

УДК 502.504 : 628.54

РЕКУПЕРАЦИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ УГРОЗ ТЕХНОСФЕРНОЙ ОПАСНОСТИ

© 2024 О.П. Филиппова¹, Е.С. Сергеев¹, Э.С. Цховребов², Ф.Х. Ниязгулов³

¹ Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (Федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия

³ Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 29.11.2023

Актуальность исследования предопределена нерешенными проблемами утилизации нефтесодержащих отходов в Ярославской области. Целью исследования послужил анализ системы предупреждения техносферной опасности, вызванный образованием промышленных отходов и их негативного воздействия на окружающую среду. Объектом исследования послужили высокоопасные по отношению к окружающей среде промышленные отходы, характерные для ряда предприятий региона: кислого гудрона. В качестве предмета исследования выступил процесс оптимизации состава битумного вяжущего на основе кислого гудрона по содержанию гальваношлама, каптакса и серы в целях последующего применения в модифицированном виде в качестве вторичного нефтесодержащего сырья для выпуска битумных эмульсий, паст, смазок. Такое сырье, технологически доведенное до малоопасного уровня, может успешно и эффективно использоваться в различных производственных операциях строительства, реконструкции, эксплуатации, ремонта объектов. Процесс оптимизации осуществлялся статистическими методами исследования с применением в ходе моделирования полученной зависимости свойств отхода от факторов полинома второй степени с двумя неизвестными. Расчёты выполнялись с применением пакета электронных таблиц Excel с встроенными математическими локальными расчетными программами. Результаты исследования в технологической части запатентованы и реализованы в практической деятельности предприятий региона. Ценность научно-практических разработок заключается в снижении объемов образования и хранения опасных нефтесодержащих отходов кислого гудрона и, как следствии, предотвращении и снижении уровня техносферной опасности, потенциально возможных чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Ключевые слова: техносферная безопасность, промышленная экология, мониторинг, математическое моделирование, планирование эксперимента, битумные вяжущие, вторичное сырье, нефтесодержащие отходы.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-1-160-171

ВВЕДЕНИЕ

Отходы сернокислотной очистки белых масел (кислые гудроны) являются одним из основных видов высокоопасных отходов предприятий нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, работающих по старым, экологически опасным, технологиям. При размещении (хранении, захоронении) кислого гудрона происходит существенное не-

гативное воздействие на окружающую среду, выраженное в её химическом загрязнении - в виде закисления почвы и водоемов. Вторичным негативным последствием становится массовая гибель, уничтожение флоры и фауны. При неблагоприятных природных условиях эти процессы могут перерасти в чрезвычайную ситуацию техногенного характера. Естественный, самопроизвольный окислительно-восстановительный процесс влечет за собой выделение большого количества диоксида серы, что, в свою очередь, загрязняет атмосферный воздух и наносит вред здоровью населения.

В целях снижения объемов образования и хранения этого опасного для окружающей среды и токсичного для здоровья человека нефтесодержащего отхода разработана технология его переработки во вторичное углеводородное сырье, применимое при выпуске строительной продукции широкого назначения.

Филиппова Ольга Павловна, доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана труда и природы».

E-mail: filippovaop@ystu.ru

Сергеев Егор Сергеевич, аспирант. E-mail: sergeev@ystu.ru

Цховребов Эдуард Станиславович, кандидат экономических наук, доцент, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), старший научный сотрудник научно-исследовательского центра «Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций». E-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

Ниязгулов Филюз Хайдарович, старший преподаватель кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация».

E-mail: flyuz1989@yandex.ru

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Результаты многолетних научных исследований, проведенных на кафедре «Охрана труда и природы» Ярославского государственного технического университета в развитие технологических разработок НИЦПУРО, других исследовательских учреждений и организаций, показали возможность применения модифицированных кислых гудронов для производства нефтесодержащего сырья для выпуска битумных паст, эмульсий, смазок, иной востребованной в хозяйственном обороте продукции, которые успешно применимы и экологически безопасны при осуществлении ремонтно-строительных работ [1-5].

Полученные результаты коррелируются с научными подходами, направлениями и результатами исследований по вопросам создания ресурсосберегающих систем экологически безопасного обращения различных видов производственных, строительных и коммунальных отходов комплекса жизнеобеспечения населенных пунктов [6-10], безопасных методов и технологий переработки различных видов отходов [11-15].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для проведения исследований послужили собственные многолетние результаты исследований, а также труды ученых и специалистов в области переработки нефтепродуктов, нефтешламов, нефтесодержащих отходов [16-20], экономики замкнутого цикла, безотходных и малоотходных систем [21-25],

В процессе исследований использованы статистические, численные методы, безусловной оптимизации, факторный эксперимент, корреляционно-регрессионный анализ. Выбор исследовательских методов и инструментов обусловлен следующим. Принималось во внимание, что методы эмпирического поиска оптимальных условий представляют собой длительный и хаотичный процесс. Это зависит от многих факторов: во-первых, сырьё и модифицирующие добавки являются отходом и не всегда возможно точно регулировать состав данных компонентов, во-вторых процесс электрохимического окисления кислого гудрона в битум зависит от содержания электролита, в третьих, изучение рецептуры, свойств получаемых битумных вяжущих, самого технологического процесса сводится к поочерёднему изменению каждого фактора в отдельности и анализу полученных данных. Кроме того, в процессе исследований сформулирован метод переработки данных видов отходов в виде рекуперации, определяющей извлечение полезных компонентов для их повторного применения для выпуска новой продукции и производства работ с её применением.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Получение битумных вяжущих из кислого гудрона сопряжено с рядом трудностей и одной из главных является то, что получаемый продукт не всегда удовлетворяет требованиям ГОСТа на битумные материалы, поэтому для улучшения эксплуатационных характеристик получаемых материалов предложено модифицировать битум из кислого гудрона полиэтилентерефталатом (ПЭТФ) – крупнотоннажным отходом потребления. Так как ПЭТФ имеет не высокую температуру стеклования $-70-80^{\circ}\text{C}$, это позволило получить модифицирующую добавку на его основе. 14 г измельчённых отходов ПЭТФ растворили в 70 мл анилина (время растворения 30 мин., температура 107°C). Полученный материал представляет собой гранулы жёлтого цвета, в такой форме он удобен при транспортировке. Для проведения эксперимента было предложено водить в окисляемое сырьё различное количество модификатора. Время окисления составило 60 мин. Температура 97°C . Окисление кислого гудрона в битум в присутствии модификатора проводилось электрохимическим способом. Электроды помещались непосредственно в массу кислого гудрона. На них подавалось напряжение переменного тока 50-70В при силе тока 12-14А. Данный процесс сопровождался интенсивным выделением водорода на поверхности катода, выполняющего роль флотирующего газа. Процесс разогрева гудрона осуществляется в течении 10 минут, добавлялась модифицирующая добавка - ПЭТФ (полиэтилентерефталат) в количестве 3-5%. За счёт диффузии водорода происходит перемешивание кислого гудрона.

В рамках предлагаемого подхода на первом этапе осуществлен перевод уровней переменных в условных и натуральных масштабах. Перевод из натуральных в условные единицы осуществляется с помощью формулы:

$$A = b - c \cdot L, \quad (1)$$

где A – дозировка в усл.ед.; b – средний уровень, мас. ч.; c – шаг варьирования, мас. ч.; L – значение уровня.

Результаты первого этапа исследований приводятся в таблице 1.

В целях моделирования зависимости температуры, глубины проникновения иглы и растяжимости от перечисленных в задании факторов используем полином второй степени с тремя неизвестными.

Для вычисления коэффициентов регрессии используем уравнение:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_{12} + b_{22} x_{22} + b_{33} x_{32} + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3, \quad (2)$$

где Y – исследуемый отклик; x – независимая

Таблица 1 – Значения уровней переменных
Table 1 – Values of variable levels

Наименование фактора	Обозначение	Средний уровень	Шаг варьирования	Значение уровней переменных				
				-1,21	-1	0	1	1,21
Гальваношлам	X1	1	0,5	0,40	0,5	1	1,5	1,61
Каптакс	X2	1	0,5	0,40	0,5	1	1,5	1,61
Сера	X3	10	5	3,95	5	10	15	16,05

переменная (фактор); b_0 - свободный член; b_i – линейные члены;

b_{ii} – члены второго порядка; b_{ij} – эффекты парного взаимодействия.

Планы второго порядка отличаются от линейных тем, что факторы необходимо варьировать более чем на двух уровнях, минимум на трёх. Простейшим планом второго порядка является полный факторный эксперимент, при котором реализуются все возможные сочетания факторов на всех уровнях. Для трёх уровней число опытов такого плана составляет $N=3^k$. С ростом числа факторов k число опытов быстро возрастает.

Вышеописанные процессы наглядно отражены в таблицах 2 и 3.

Следующим этапом исследования стал расчёт коэффициентов уравнения регрессии. Как известно, зависимость между двумя случайными величинами X и Y полностью задана, если известна их совместная функция распределения $f(x,y)$. На практике часто удобнее пользоваться не функцией распределения, а зависимостью

математического ожидания одной из случайных величин от другой, например $m(x)$, т.е. регрессией. Практическая применимость уравнений регрессии связана с разделением переменных математических моделей на входные и выходные, или зависимые и независимые. В данном случае представляло интерес количественное описание, в виде математического выражения, зависимости выходных параметров от входных. В условиях случайных погрешностей измерения входных переменных такое математическое выражение и будет уравнением регрессии. Задача регрессионного анализа состояла в том, чтобы на основании ограниченного объёма экспериментальных данных (выборки) найти приближённое уравнение регрессии и оценить возникающую при этом ошибку.

Значения полученных коэффициентов уравнения регрессии для трёх показателей вулканизаторов, найденных с помощью пакета анализа MS Excel приведены в таблице 4.

После расчёта коэффициентов уравнения регрессии необходимо проведен его статисти-

Таблица 2 – Параметры ортогонального плана второго порядка
Table 2 – Parameters of the second-order orthogonal plan

Номер опыта	Дозировка исследуемых компонентов						
	усл. ед.				мас. ч.		
	x0	x1	x2	x3	x1	x2	x3
1	1	-1	-1	-1	0,5	0,5	5
2	1	1	-1	-1	1,5	0,5	5
3	1	-1	1	-1	0,5	1,5	5
4	1	1	1	-1	1,5	1,5	5
5	1	-1	-1	1	0,5	0,5	15
6	1	1	-1	1	1,5	0,5	15
7	1	-1	1	1	0,5	1,5	15
8	1	1	1	1	1,5	1,5	15
9	1	-1,21	0	0	0,395	1	10
10	1	1,21	0	0	1,605	1	10
11	1	0	-1,21	0	1	0,395	10
12	1	0	1,21	0	1	1,605	10
13	1	0	0	-1,21	1	1	3,95
14	1	0	0	1,21	1	1	16,05
15	1	0	0	0	1	1	10

Таблица 3 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений
Table 3 – Comparison of experimental and calculated values

Экспериментальные значения			Расчетные значения		
Температура размягчения по КиШ, °С	Глубина проникания иглы, при температуре 25 °; 0,1 мм	Растяжимость при температуре 25 °С, мм	Температура размягчения по КиШ, °С	Глубина проникания иглы при температуре 25 °; 0,1 мм	Растяжимость при температуре 25 °С, мм
65	44	13	65,4	42,6	11,6
70	28	9	67,5	32,6	10,5
63	46	11	62,1	47,5	12,6
65	42	13	65,2	40,5	12,5
76	21	7	75,8	22,0	7,9
77	18	7	77,8	16,0	5,8
70	31	8	72,5	25,9	6,8
76	22	4	75,5	22,9	5,7
70	24	9	68,5	27,1	9,2
70	21	9	71,6	19,2	7,8
70	22	10	71,2	20,1	10,2
69	24	12	67,9	27,3	10,8
62	47	13	64,3	44,2	12,2
79	17	6	76,8	21,1	5,9
70	24	8	69,9	22,0	9,5

Таблица 4 – Значения коэффициентов уравнения регрессии
Table 4 – Values of coefficients of the regression equation

Коэффициент	Температура размягчения по КиШ	Глубина проникания иглы при 25 °С	Растяжимость при 25 °С
b ₀	69,86	21,96	9,50
b ₁	1,28	-3,26	-0,55
b ₂	-1,39	2,97	0,22
b ₃	5,18	-9,54	-2,61
b ₁₁	0,12	0,82	-0,68
b ₂₂	-0,22	1,16	0,69
b ₃₃	0,46	7,31	-0,34
b ₁₂	0,25	0,75	0,25
b ₁₃	0,00	1,00	-0,25
b ₂₃	0,00	-0,25	-0,50

ческий анализ. Анализ включает проверку адекватности уравнения. Проверка адекватности уравнения позволила оценить допустимость его практического использования. Уравнение считалось адекватным или соответствующим экспериментальным данным, если ошибка, возникающая вследствие неточности модели, описываемой уравнением регрессии, по отношению к истинной зависимости, описываемой экспериментальными данными, не превышает погрешности эксперимента. Дисперсия ошибки измерения оценена на основании параллельных опытов. Для этого определялась дисперсия воспроизводимости на каждом из сочетаний

уровней факторов. Значение критерия Фишера (Fтабл) вычислялось с помощью функции Excel ФРАСПОБР(q, v₁, v₂) (таблица 5).

На следующем этапе исследования осуществлялось построение изолиний изменения каждого показателя в зависимости от двух факторов при определённом постоянном значении третьего фактора.

Принималось, что $x_3=1$ в усл. ед. В этих условиях были построены изолинии изменения температуры размягчения, растяжимости, глубины проникания иглы в зависимости от дозировки гальваношлама (x_1) и каптакса (x_2). Как видно из рисунка 1, с ростом содержания гальваношлама

Таблица 5 – Проверка адекватности уравнения регрессии
Table 5 – Checking the adequacy of the regression equation

Параметр	Температура размягчения по КиШ, °С	Глубина проникания иглы, при температуре 25 °; 0,1 мм	Растяжимость при температуре 25 °С, см
$S_{ад}$	6,42	23,0	3,89
$S_{воспр}$	6,5	6,5	2,5
$F_{расч}$	0,987	3,54	1,56
$F_{табл}$	3,48	3,48	3,48
Вывод об адекватности модели	Адекватна	Адекватна	Адекватна

в выбранных пределах температура размягчения повышается, с увеличением дозировки каптакса, снижается. По-видимому, 2-меркаптобензтиазол выполняет в данном случае роль акцептора свободных радикалов, ограничивающего сшивание углеводородных фрагментов. Функции гальваношлама сводятся к каталитическому воздей-

ствию на процесс окисления кислого гудрона в битум, в результате чего повышается доля высокомолекулярных фракций в битумном вяжущем.

Согласно данным, приведенным на рисунке 2, при увеличении содержания гальваношлама глубина проникания иглы в материал уменьшается, а при увеличении содержания каптакса возрастает.



Рисунок 1 – Изолинии изменения температуры размягчения по КиШ битумного вяжущего в зависимости от содержания гальваношлама и каптакса

Fig. 1 – Isolines of the softening temperature change according to the properties of bitumen binder depending on the content of electroplating and captax

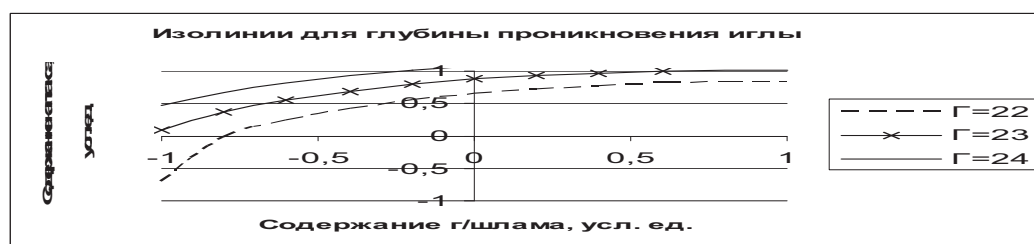


Рисунок 2 – Изолинии изменения глубины проникания иглы для битумного вяжущего в зависимости от содержания гальваношлама и каптакса

Fig. 2 – solines of the change in the penetration depth of the bituminous binder needle depending on the content of electroplating and captax

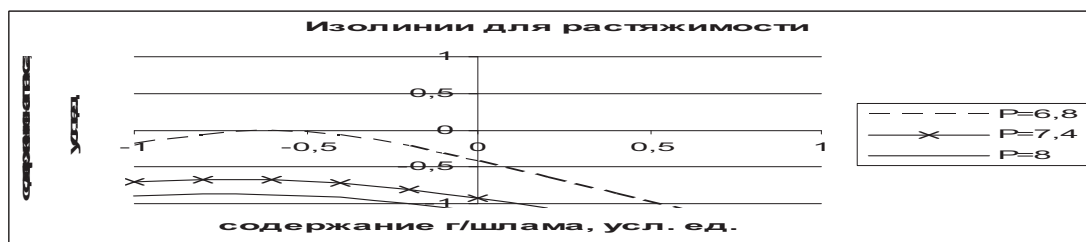


Рисунок 3 – Изолинии изменения растяжимости битумного вяжущего в зависимости от содержания гальваношлама и каптакса

Fig. 3 – Isolines of changes in the extensibility of bitumen binder depending on the content of electroplating and captax

Анализ кривых на рисунке показывает, что при увеличении содержания каптакса растяжимость уменьшается. Содержание гальваношлама практически не оказывает влияния на этот показатель (рисунок 3).

Далее в ходе эксперимента принято $x_1=1$ в условных единицах. При этих условиях были построены изолинии изменения температуры, растяжимости и глубины проникновения иглы в зависимости от дозировки серы (x_3) и каптакса (x_2). Обобщая данные, приведенные на рисунке 3, следует отметить, что при увеличении содержания серы температура размягчения обнаруживает тенденцию к повышению, а при увеличении содержания каптакса – наоборот, к некоторому снижению.

Из графика рис. 5 видно, что при увеличении содержания серы уменьшается глубина

проникания иглы в материал, а при увеличении содержания каптакса, наоборот, увеличивается.

Ход кривых графика на рис. 6 показывает, что при увеличении содержания серы растяжимость уменьшается, а при увеличении содержания каптакса возрастает.

На следующем этапе осуществлено построение моделируемых поверхностей: а) при постоянном содержании серы (рис.7-9); при постоянном содержании гальваношлама (рис. 10-12).

Далее, на следующем этапе исследования, применяя методы безусловной оптимизации для нахождения экстремума были продифференцировано уравнение регрессии по каждой из переменных с приравнением их к нулю. В результате получена система уравнений:

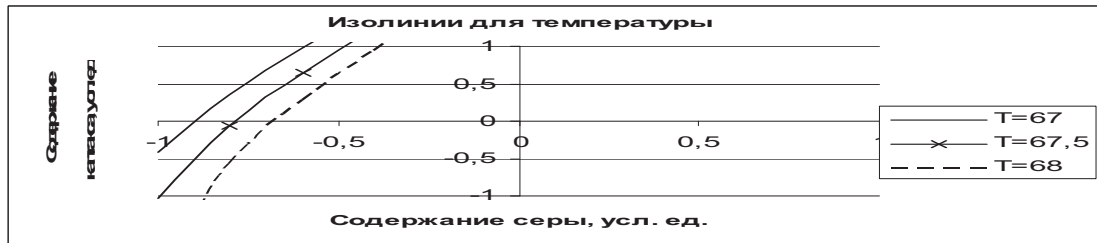


Рисунок 4 – Изолинии изменения температуры размягчения по КиШ битумного вяжущего в зависимости от содержания серы и каптакса

Fig. 4 – Isolines of the softening temperature change according to the properties of bitumen binder depending on the sulfur content and captax

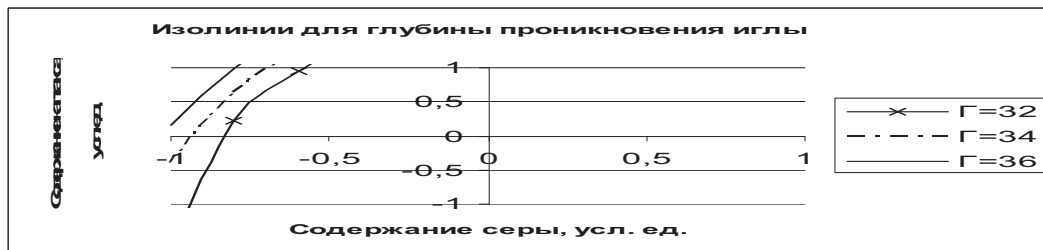


Рисунок 5 – Изолинии изменения глубины проникания иглы в зависимости от содержания серы и каптакса

Fig. 5 – Isolines of needle penetration depth changes depending on sulfur content and captax

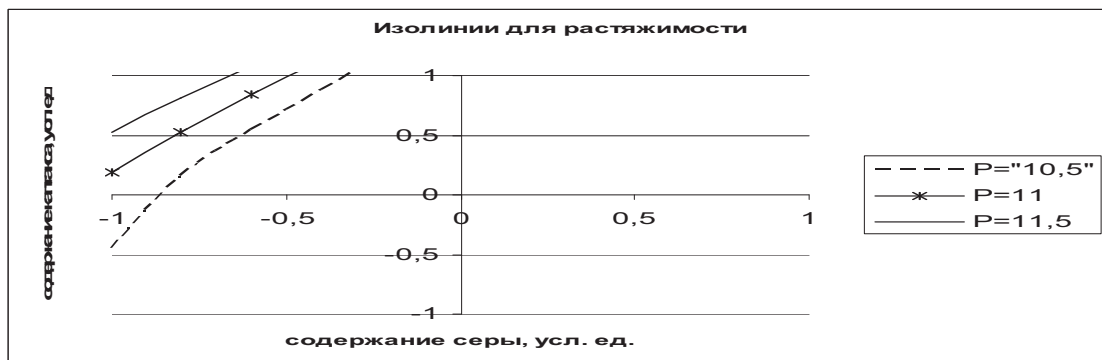


Рисунок 6 – Изменение растяжимости битумного вяжущего в зависимости от содержания серы и каптакса

Fig. 6 – Change in the extensibility of the bitumen binder depending on the sulfur content and captax

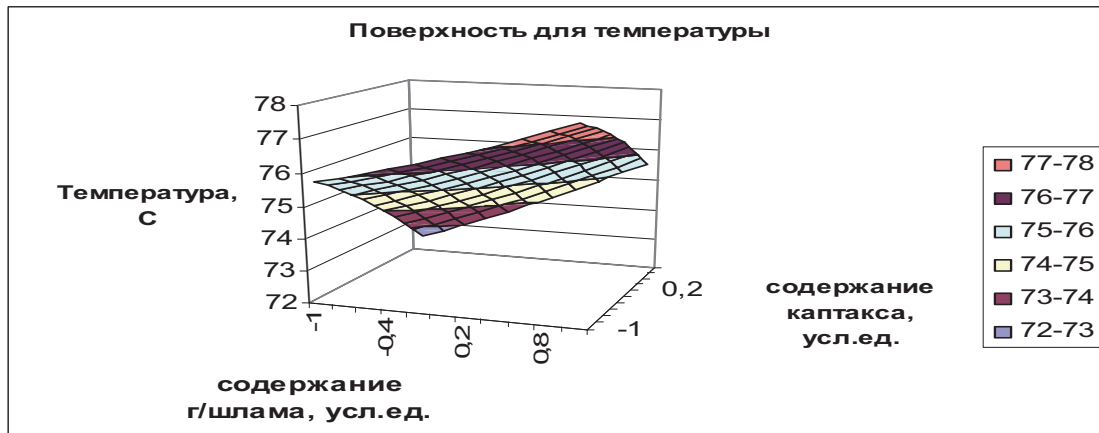


Рисунок 7 – Поверхность изменения температуры размягчения по КиШ битумного вяжущего в зависимости от содержания гальваношлама и каптакса
Fig. 7 – The surface of the softening temperature changes according to the type of bitumen binder depending on the content of electroplating and captax

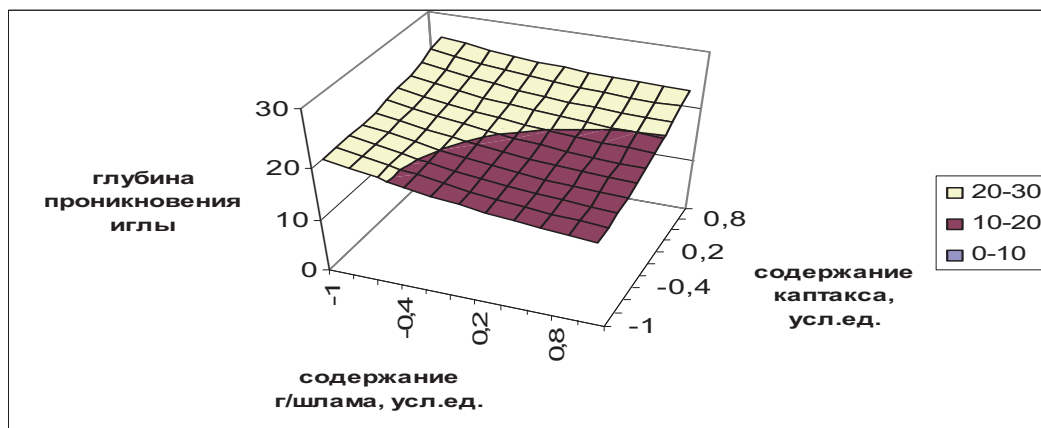


Рисунок 8 – Поверхность изменения глубины проникновения иглы для битумного вяжущего в зависимости от содержания гальваношлама и каптакса
Fig. 8 – The surface of the change in the penetration depth of the bituminous binder needle depending on the content of electroplating and captax

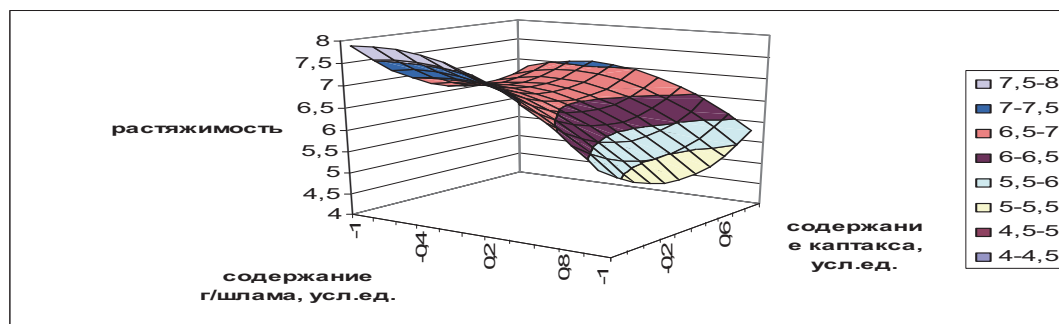


Рисунок 9 – Поверхность изменения растяжимости битумного вяжущего в зависимости от содержания гальваношлама и каптакса
Fig. 9 – The surface of the change in the extensibility of the bitumen binder depending on the content of electroplating and captax

$$\begin{cases} b_1 + 2b_{11}x_1^2 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 = 0 \\ b_2 + 2b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1 + b_{23}x_3 = 0 \\ b_3 + 2b_{33}x_3^2 + b_{13}x_1 + b_{23}x_2 = 0 \end{cases} \quad (3) \quad X = B^{-1} \times b, \quad (4)$$

где X – корень уравнения, B^{-1} – обратная матрица коэффициентов, B – свободные члены.

$$B = \begin{pmatrix} 2b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{12} & 2b_{22} & b_{23} \\ b_{13} & b_{23} & 2b_{33} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Полученная система уравнений была решена с помощью метода обратной матрицы :

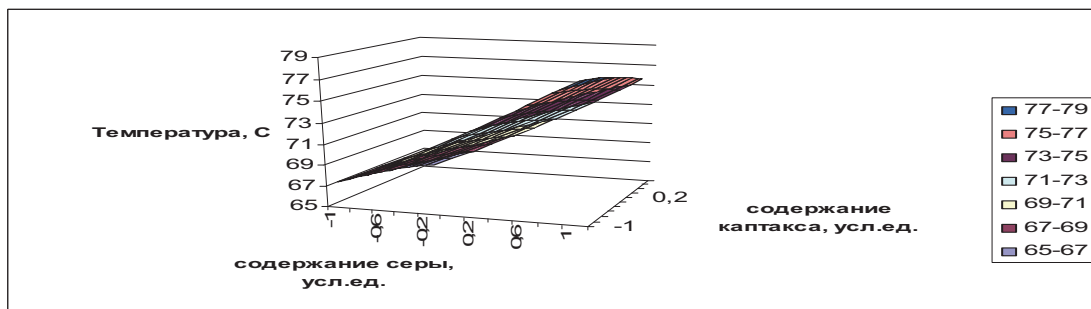


Рисунок 10 – Поверхность изменения температуры размягчения по КиШ битумного вяжущего в зависимости от содержания серы и каптакса

Fig. 10 – The surface of the softening temperature changes according to the properties of the bitumen binder depending on the sulfur content and captax

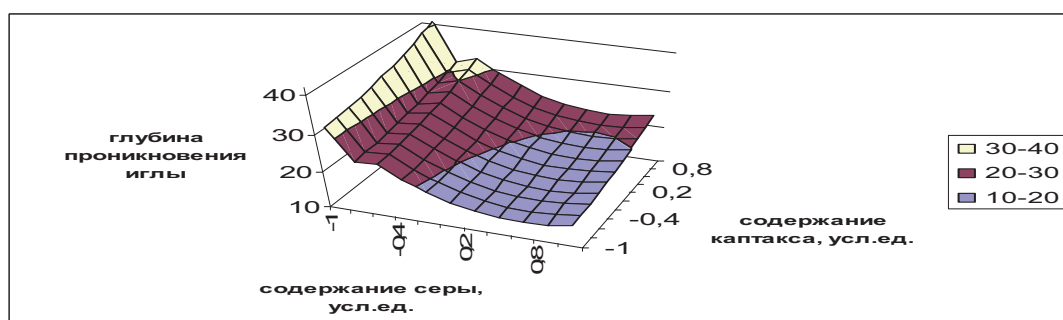


Рисунок 11 – Поверхность изменения глубины проникновения иглы для битумного вяжущего в зависимости от содержания серы и каптакса

Fig. 11 – The surface of the change in the depth of penetration of the bituminous binder needle depending on the sulfur content and captax

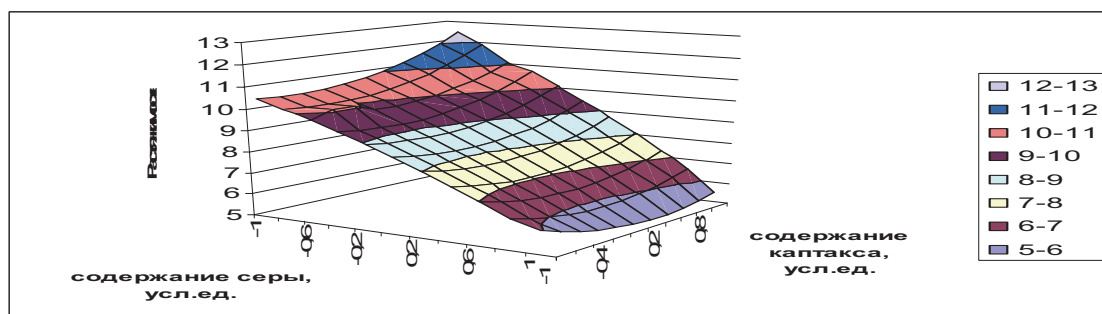


Рисунок 12 – Поверхность изменения растяжимости битумного вяжущего в зависимости от содержания серы и каптакса

Fig. 12 – The surface of the change in the extensibility of the bitumen binder depending on the sulfur content and captax

Для нахождения обратной матрицы (B^{-1}) выделяем массив, в который необходимо поместить обратную матрицу, затем в математических функциях выбираем функцию МОБР, закрашиваем исходную матрицу (B) и нажимаем комбинацию клавиш Ctrl+Shift+Enter.

Далее, чтобы найти x_1 , x_2 и x_3 необходимо выделить массив, в который будет помещён результат вычисления, выбрать в математических функциях МУМНОЖ, ввести в качестве первого массива обратную матрицу B^{-1} , а в качестве второго свободные члены b и нажать комбинацию Ctrl+Shift+Enter.

Таким образом, были рассчитаны параметры матриц из коэффициентов: по температуре (таблица 6), по глубине проникновения иглы (таблица 7) и по растяжимости (таблица 8).

На последнем этапе исследования, в рамках использования численных методов на базе Exel, были получены значения показателей нового углеводородного битумного вторичного сырья. При проведении расчетов исследователи исходили из того, что, если полученные значения переменных выходят за пределы исследуемого нами интервала, то необходимо найти экстремум численным методом при наложении выше-

Таблица 6 – Матрица из коэффициентов по температуре
Table 6 – Matrix of temperature coefficients

Матрица				Обратная матрица			Экстремум
X ₁	X ₂	X ₃	Своб. член	X ₁ '	X ₂ '	X ₃ '	
10,35	0,46	0,25	69,86	0	0,95	-1,76	3,66
0,25	0,46	0,00	1,28	0	1,65	0,93	0,82
-0,44	0,25	0,00	-1,39	4	-42,21	71,04	126,50

Таблица 7 – Матрица из коэффициентов по глубине проникновения иглы
Table 7 – Matrix of coefficients for the depth of penetration of the needle

Матрица				Обратная матрица			Экстремум
X ₁	X ₂	X ₃	Своб. член	X ₁ '	X ₂ '	X ₃ '	
-19,09	7,31	0,75	21,96	-0,05	0,05	-0,01	-1,30
1,64	7,31	1,00	-3,26	-0,01	0,16	-0,15	-1,08
2,33	0,75	1,00	2,97	0,12	-0,24	1,15	6,80

Таблица 8 – Матрица из коэффициентов по растяжимости
Table 8 – Matrix of extensibility coefficients

Матрица				Обратная матрица			Экстремум
X ₁	X ₂	X ₃	Своб. член	X ₁ '	X ₂ '	X ₃ '	
-5,21	-0,34	0,25	9,50	-0,29	0,04	-0,33	-2,86
-1,35	-0,34	-0,25	-0,55	1,36	-1,91	3,27	14,69
1,38	0,25	-0,25	0,22	-0,25	-1,67	-2,57	-1,99

означенных граничных условий. Для чего рассчитываем температуру, глубину проникновения иглы и растяжимость с использованием уравнения регрессии, ссылаясь во всех трёх уравнениях на одни и те же ячейки с переменными x₁, x₂ и x₃. Затем на панели инструментов выбиралась вкладка Сервис→Поиск решения: устанавливалась целевая ячейка равной максимальному значению одного из показателей, изменяя ячейки с переменными x₁, x₂ и x₃; накладывались ограничения: x₁ ≤ 1, x₁ ≥ -1, x₂ ≤ 1, x₂ ≥ -1, x₃ ≤ 1, x₃ ≥ -1, 70 ≤ T ≤ 80, 21 ≤ G ≤ 40, P = max → ОК → Выполнить. В результате были получены значения x₁, x₂ и x₃ в условных единицах (таблица 9).

По результатам поиска оптимального технического решения было найдено три рецепта битумных смесей: первый рецепт с содержанием гальваношлама 0,51 мас.ч., каптакса 0,50 мас.ч., серы 5,42 мас.ч.; второй рецепт с содержанием содержанием гальваношлама 1,5 мас.ч., каптакса 1,5 мас.ч., серы 11,9 мас.ч.; третий рецепт с содержанием содержанием гальваношлама 0,5 мас.ч., каптакса 0,5 мас.ч., серы 5 мас.ч.

Все они содержат малоопасные или практически неопасные соединения по воздействию на окружающую среду и могут быть использованы в качестве вторичного сырья для выпуска битумных вяжущих как строительной продукции при производстве изоляционных, кровельных работ.

ВЫВОДЫ

В результате проведённого исследования был оптимизирован состав битумного вяжущего на основе кислого гудрона по содержанию гальваношлама, каптакса и серы. Использование модифицирующей добавки на основе переработанного кислого гудрона позволяет получить битумные вяжущие по своим показателям соответствующие битуму нефтяному кровельному БНК 45/190.

Проведенные исследования направлены на экологическое оздоровление Ярославской области, снижение техносферной нагрузки, вызванной негативным воздействием высокоопасных

Таблица 9 – Полученные показатели битумного вторсырья с использованием численного метода
Table 9 – The obtained indicators of bitumen recyclables using the numerical method

Составляющие вторсырья	Температура размягчения по КиШ, °С		Глубина проникновения иглы при 25 °С, 0,1 мм		Растяжимость при 25°С	
	Уровень	Фактор	Уровень	Фактор	Уровень	Фактор
Гальваношлам	0,975699	0,51	-1	1,5	1	0,5
Каптакс	1	0,50	-1	1,5	1	0,5
Сера	0,916532	5,42	-0,38269	11,9	1	5

отходов кислого гудрона на природную среду, предупреждение потенциально возможных техногенных чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппова, О.П. Модификация битумных вяжущих из кислого гудрона техническим углеродом / О.П. Филиппова, В.М. Макаров // Химическая промышленность сегодня. – 2007. – № 10. – С. 24-26.
2. Галикова, Э.В. Исследование метода нейтрализации «кислой воды», крупнотоннажного отхода нефтехимической промышленности / Э.В. Галикова, О.П. Филиппова // Сборник материалов конференции. Ярославль. Ярославский государственный технический университет. – 2019. – С. 400-402.
3. Филиппова, О.П. Электрохимическая нейтрализация «кислых» промышленных стоков / О.П. Филиппова, С.З. Калаева, Н.Л. Маркелова, Е.А. Королева // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25. – № 9. – С. 15-17.
4. Sergeev E.S., Filippova O.P., Kalaeva S.Z. Toxicological assessment of different types of waste oils // From Chemistry Towards Technology Step-By-Step. 2022. Vol. 3. No. 4. Pp. 61-67.
5. Filippova O.P., Sergeyev E.S. Investigation of the corrosion properties of pigments by the method of integrated thermal analysis // From Chemistry Towards Technology Step-By-Step. 2021. Vol. 2. No. 2. Pp. 187-191.
6. Кожуховский, И.С. Организационно-экономические и правовые аспекты создания и развития производственно-технических комплексов по переработке золошлаковых отходов в строительную и иную продукцию / И.С. Кожуховский, Е.Г. Величко, Ю.К. Цельковский, Э.С. Цховребов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 6. С. 748-765.
7. Цховребов, Э.С. Эколого-экономические аспекты планирования размещения и проектирования промышленных объектов по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов / Э.С. Цховребов // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – № 11(122). – С. 1326-1340.
8. Цховребов, Э.С. Формирование региональных стратегий управления обращением с вторичными ресурсами / Э.С. Цховребов // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. – № 4(127). – С. 450-463.
9. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex. Materials Science Forum. 2019. T. 945. P. 988 – 994.
10. Petropavlovskii K., Ratkevich E., Novichenkova T., Petropavlovskaya V. The use of technogenic carbon in gypsum compositions for green building. E3S Web of Conferences. 2023. 403. P. 03013.
11. Щепетова, В.А. Современные методы оценки качества отходов / В.А. Щепетова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 87 с.
12. Никуличев, Ю.В. Управление отходами. Опыт Европейского союза. Аналитический обзор / Ю.В. Никуличев. – М.: ИНИОН РАН, 2017. 55 с.
13. Чертес, К.Л. Современные биопозитивные технологии переработки отходов коммунально-строительного сектора / К.Л. Чертес, Н.И. Шестаков // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – Вып. 8. – С. 1135-1146.
14. Волынкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Экология и рациональное природопользование // Вестник Сибирского государственного университета. – 2017. – № 2(20). – С. 45-58.
15. Олейник, С.П. Управление обращением с отходами строительства и сноса / С.П. Олейник, В.О. Чулков // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2016. – Т.3. – № 1.
16. Тупицына, О.В. Ликвидации накопителей отходов нефтегазового комплекса с использованием станций азрации / О.В. Тупицына, О.А. Самарина, М.И. Бальзанников, С.Ю. Андреев, К.Л. Чертес // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2012. – № 4. – С. 223-230.
17. Ягафарова, Г.Г. Экологическая биотехнология в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности / Г.Г. Ягафарова. – Уфа: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т, 2000. – 213 с.
18. Быков, Д.Е. Комплекс биодеструкции нефтеотходов / Д.Е. Быков, О.В. Тупицына, Н.Г. Гладышев, Д.В. Зеленцов, Н.В. Гвоздева, О.А. Самарина, А.Е. Цимбалюк, К.Л. Чертес // Экология и промышленность России. – 2011. – № 3. – С. 33-34.
19. Ермаков, В.В. Исследование накопителей нефтешламовых отходов. Нефтегазовые и химические технологии / В.В. Ермаков, Д.Е. Быков // Сб. науч. тр. Всероссийской научно-практической конференции. – Самара: СамГТУ, 2009. – 309 с.
20. Пименов, А.А. О подходах к классификации отходов нефтегазовой отрасли и побочных продуктов нефтепереработки / А.А. Пименов, Д.Е. Быков, А.В. Васильев // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 183-190.
21. Murray R. Zero waste. Greenpeace Environmental Trust, 2002. 211 p.
22. Elgizawy S.M., El-Haggag S.M., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. Pp. 1306-1313.
23. Hart J., Adams K., Giesekam J., Tingley D.D., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. Procedia CIRP. 2019. No. 80. Pp. 619-624.
24. Ehresman T., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy. International Environmental Agreements: Politics, Law & Economic, 2015. Vol. 15. Issue 1. Pp. 13-27.
25. Zaman A.U. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines. Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 91. Pp. 12-25.

RECOVERY OF OIL-CONTAINING INDUSTRIAL WASTES AS A FACTOR FOR REDUCING TECHNOSPHERE HAZARD THREATS

© 2024 O.P. Filippova¹, E.S. Sergeev¹, E.S. Tskhovrebov², F.Kh. Niyazgulov³

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia;

²All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations
(Federal Center for Science and High Technologies), Moscow, Russia;

³Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russia

The relevance of the study is predetermined by the unresolved problems of disposal of oil-containing waste in the Yaroslavl region. The purpose of the study was to analyze the system for preventing technospheric hazards caused by the formation of industrial waste and their negative impact on the environment. The object of the study was industrial waste, highly hazardous to the environment, characteristic of a number of enterprises in the region: acid tar. The subject of the study was the process of optimizing the composition of a bitumen binder based on acid tar in terms of the content of galvanic sludge, captax and sulfur for subsequent use in a modified form as a secondary oil-containing raw material for the production of bitumen emulsions, pastes, and lubricants. Such raw materials, technologically brought to a low-hazard level, can be successfully and effectively used in various production operations of construction, reconstruction, operation, and repair of facilities. The optimization process was carried out using statistical research methods using, during modeling, the obtained dependence of the withdrawal properties on the factors of a second-degree polynomial with two unknowns. Calculations were performed using an Excel spreadsheet package with built-in mathematical local calculation programs. The research results in the technological part have been patented and implemented in the practical activities of enterprises in the region. The value of scientific and practical developments lies in reducing the volume of formation and storage of hazardous oil-containing acid tar waste and, as a consequence, preventing and reducing the level of technospheric danger and potential man-made emergency situations.

Key words: technosphere safety, industrial ecology, monitoring, mathematical modeling, experimental planning, bitumen binders, secondary raw materials, oil-containing waste.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-1-160-171

EDN: MMEGRM

REFERENCES

1. *Filippova, O.P.* Modifikaciya bitumny`x vyazhushhix iz kislogo gudrona texnicheskim uglerodom / O.P. Filippova, V.M. Makarov // *Ximicheskaya promy`shlennost` segodnya*. – 2007. – № 10. – S. 24-26.
2. *Galikova, E`V.* Issledovanie metoda nejtralizacii “kisloy vody”, krupnotonnazhnogo otxoda nefteximicheskoy promy`shlennosti / E`V. Galikova, O.P. Filippova // *Sbornik materialov konferencii. Yaroslavl` Yaroslavskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet*. – 2019. – S. 400-402.
3. *Filippova, O.P.* E`lektroximicheskaya nejtralizaciya “kisly`x” promy`shlenny`x stokov / O.P. Filippova, S.Z. Kalaeva, N.L. Markelova, E.A. Koroleva // *E`kologiya i promy`shlennost` Rossii*. – 2021. – T. 25. – № 9. – S. 15-17.
4. *Sergeev E.S., Filippova O.P., Kalaeva S.Z.* Toxicological assessment of different types of waste oils // *From Chemistry Towards Technology Step-By-Step*. 2022. Vol. 3. No. 4. Pp. 61-67.
5. *Filippova O.P., Sergeyev E.S.* Investigation of the corrosion properties of pigments by the method of integrated thermal analysis // *From Chemistry Towards Technology Step-By-Step*. 2021. Vol. 2. No. 2. Pp. 187-191.
6. *Kozhuxovskij, I.S.* Organizacionno-e`konomicheskie i pravovy`e aspekty` sozdaniya i razvitiya proizvodstvenno-texnicheskix kompleksov po pererabotke zoloshlakovy`x otxodov v stroitel`nyu i inuyu produkciju / I.S. Kozhuxovskij, E.G. Velichko, Yu.K. Cely`kovskij, E`.S. Czxovrebov // *Vestnik MGSU*. 2019. T. 14. Vy`p. 6. S. 748-765.
7. *Czxovrebov, E`.S.* E`kologo-e`konomicheskie aspekty` planirovaniya razmeshheniya i proektirovaniya promy`shlenny`x ob`ektov po obrabotke, utilizacii, obezvrezhivaniyu otxodov / E`.S. Czxovrebov // *Vestnik MGSU*. – 2018. – T. 13. – № 11(122). – S. 1326-1340.
8. *Czxovrebov, E`.S.* Formirovanie regional`ny`x strategij upravleniya obrashheniem s vtorichny`mi resursami / E`.S. Czxovrebov // *Vestnik MGSU*. – 2019. – T. 14. – № 4(127). – S. 450-463.
9. *Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U.* Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex. *Materials Science Forum*. 2019. T. 945. P. 988 – 994.
10. *Petropavlovskii K., Ratkevich E., Novichenkova T., Petropavlovskaya V.* The use of technogenic carbon in gypsum compositions for green building. *E3S Web of Conferences*. 2023. 403. R. 03013.

11. *Shhepetova, V.A.* Sovremennyye metody` ocenki kachestva otxodov / V.A. Shhepetova. – Penza: PGUAS, 2014. – 87 s.
12. *Nikulichev, Yu.V.* Upravlenie otxodami. Opyt` Evropejskogo soyuza. Analiticheskij obzor / Yu.V. Nikulichev. – M.: INION RAN, 2017. 55 s.
13. *Chertes, K.L.* Sovremennyye biopozitivny`e tehnologii pererabotki otxodov kommunal`no-stroitel`nogo sektora / K.L. Chertes, N.I. Shestakov // Vestnik MGSU. – 2020. – T. 15. – Vy`p. 8. – S. 1135–1146.
14. *Voly`nkina E.P.* Analiz sostoyaniya i problem pererabotki texnogenny`x otxodov v Rossii // E`kologiya i racional`noe prirodopol`zovanie / // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2017. – № 2(20). – S. 45-58.
15. *Olejnik, S.P.* Upravlenie obrashheniem s otxodami stroitel`stva i snosa / S.P. Olejnik, V.O. Chulkov // Internet-zhurnal «Otxody` i resursy`». – 2016. – T.3. – № 1.
16. *Tupicyna, O.V.* Likvidacii nakopitelej otxodov neftegazovogo kompleksa s ispol`zovaniem stancij ae`racii / O.V. Tupicyna, O.A. Samarina, M.I. Bal`zannikov, S.Yu. Andreev, K.L. Chertes / // Neftegazovoe delo: e`lektronny`j nauchny`j zhurnal. – 2012. – № 4. – S. 223–230.
17. *Yagafarova, G.G.* E`kologicheskaya biotexnologiya v neftedoby`vayushhej i neftepererabaty`vayushhej promy`shlennosti / G.G. Yagafarova. – Ufa: Ufim. gos. neftyanoj texn. un-t, 2000. – 213 s.
18. *By`kov, D.E.* Kompleks biodestrukcii nefteotxodov / D.E. By`kov, O.V. Tupicyna, N.G. Gladyshev, D.V. Zelencov, N.V. Gvozdeva, O.A. Samarina, A.E. Cimbalyuk, K.L. Chertes // E`kologiya i promy`shlennost` Rossii. – 2011. – № 3. – S. 33-34.
19. *Ermakov, V.V.* Issledovanie nakopitelej nefteshlamovy`x otxodov. Neftegazovy`e i ximicheskie tehnologii / V.V. Ermakov, D.E. By`kov // Sb. nauch. tr. Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Samara: SamGTU, 2009. – 309 s.
20. *Pimenov, A.A.* O podxodax k klassifikacii otxodov neftegazovoj otrasli i pobochny`x produktov neftepererabotki / A.A. Pimenov, D.E. By`kov, A.V. Vasil`ev // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2014. – № 4. – S. 183-190.
21. *Murray R.* Zero waste. Greenpeace Environmental Trust, 2002. 211 r.
22. *Elgizawy S.M., El-Hagggar S.M., Nassar K.* Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. Pp. 1306–1313.
23. *Hart J., Adams K., Giesekam J., Tingley D.D., Pomponi F.* Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. Procedia CIRP. 2019. No. 80. Pp. 619–624.
24. *Ehresman T., Okereke C.* Environmental justice and conceptions of the green economy. International Environmental Agreements: Politics, Law & Economic, 2015. Vol. 15. Issue 1. Pr. 13-27.
25. *Zaman A.U.* A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines. Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 91. Pr. 12–25.

Olga Filippova, Doctor of Technics, Professor of the Department of Labor and Nature Protection of Yaroslavl State Technical University. E-mail: filippovaop@ystu.ru

Egor Sergeyev, Postgraduate Student.

E-mail: sergeev@ystu.ru

Eduard Tshovrebov, Ph.D. in Economics, Associate Professor, Federal State Budgetary Research Institute of GOCHS (FC), Senior Researcher at the Research Center «Monitoring and Forecasting of Emergency Situations».

E-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

Filyuz Niyazgulov, Senior Lecturer of the Department of Geodesy, Geoinformatics and Navigation.

E-mail: flyuz1989@yandex.ru