных и других машин, работающих на открытом воздухе. Также индустриальное масло И-20А общего назначения предназначено для снижения трения, замедления изнашивания в таких устройствах: металлорежущие станки, прокатные станки, кузнечно-прессовое оборудование, вентиляторы, насосы, текстильное оборудование и др. [2, 3].

Индустриальное масло содержит парафиновые и нафтеновые углеводороды с длиной цепи в диапазоне от 20 до 60 атомов [4-7], имеет плотность при 20°C, равную величине менее 890 кг/м³, температура его застывания выше – 15°C [1].

В процессе использования масло частично попадает в промывные воды, охлаждающие жидкости. Поэтому сточные воды многих производств содержат индустриальное масло в тонкодисперсном состоянии, то есть представляют собой водомасляные эмульсии прямого типа «масло в воде».

Такие сточные воды являются агрегативно устойчивыми системами, трудно поддаются очистке, процесс извлечения из них масел является сложной технологической задачей. Между тем, содержание в сбрасываемых в водные объекты даже незначительных количеств масел наносит объектам гидросферы ощутимый экологический ущерб. По данным [8-10] уменьшение загрязнения объектов окружающей среды – актуальная задача современности. Эффективным способом снижения негативного воздействия на водные объекты, соответствующим современным экологическим тре-

бованиям, является поиск новых сорбционных материалов, обладающих малой растворимостью и способных извлекать компоненты эмульсионной системы и полностью удаляться из очищаемых сточных вод.

Перспективным материалом в этом плане может стать листовая опад различных деревьев. Ранее была показана возможность использования в качестве сорбционных материалов для извлечения из природных и сточных вод нефти и продуктов ее переработки, как листового опада [11-13], так и хвои [14, 15] различных пород деревьев. На основании вышеизложенного, в данной работе в качестве сорбционного материала для извлечения масла индустриального марки И-20А из водных сред исследовался листовая опад конского каштана (*Aésculus hippocastanum L.*).

Эффективность очистки модельных и сточных вод зависит от влияния различных факторов: температуры, рН среды, интенсивности перемешивания, концентрации активного агента, длительности пребывания взаимодействующих веществ в реакционной среде и многих других [16, 17]. Зачастую все перечисленные факторы могут претерпевать изменения одновременно, что затрудняет в этом случае возможность оценки зависимости эффективности процесса от каждого из них. Между тем в условиях производства при непрерывно и неоднозначно меняющихся условиях необходимо оперативное руководство протеканием технологического процесса.

С целью изучения комплексного влияния на эффективность того или иного процесса многих переменных факторов можно использовать методы математической статистики [18,19]. При этом достигается цель минимизации затрат на получе-

ние необходимых данных об исследуемом объекте. Выбор рациональных параметров ведения процесса водоочистки осуществлялся на основе четырехфакторного трехуровневого эксперимента [20, 21].

Методика

При изучении процесса извлечения масла И-20А из водомасляной эмульсии использовали масло индустриальное И-20А, обладающее показателями, представленными в табл. 1 [1].

Таблица 1

Физико-химические нормативные показатели индустриального масла И-20А

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Норма для марки	Метод испытания, № ГОСТ
1	Кинематическая вязкость при 40°C	мм ² /с	29-35	33
2	Кислотное число	мгКОН/г масла	≤ 0,03	5985 или 11362
3	Зольность	%	≤ 0,005	1461
4	Масс. доля S в маслах из сернистых нефтей	%	≤ 1,0	1437
5	Содержание механ. примесей	-	0	6370
6	Содержание H ₂ O	-	Следы	2477
7	Плотность при 20 ⁰ С,	кг/м ³	≤ 890	3900
8	Температура застывания	°С	≤ -15	20287

Модельная эмульсия индустриального масла И-20А в дистиллированной воде имела исходную концентрацию масла 1000 мг/дм³. Эмульсию готовили путем добавления индустриального масла в сосуда с дистиллированной водой с последующим перемешиванием на автоматической мешалке в течение 24 часов. Эмульсию стабилизировали лаурилсульфатом натрия в количестве 0,005 г/дм³. Температура среды составляла 20±0,5°C, pH – около 7.

Очистку маслосодержащей модельной эмульсии проводили статическим методом путем добавления навесок сорбционного материала в модельные эмульсии.

Сорбционный материал перед подачей в реакционную емкость измельчался до размеров частиц менее 4 мм и высушивался до постоянного веса в сушильном шкафу типа ШС-80-01СПУ при температуре 105°C. Модификация образцов листового

каштанового опада (ЛКО) проводилась в муфельной печи Lior LF-7/13-G2 путем обжига порций исследуемого материала в жаропрочных керамических тиглях.

В емкость, содержащую 100 см³ модельной маслосодержащей эмульсии вводили определенную массу сухого ЛКО. Перемешивали в течение заданного времени, затем адсорбент и адсорбат разделяли фильтрованием и после определения остаточного количества масла в фильтрате с использованием концентратометра марки «КН-3» рассчитывали эффективность очистки по стандартной формуле (1):

$$Y = \frac{C_{нач} - C_{кон}}{C_{нач}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где Y – степень очистки раствора, %; $C_{нач}$ и $C_{кон}$ – концентрации загрязняющих веществ в растворе, мг/дм³, до и после очистки, соответственно.

Результаты и обсуждение

Анализ имеющихся литературных данных [22-

24] показывает, что основными параметрами, влияющими на эффективность очистки модельной эмульсии, являются температура среды, масса сорбционного материала, длительность обработки, температура обработки сорбционного материала.

Из перечисленных факторов для исследования были выбраны наиболее важные:

X1 – Температура обработки ЛКО, °C

X2 – Масса добавляемого сорбционного мате-

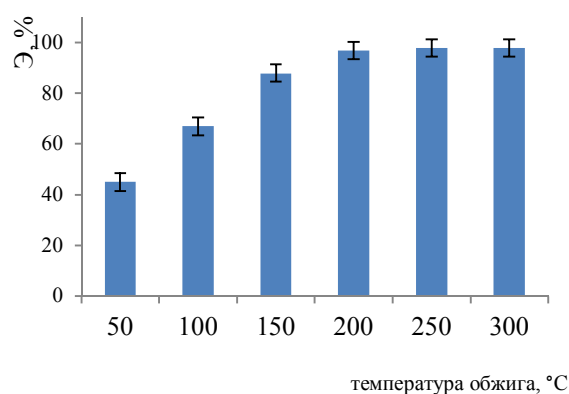
риала, г

X3 – Длительность обработки модельных стоков сорбционным материалом, мин

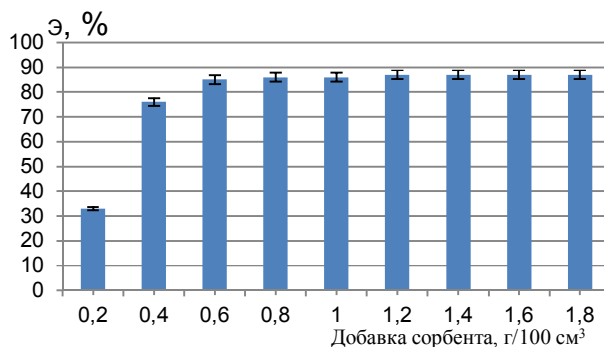
X4 – Температура водной среды, °C

В качестве функции отклика выбрана эффективность очистки эмульсии, Y, %.

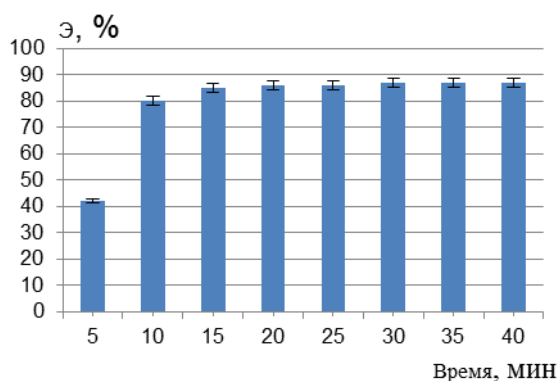
Правильность выбора данных факторов была подтверждена результатами предварительных исследований (рис. 1).



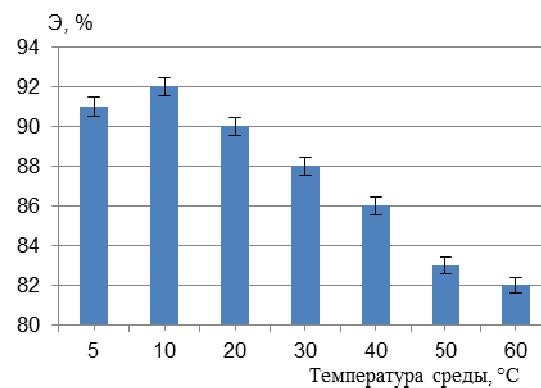
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Влияние выбранных факторов на эффективность извлечения масла И-20А из модельной эмульсии:

а) температуры термообработки ЛКО; б) массы добавляемого сорбента;

в) длительности обработки; г) температуры среды

Исследование комплексного влияния выбранных факторов на эффективность извлечения масла И-20А из модельной эмульсии осуществляли методом полного факторного

эксперимента [25].

План эксперимента в кодированных координатах представлен в табл. 2, в натуральных координатах – в табл. 3.

Таблица 2

Уровни варьирования переменных в кодированных координатах

Уровень	Факторы (в кодовых обозначениях)			
	X1	X2	X3	X4
Нижний	-1	-1	-1	-1
Нулевой	0	0	0	0
Верхний	+1	+1	+1	+1

Таблица 3

Интервалы варьирования переменных в натуральных координатах

№ п/п	Параметр	Условные обозначения	Уровень		
			Нижний	Нулевой	Верхний
X1	Температура обработки ЛКО, °С	$t^{\circ}_{обр}$	50	100	150
X2	Масса добавляемого сорбционного материала, г	m	0,2	0,4	0,6
X3	Длительность обработки модельных стоков сорбционным материалом, мин	τ	5	10	15
X4	Температура водной среды, °С	T_{cp}	10	20	30

Интервалы варьирования факторов выбирались по следующим соображениям:

- нижний уровень фактора X1 не может быть меньше, так как в противном случае будет ощущаться дефицит термического воздействия на ЛКО;

- нижний уровень фактора X2 принят из расчета минимально допустимой эффективности очистки маслосодержащих эмульсий;

- нижний уровень фактора X3 принят из соображений возможности достижения минимальной эффективности очистки 20%;

- нижний уровень фактора X4 установлен в связи с тем, что на графике, отражающем результаты предварительных исследований ощутимая зависимость эффективности очистки от температуры водной среды начинается от температуры 10°С.

- верхние уровни каждого из факторов X1-X4 приняты на основании выбора наиболее значимых влияний изменения каждого из них на величину отклика (Y).

В соответствии с планом эксперимента было проведено 8 основных опытов ($N=2^3$) (табл. 4).

Таблица 4

Матрица планирования экспериментов по очистке маслосодержащих модельных эмульсий термомодифицированным ЛКО (в кодированных координатах)

№ п/п	X1	X 2	X 3	X 4
1	+1	+1	+1	+1
2	-1	+1	+1	-1
3	+1	-1	+1	-1
4	-1	-1	+1	+1
5	+1	+1	-1	-1
6	-1	+1	-1	+1
7	+1	-1	-1	+1
8	-1	-1	-1	-1
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0

Каждый опыт проводился в течение расчетного времени, после чего реакционную смесь фильтровали, в фильтрате определяли остаточную концентрацию масла, мг/дм³.

Дополнительно к 8 основным опытам проведено 9 опытов в центре плана, в результате чего получены векторы эффективности очистки (Y) (2):

$$Y = (41,9; 41,5; 41,7; 41,8; 41,5; 41,8; 41,7; 41,9; 41,5), \% \quad (2)$$

Обработка результатов экспериментов выполнялась методом математической статистики. В качестве статистики критерия использовали уровень значимости.

Методом регрессионного анализа [26] получили следующее уравнение регрессии (3):

$$Y = 4,812 + 0,471X_1 + 6,563X_2 + (-0,208)X_3 + (-0,331)X_4 \quad (3)$$

После уравнения приведены векторы α_{α} уровня значимости соответствующих коэффициентов регрессии, определенные с помощью номограммы: величина $< 10^{-5}$ означает, что уровень значимости

меньше минимального уровня, который можно определить с помощью номограммы [27].

Ошибки измерений S_{y_i} определяли следующим образом. Для каждой искомой

величины S_u проводили по три параллельных опыта и вычисляли среднеквадратичную ошибку (4):

$$S_{\text{исх}} = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{N-1}}, \quad (4)$$

где y_i – значение величины измерения в i -том опыте;

N – число опытов.

Сравнение результатов экспериментов с результатами, полученными на основе регрессионной модели и проверка адекватности модели, показано в табл. 5, на рис. 2.

Таблица 5

Сравнение результатов экспериментов и проверка адекватности модели

Количество экспериментов	17
среднее по Y исх	45,81176471
среднее по Y регресс	45,81176471
отклонение Y исх	17,47351147
отклонение Y регресс	16,84911904
t-критерий Стьюдента	3,13798E-14
Коэффициент детерминации R^2	0,932451531
F-критерий Фишера	13,8041846

Для степени значимости 0,05 и степеней свободы $(17+17)-2 = 32$ по таблице критических значений Стьюдента получаем величину $= 2,037$

Полученное значение t-критерия Стьюдента намного меньше критического (близко к 0), поэтому можно говорить о статистической неразличимости полученных выходных значений.

Коэффициент детерминации R оценивает долю дисперсии (изменчивости) Y , которая объясняется с помощью X в линейной регрессионной модели. Данный критерий измеряется в интервале $[0,1]$ и отражает меру качества (точности) регрессионной модели. Полученное значение $R = 93\%$ показывает, что использованные в регрессионной модели

параметры (x_1, x_2, x_3, x_4) достаточно высоко позволяют спрогнозировать выходной параметр (Y)

Табличное значение критерия Фишера (F-критерия) $= 6,39$ для уровня значимости $p = 0.05$ и степеней свободы $f_1 = 4$ (4 параметра в эксперименте) и $f_2 = 4$ (4 параметра в регрессионной модели). Полученное значение F значительно выше табличного, следовательно, объясненная дисперсия существенно больше, чем необъясненная.

Результаты проверки построенной модели позволяют сделать вывод о её значимости и адекватности.

Погрешность составляет не более 4,4%.



Рис. 2. Сравнение результатов эксперимента и полученных с использованием регрессионной модели значений

Как следует из полученных уравнений, эффективность очистки повышается с увеличением температуры обработки сорбционного материала (ЛКО) и масла добавляемого ЛКО, и понижается с увеличением температуры реакционной среды; длительность обработки модельного раствора влияет на эффективность незначительно.

Коэффициент при факторе X2 наиболее зна-

чим, из чего следует, что в исследуемом диапазоне изменения выбранных параметров даже небольшие изменения добавляемого ЛКО будут заметно влиять на эффективность очистки.

План и результаты опытов по комплексному исследованию влияния взаимодействия факторов на процесс извлечения масла из эмульсии представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты экспериментов по очистке маслосодержащих модельных эмульсий термомодифицированным ЛКО (в натуральных координатах)

Факторы (в натуральных обозначениях)					Отклик
№ п/п	X1 (t° _{обр})	X2 (m, г/дм ³)	X3 (τ, мин)	X4 (T _{ср} , °C)	Y (эф-ть, %)
1	150	0,6	15	30	70,1
2	50	0,6	15	10	30,3
3	150	0,2	15	10	77,5
4	50	0,2	15	30	19,7
5	150	0,6	5	10	78,1
6	50	0,6	5	30	28,5
7	150	0,2	5	30	70,2
8	50	0,2	5	10	29,1
9	100	0,4	10	20	41,9
10	100	0,4	10	20	41,5
11	100	0,4	10	20	41,7
12	100	0,4	10	20	41,8
13	100	0,4	10	20	41,5

Продолжение таблицы 6

14	100	0,4	10	20	41,8
15	100	0,4	10	20	41,7
16	100	0,4	10	20	41,9
17	100	0,4	10	20	41,5

На рис. 3 представлена поверхность отклика Y от X_3 и X_4 при заданном $X_1=150$, полученная на

основании построенной регрессионной модели. Параметр X_2 отброшен как незначительный.

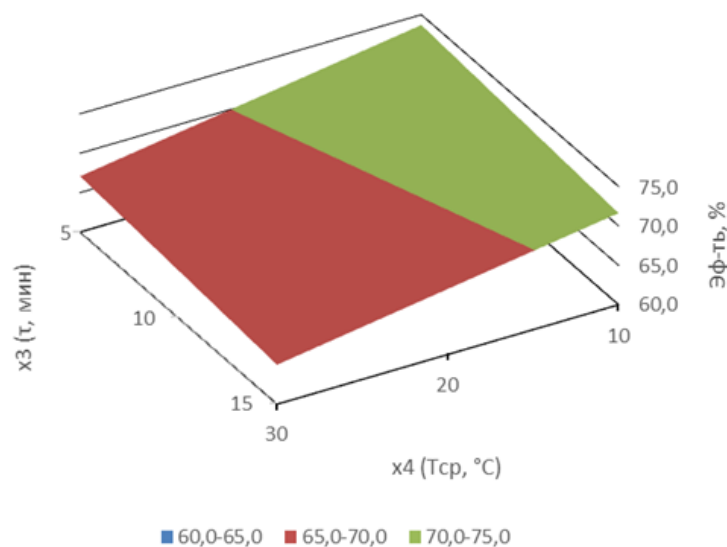


Рис. 3. Поверхность отклика Y при заданном $X_1=150$

Из рис. 3 следует, что графическое выражение поверхности отклика дает возможность сделать вывод, что разработанные рекомендации по оптимальным параметрам технологических факторов X_1 - X_4 обоснованы и могут быть использованы при проведении процесса очистки в производственных условиях.

Вывод

Полученные результаты исследований показывают, что при проведении процесса извлечения индустриального масла марки И-20А из водомасляных эмульсий с помощью термообработанного листового каштанового опада (ЛКО) процесс следует проводить при температуре 10-15°C в течение 15 минут.

Литература

- ГОСТ 20799-88. Масла индустриальные. Технические условия (с Изменениями N1-5). М.: Стандартинформ, 2005. 10 с.
- Индустриальное масло И-20А: общее описание [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nec-ton-sea.ru/catalog/Masla/Industrialnye/I-20A/> (дата обращения: 09.08.2018)
- Масло И-20А: эксплуатационные характеристики и сферы применения [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://motoroilclub.ru/harakteristiki/maslo-i-20a-harakteristiki-primeneni.html> (дата обращения: 20.08.2018)

4. Трусова В.В. Очистка оборотных и сточных вод предприятий от нефтепродуктов сорбентом на основе бурых углей: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. Иркутск, 2014. 132 с.
5. Chemical composition of used motor oils / V.A. Litvishkova, A.I. Bukhter, A.V. Nepogod'ev and ets. // Chemistry and technology of fuels and oils. 1974. V. 10. Is. 12. P. 962 – 965.
6. Eldeen S., Hegazi F. Conversion of used oil into Lubricating Grease and characteristics Evaluation // International journal of science and research. 2015. V. 4. Is. 4. P. 1894 – 1898.
7. Module 4: LUBRICATION. Types & Properties of Lubricants [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nptel.ac.in/courses/112102015/22> (дата обращения: 27.09.2018)
8. Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis / the United Nations Development Programme, New York. 2006. 410 p.
9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2016. 639 с.
10. Svergzova S.V., Sapronova Zh.A., Svyatchenko A.V. Extraction of spindle oil from aqueous media by chestnut tree waste // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. 327 (042096). 6 p.
11. Алексеева А.А., Степанова С.В. Изучение физико-химических основ процесса сорбции пленки нефти с поверхности воды смешанным листовым опадом // Вода: химия и экология. 2015. №4. С. 87 – 90.
12. Алексеева А.А., Степанова С.В. Применение листового опада для удаления пленки нефти с поверхности воды // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №22. С. 304 – 306.
13. Алексеева А.А., Степанова С.В. Применение листового опада в качестве сорбционного материала для ликвидации аварийных нефтяных разливов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. №7. С. 9 – 13.
14. Шайхиев И.Г., Степанова С.В., Шайхиева К.И. Исследование хвои сосновых деревьев в качестве сорбционных материалов для удаления нефти и масел с водной поверхности // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. №3. С. 183 – 186.
15. Смоленская Л.М., Рыбина С.Ю., Рыбин В.Г., Литвин П.В. Исследование сорбции ионов никеля волокнистыми адсорбентами // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. №1. С. 12 – 20.
16. Осокин В.М., Сомин В.А. Исследования по получению новых сорбентов из растительного сырья для очистки воды // Ползуновский вестник. 2013. №1. С. 280 – 282.
17. Способ модификации нефтеулавливающих сорбентов на основе натуральных органических материалов / М.Ф. Сотиров, А.В. Басов, В.В. Горелов и др. // Вестник Пермского государственного технического университета. Химическая технология и биотехнология. 2011. №12. С. 198 – 201.
18. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Вильямс, 2016. 912 с.
19. Соколов Г.А., Сагитов Р.В. Введение в регрессионный анализ и планирование регрессионных экспериментов в экономике: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2012. 202 с.
20. Соколов Г.А., Сагитов Р.В. Введение в регрессионный анализ и планирование регрессионных экспериментов в экономике: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2010. 200 с.
21. ЩигOLEV Б.М. Математическая обработка наблюдений. М.: Физматгиз, 1960. 344 с

22. Исследование влияния технологических факторов на маслосъемность пигментов-наполнителей на основе ХОЖК с использованием методов математической статистики / С.В. Свергузова, И.В. Старостина, Ж.А. Сапронова и др. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 197 – 201.
23. Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Том Отити, Сапронова Ж.А. Повышение прочности и морозостойкости керамических изделий при использовании меласной барды в качестве пластифицирующей добавки // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №2. С. 19 – 29.
24. Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Святченко А.В., Том Отити. Адсорбция веретенного масла нативным и термомодифицированным листовым опадом каштанов // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №1. С. 4 – 11.
25. Фёрст Э., Рёнци Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: пер. с нем. и предисловие В. М. Ивановой. М.: Финансы и статистика, 1983. 302 с.
26. Зарубина В.С. Крищенко А.П. Математическая статистика XVII. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 424 с.
27. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1999. 479 с.

References

1. GOST 20799-88. Masla industrial'nye. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami N1-5). М.: Standartinform, 2005. 10 s.
2. Industrial'noe maslo I-20A: obshchee opisaniye [ehlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://nec-ton-sea.ru/catalog/Masla/Industrialnye/I-20A/> (data obrashcheniya: 09.08.2018)
3. Maslo I-20A: ehkspluatatsionnye harakteristiki i sfery primeneniya [ehlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://motoroilclub.ru/harakteristiki/maslo-i-20a-harakteristiki-primeneniye.html> (data obrashcheniya: 20.08.2018)
4. Trusova V.V. Ochistka oborotnyh i stochnyh vod predpriyatij ot nefteproduktov sorbentom na osnove buryh uglej: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.04. Irkutsk, 2014. 132 s.
5. Chemical composition of used motor oils / V.A. Litvishkova, A.I. Bukhter, A.V. Nepogod'ev and ets. // Chemistry and technology of fuels and oils. 1974. V. 10. Is. 12. P. 962 – 965.
6. Eldeen S., Hegazi F. Conversion of used oil into Lubricating Grease and characteristics Evaluation // International journal of science and research. 2015. V. 4. Is. 4. P. 1894 – 1898.
7. Module 4: LUBRICATION. Types & Properties of Lubricants [ehlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://nptel.ac.in/courses/112102015/22> (data obrashcheniya: 27.09.2018)
8. Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis / the United Nations Development Programme, New York. 2006. 410 p.
9. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2015 godu». М.: Minprirody Rossii; NIA-Priroda, 2016. 639 s.
10. Sverguzova S.V., Sapronova Zh.A., Svyatchenko A.V. Extraction of spindle oil from aqueous media by chestnut tree waste // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. 327 (042096). 6 p.
11. Alekseeva A.A., Stepanova S.V. Izuchenie fiziko-himicheskikh osnov processa sorbcii plenki nefti s poverhnosti vody smeshannym listovym opadom // Voda: himiya i ehkologiya. 2015. №4. S. 87 – 90.

12. Alekseeva A.A., Stepanova S.V. Primenenie listovogo opada dlya udaleniya plenki nefti s poverhnosti vody // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. №22. S. 304 – 306.
13. Alekseeva A.A., Stepanova S.V. Primenenie listovogo opada v kachestve sorbcionnogo materiala dlya likvidacii avarijnyh neftyanyh razlivov // Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse. 2015. №7. S. 9 – 13.
14. SHajhiev I.G., Stepanova S.V., SHajhieva K.I. Issledovanie hvoi sosnovyh derev'ev v kachestve sorbcionnyh materialov dlya udaleniya nefti i masel s vodnoj poverhnosti // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2017. T. 20. №3. S. 183 – 186.
15. Smolenskaya L.M., Rybina S.YU., Rybin V.G., Litvin P.V. Issledovanie sorbcii ionov nikelya vo-loknistymi adsorbentami // Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2018. T. 1. №1. S. 12 – 20.
16. Osokin V.M., Somin V.A. Issledovaniya po polucheniyu novyh sorbentov iz rastitel'nogo syr'ya dlya ochistki vody // Polzunovskij vestnik. 2013. №1. S. 280 – 282.
17. Sposob modifikacii nefteulavlivayushchih sorbentov na osnove natural'nyh organicheskikh materialov / M.F. Sotirov, A.V. Basov, V.V. Gorelov i dr. // Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Himicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya. 2011. №12. S. 198 – 201.
18. Drejper N., Smit G. Prikladnoj regressionnyj analiz. M.: Vil'yams, 2016. 912 c.
19. Sokolov G.A., Sagitov R.V. Vvedenie v regressionnyj analiz i planirovanie regressionnyh ehksperimentov v ehkonomike: uchebnoe posobie. M.: INFRA-M, 2012. 202 c.
20. Sokolov G.A., Sagitov R.V. Vvedenie v regressionnyj analiz i planirovanie regressionnyh ehksperimentov v ehkonomike: uchebnoe posobie. M.: INFRA-M, 2010. 200 c.
21. SHCHigolev B.M. Matematicheskaya obrabotka nablyudenij. M.: Fizmatgiz, 1960. 344 s
22. Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na masloemkost' pigmentov-napolnitelej na osnove HOZHK s ispol'zovaniem metodov matematicheskoy statistiki / S.V. Sverguzova, I.V. Starostina, ZH.A. Sapronova i dr. // Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2016. №6. S. 197 – 201.
23. Sverguzova S.V., SHajhiev I.G., Tom Otiti, Sapronova ZH.A. Povyshenie prochnosti i morozostojkosti keramicheskikh izdelij pri ispol'zovanii melassnoj bardy v kachestve plastificiruyushchej dobavki // Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2018. Tom 1. №2. S. 19 – 29.
24. Sverguzova S.V., Sapronova ZH.A., Svyatchenko A.V., Tom Otiti. Adsorbciya veretennogo masla nativnym i termomodificirovannym listovym opadom kashtanov // Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2018. Tom. 1. №1. S. 4 – 11.
25. Fyorst E.H., Ryonc B. Metody korrelyacionnogo i regressionnogo analiza: per. s nem. i predislovie V. M. Ivanovoj. M.: Finansy i statistika, 1983. 302 s.
26. Zarubina V.S. Krishchenko A.P. Matematicheskaya statistika XVII. M.: MGTU im. N.EH. Baumana, 2001. 424 s.
27. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika. M.: Vysshaya shkola, 1999. 479 s.