

- ника и оборудование для села. – 2011. – № 7 (169). – С. 26–27.
5. *Шепелёв С.Д., Черкасов Ю.Б.* Обоснование границ эффективности использования накопителя-перегрузателя // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 12. – С. 199–203.
 6. *Шепелёв С.Д., Шепелёв В.Д., Черкасов Ю.Б.* Обоснование потребности в трудовых ресурсах при проектировании зерноуборочных процессов // АПК России. – 2012. – Т. 61. – С. 100–103.
 7. *Шепелёв С.Д., Шепелёв В.Д.* Обоснование технико-технологических параметров зерноочистительных агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 2. – С. 9–11.
- Literatura**
1. *Shepel'jov S.D., Plaksin A.M., Cherkasov Ju.B.* Vlijanie sroka sluzhby i sezonnoj narabotki na pokazateli jeksploatacionnoj nadezhnosti zernouborochnyh kombajnov // Agropromyshlennyj kompleks Rossii. – 2016. – Т. 75. – № 1. – С. 122–126.
 2. *Shepel'jov S.D., Cherkasov Ju.B.* Obosnovanie racional'nogo urovnja nadezhnosti tehnologicheskikh mashin v zernouborochnom processe // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 5. – С. 58–63.
 3. *Shepel'jov S.D., Shepel'jov V.D., Cherkasov Ju.B.* Statisticheskie pokazateli proizvoditel'nosti zernouborochnyh kombajnov v zavisimosti ot narabotki // Agroprodovol'stvennaja politika Rossii. – 2015. – № 1 (13). – С. 36–40.
 4. *Shepelev S.D., Krachenko I.N.* Povyshenie jeffektivnosti uborki na osnove ciklicheskogo sozrevanija zernovyh kul'tur // Tehnika i oborudovanie dlja sela. – 2011. – № 7 (169). – С. 26–27.
 5. *Shepelev S.D., Cherkasov Ju.B.* Obosnovanie granic jeffektivnosti ispol'zovanija nakopitelja-peregruzhatelja // Vestn. KrasGAU. – 2013. – № 12. – С. 199–203.
 6. *Shepel'jov S.D., Shepel'jov V.D., Cherkasov Ju.B.* Obosnovanie potrebnosti v trudovyh resursah pri proektirovanii zernouborochnyh processov // APK Rossii. – 2012. – Т. 61. – С. 100–103.
 7. *Shepelev S.D., Shepelev V.D.* Obosnovanie tehniko-tehnologicheskikh parametrov zerno-ochistitel'nyh agregatov // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2007. – № 2. – С. 9–11.

УДК 628.54

*Т.И. Халтурина, С.А. Козлова,
О.В. Чурбакова, С.Г. Третьяков*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ
ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ЭМУЛЬГИРОВАННЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ**

*T.I. Khalturina, S.A. Kozlova,
O.V. Churbakova, S.G. Tretiyakov*

**THE OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF ELECTROCOAGULATIVE
PROCESSING OF THE SEWAGE CONTAINING THE EMULSIFIED OIL PRODUCTS**

Халтурина Т.И. – канд. хим. наук, проф. каф. инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: THal1965@yandex.ru

Khalturina T.I. – Cand. Chem. Sci., Prof., Chair of Engineering Systems of Buildings and Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: THal1965@yandex.ru

Козлова С.А. – магистрант каф. инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: svetlanakozlovaa@mail.ru

Чурбакова О.В. – канд. техн. наук, доц. каф. инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности Политехнического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: ochurbacova@mail.ru

Третьяков С.Г. – гл. теплотехник ООО «Красноярский металлургический завод», г. Красноярск. E-mail: tsq@kramz.rusal.ru

Kozlova S.A. – Magistrate Student, Chair of Engineering Systems of Buildings and Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: svetlanakozlovaa@mail.ru

Churbakova O.V. – Cand. Techn.Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Ecology and Health and Safety, Polytechnic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: ochurbacova@mail.ru

Tretiyakov S.G. – Chief Heating Engineer, JSC 'Krasnoyarsk Metallurgical Plant', Krasnoyarsk. E-mail: tsq@kramz.rusal.ru

Статья посвящена актуальной проблеме снижения техногенного воздействия на окружающую среду. Показаны данные экспериментальных исследований по изучению электрообработки постоянным током нефтесодержащих сточных вод заводов тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. Цель исследования: получение математической модели электрокоагуляции нефтесодержащих сточных вод и изучение состава осадка для последующей утилизации. Определение концентрации нефтепродуктов проводили с использованием концентратомера КН-2. Анализ химического состава осадка был изучен термогравиметрическим методом на приборе NETZSCHSTA 449F1. В работе были применены методы ротатбельного планирования эксперимента. Установлено, что наибольшее влияние на процесс обезвреживания оказывает величина плотности тока, которая определяет кинетику растворения анода и производительность. Была проведена оптимизация процесса по уравнениям регрессии для получения регулировочных диаграмм. Построение графиков поверхностей и регулировочных диаграмм исследуемых функций было сделано в программе Mathcad. Результаты исследований при планировании эксперимента по методу Бокса-Хантера позволили определить оптимальные режимы электрокоагуляционной обработки нефтесодержащих сточных вод: плотность тока 3,58–45 А/м²; производительность составляет 0,9–3,5 дм³/мин. Изучен состав осадка термогравиметрическим методом на приборе NETZSCHSTA 449F1 в режиме ДСК-ТГ, в атмосфере А₂, в диапазоне 30/20.0

(К/мин)/1000 для разработки технологии его утилизации.

Ключевые слова: нефтепродукты, сточные воды, электрокоагуляция, планирование эксперимента, оптимизация, регулировочные диаграммы, осадок, термогравиметрический анализ.

The study is devoted to actual problem of decreasing technogenic impact on the environment. The data of pilot studies on electroprocessing studying are shown by a direct current of oil-containing sewage of plants of tractor and agricultural mechanical engineering. The research objective was the receiving mathematical model of electrocoagulation of oil-containing sewage and studying of structure of a deposit for the subsequent utilization. The determination of concentration of oil products was carried out with use of a concentrator of KN-2. The analysis of chemical composition of the deposit was studied by a thermogravimetric method on NETZSCHSTA 449F1 device. In the study the methods of rotatable planning of experiment were applied. It was established that the current density size defining the kinetics of dissolution of the anode and productivity had the greatest impact on the process of neutralization. The optimization of the process on the regression equations for obtaining adjusting charts was performed. The creation of schedules of surfaces and adjusting charts of the studied functions was made in the Mathcad program. The results of researches when planning experiment allowed determining the optimum modes of electrocoagulative processing of oil-containing sewage by the method of Box-Hunter: the density of the current 3.58–45 A/m²; productivi-

ty made 0.9–3.5 dm³/min. The structure of the sludge by thermogravimetric method on NETZSCHSTA 449F1 device in DSK-TG mode, in the atmosphere of AZ, in the range of 30/20.0 (To / mines)/1000 for development of technology of its utilization was studied.

Keywords: oil products, sewage, electrocoagulation, experiment planning, optimization, adjusting charts, sludge, thermogravimetric analysis.

Введение. На заводах тракторного и сельскохозяйственного машиностроения в технологическом процессе образуются нефтесодержащие сточные воды [1]. Из анализа литературных источников и патентной документации по существующим технологиям очистки нефтесодержащих сточных вод следует, что выбор метода и схемы очистных сооружений зависит от состава, концентрации, объема стоков, требований к качеству очищенной воды при учете региональных условий [2].

Электрохимические технологии обезвреживания нефтестоков, содержащих тонкодисперсные коллоидные и растворенные примеси, имеют преимущества перед традиционными методами обработки воды, так как установки компактны, солевой состав очищенной воды не увеличивается и образуется меньшее количество осадка [3].

Сущность процесса электрокоагуляции заключается в генерации ионов металла на поверхности анода и их переход в объем раствора, которые затем образуют малорастворимые соединения, обладающие высокой сорбционной активностью [4, 5].

Цель исследования: получение математической модели электрокоагуляции нефтесодержащих сточных вод и изучение состава осадка с целью последующей утилизации.

Методы и результаты исследования. Исследование процесса электрообработки постоянным током нефтесодержащих стоков проводилось в динамических условиях в электрокоагуляторе объемом 300 мл с алюминиевыми электродами, поверхность которых составляла 3,66 дм², при расстоянии между ними 10 мм. Определение концентрации нефтепродуктов проводили с использованием концентратомера КН-2, принцип действия которого основан на спектрофотометрическом определении уровня поглощения нефтепродуктами в инфракрасном спектре. Анализ химического состава осадка был изучен термогравиметрическим методом на приборе NETZSCHSTA 449F1. Проведение планового эксперимента по методу Бокса-Хантера позволило оценить не только влияние отдельных факторов, но и степень их взаимодействия. Основой данного метода являлось составление ротатабельного плана второго порядка, на основании которого выходная величина всегда равно удалена от центра [6].

В качестве варьируемых факторов были приняты следующие: x_1 – начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм³; x_2 – плотность тока, А/м²; x_3 – производительность, дм³/мин.

Оценочными критериями являлись: y_1 – остаточное содержание нефтепродуктов, мг/дм³; y_2 – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/дм³.

Основной уровень, интервалы варьирования и границы области исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные уровни и их интервалы варьирования

Фактор	Шаг изменения, ΔX	X_0	+1,68	+1	-1	-1,68
X_1	300	700	1204	1000	400	196
X_2	15	30	55,2	45	15	3,68
X_3	1	2	4,8	3	1	0,32

В ходе математической обработки данных эксперимента в поле матричного планирования

были получены математические модели электрокоагуляции нефтесодержащих сточных вод:

$$Y_1 = 9,462 + 2,2 \cdot x_1 - 4,76 \cdot x_2 - 0,964 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2,096 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,926 \cdot x_3 \cdot x_1 + 0,747 \cdot x_2^2 - 1,28 \cdot x_3^2,$$

$$Y_2 = 3,735 + 4,16 \cdot x_2 - 3,226 \cdot x_3 - 0,23 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_3 \cdot x_1 + 0,559 \cdot x_2^2 + 1,408 \cdot x_3^2.$$

Статическая значимость отдельных параметров регрессионной модели, которые для значимости должны превышать минимальное значение на уровне значимости в 0,05 и числа степеней свободы 5, оценивалась при помощи критерия Стьюдента [6].

Оценка качества модели множественной регрессии, как в целом, так и отдельных параметров, являлась одной из ступеней данного исследования. Значимость регрессионной модели

в целом производилась при помощи критерия Фишера. На основе данной математической обработки установлено, что модель статически надежна.

Для оценки влияния варьируемых факторов на значение выходного параметра (отклика), уравнения регрессии были приведены к натуральному масштабу:

– для остаточной концентрации нефтепродуктов

$$Y_1 = 6,052 + 0,0264 \cdot Z_1 - 0,63 \cdot Z_2 + 5,4 \cdot Z_3 - 0,00021 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,14 \cdot Z_2 \cdot Z_3 - 0,0064 \cdot Z_3 \cdot Z_1 + 0,003 \cdot Z_2^2 - 1,28 \cdot Z_3^2,$$

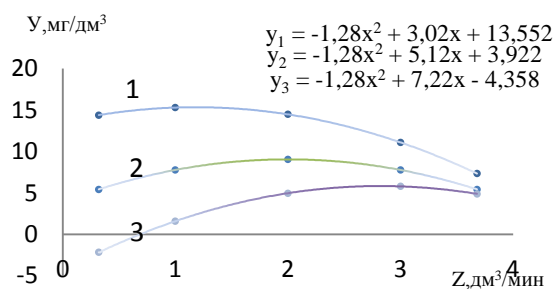
– для удельного расхода электроэнергии

$$Y_2 = 3,159 - 0,0018 \cdot Z_1 + 0,389 \cdot Z_2 - 5,558 \cdot Z_3 - 0,131 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 0,0009 \cdot Z_3 \cdot Z_1 + 0,0025 \cdot Z_2^2 + 1,408 \cdot Z_3^2.$$

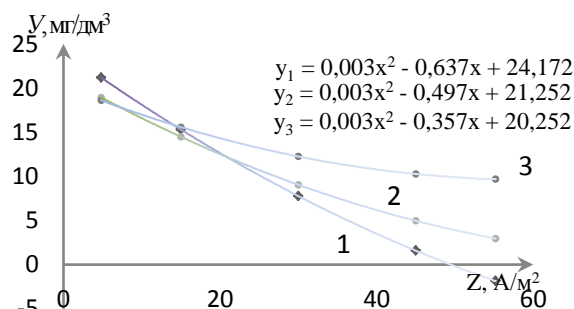
Математические модели электрокоагуляции нефтесодержащих сточных вод позволили установить, что наибольшее влияние на эффективность процесса оказывает величина плотно-

сти тока, определяющая кинетику растворения анодов.

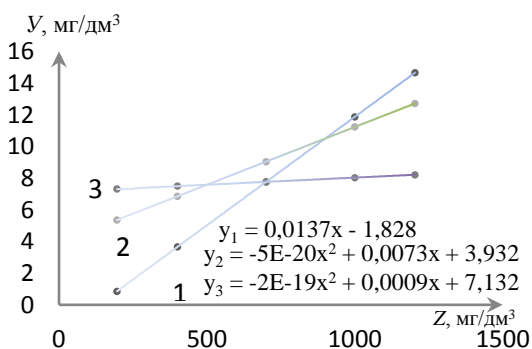
По уравнениям регрессии построены графические зависимости выходных параметров от варьируемых факторов (рис. 1).



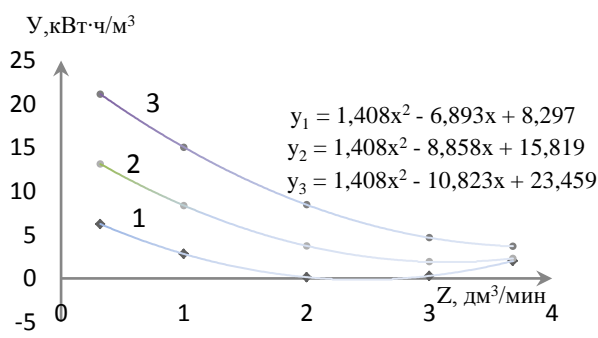
1 – при 15 А/м²; 2 – при 30 А/м²; 3 – при 45 А/м²



1 – 1 дм³/мин; 2 – 2 дм³/мин; 3 – 3 дм³/мин

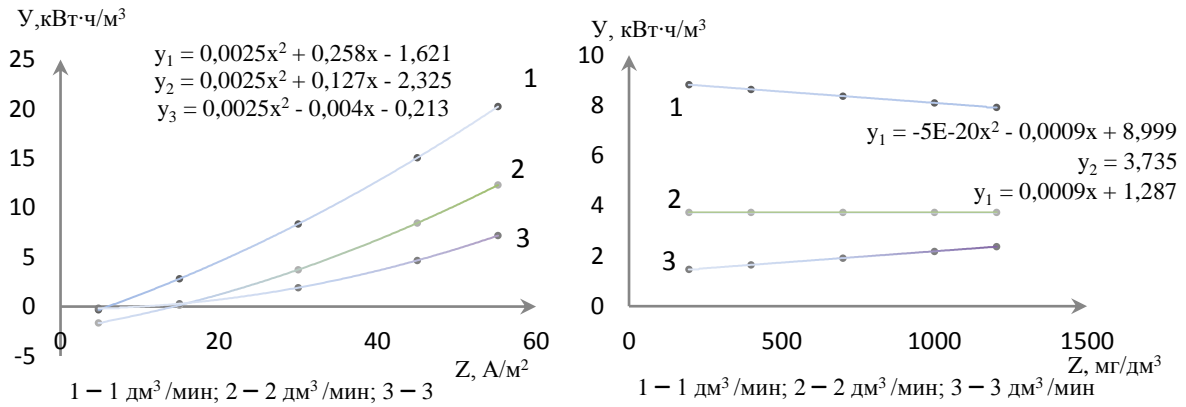


1 – 1 дм³/мин; 2 – 2 дм³/мин; 3 – 3 дм³/мин



1 – при 15 А/м²; 2 – при 30 А/м²; 3 – при 45 А/м²

Рис. 1. Зависимости параметров отклика от варьируемых факторов



Окончание рис. 1

Для определения оптимальных режимов процесса электрообработки была проведена оптимизация диссоциативно-шаговым методом, т. е. целенаправленный поиск оптимальных условий, которые одновременно удовлетворяют всем имеющимся откликам, что способствует контролю процесса электрообработки.

Графические интерпретации в виде поверхностей, а также регулировочные диаграммы,

построенные в программе «Mathcad», представляют собой взаимодействующие поверхности откликов (рис. 2). Поверхности, спроецированные на плоскость в виде взаимопересекающихся изолиний, образуют зоны, отвечающие за максимальный эффект очистки и рациональное использование электроэнергии, что позволяет минимизировать оценочные критерии и в перспективе способствовать автоматизации.

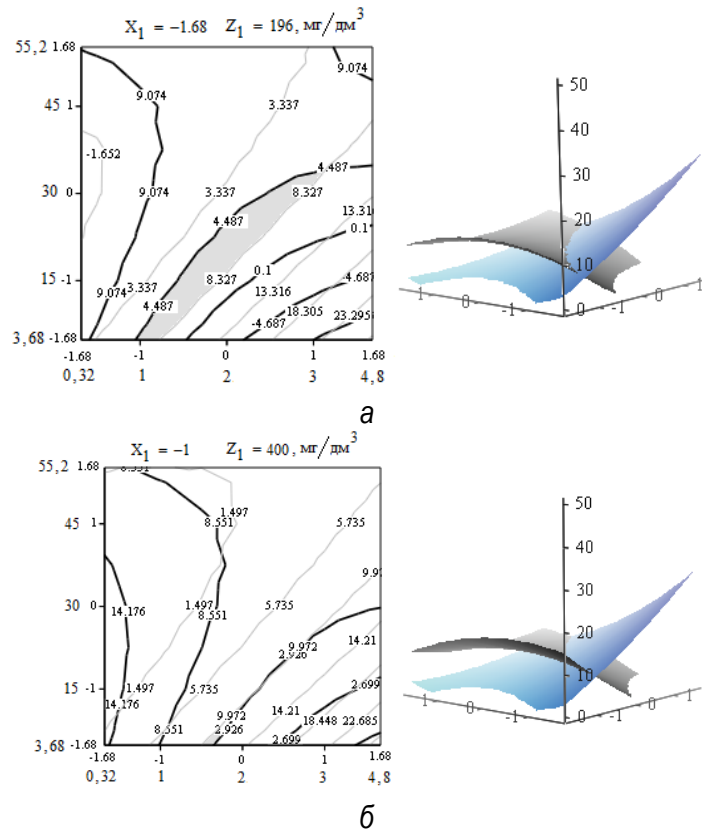
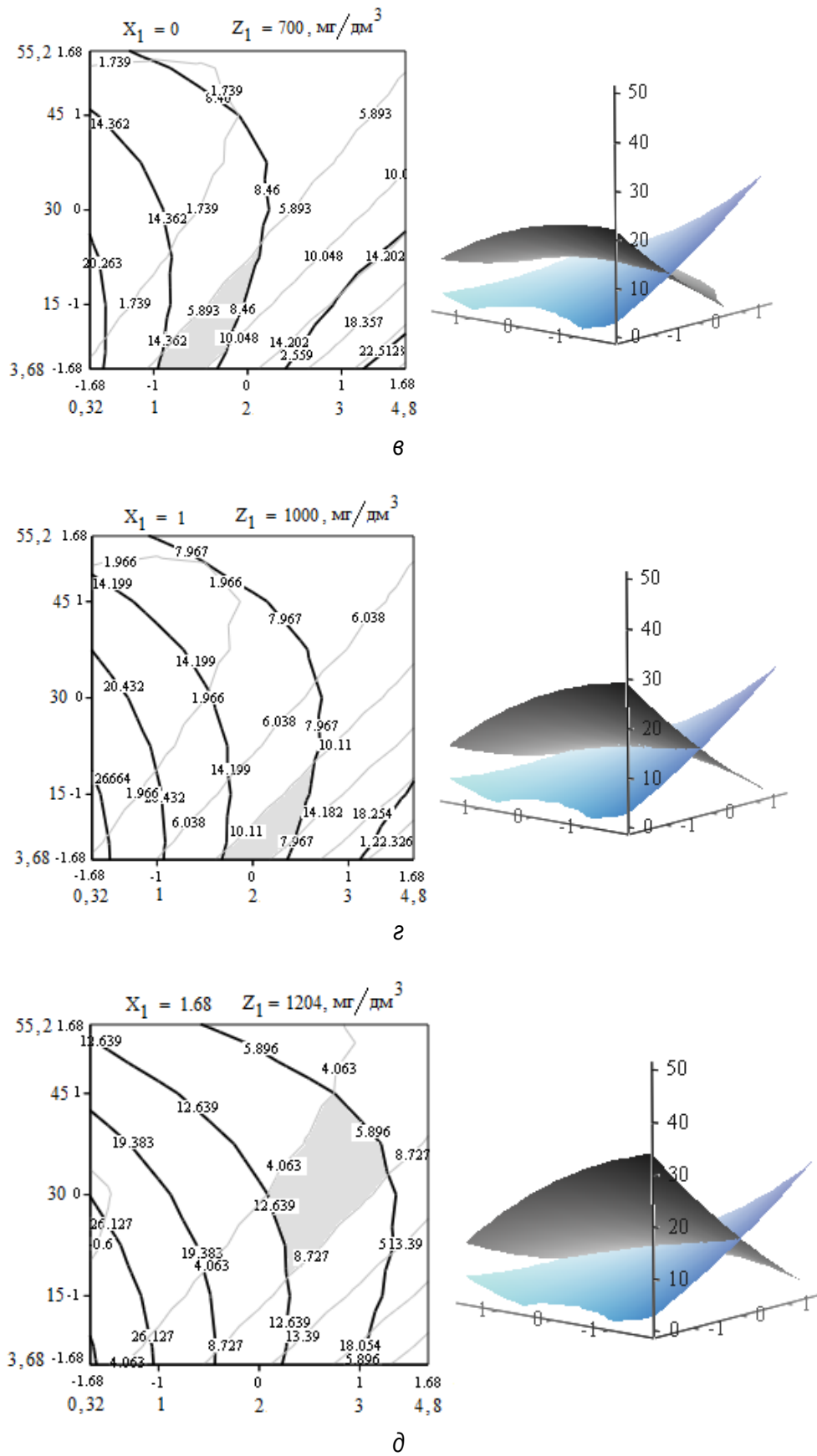


Рис. 2. Регулировочные диаграммы при исходной концентрации нефтепродуктов: а – 196 мг/дм³; б – 400 мг/дм³; в – 700 мг/дм³; г – 1000 мг/дм³; д – 1204 мг/дм³;



Окончание рис. 2

По полученным графикам определяются оптимальные режимы процесса обезвреживания в местах пересечения поверхностей, с наименьшими выходными параметрами: остаточной концентрацией нефтепродуктов и затрачиваемой электроэнергии. Оптимальные режимы электрокоагуляционной обработки: плотность тока – 3,68–45 А/м²; производительность составляет 0,9–3,5 дм³/мин.

Для изучения состава осадка нефтесодержащих сточных вод был проведен дифферен-

циально-термический анализ на приборе NETZSCH STA 449 F1, в диапазоне 30/20,0(к/мин)/1000. Термограмма осадка представлена на рисунке 3. Анализ кривой ДСК показывает, что на образце осадка наблюдается пик при следующей температуре: $t = 121,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ – эндоэффект объясняется дегидратацией; при $t = 302,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t = 434,6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ термоэффекты связаны с полиморфными превращениями оксигидратных форм алюминия; а при $t = 528,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ экзоэффект характерен для сгорания масел [7].

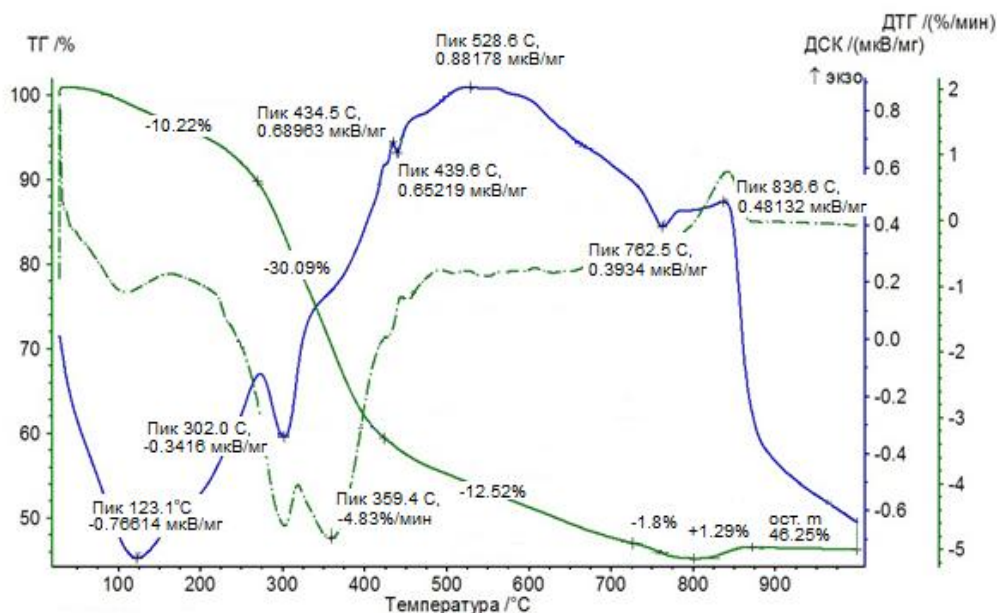


Рис. 3. Термограмма осадка нефтесодержащих сточных вод

Вывод. Результаты исследований при ротатбельном планировании эксперимента электрокоагуляции нефтесодержащих сточных вод и построении графических интерпретаций в виде поверхностей позволили определить оптимальные режимы электрообработки нефтесодержащих сточных вод: плотность тока – 3,68–45 А/м²; производительность составляет 0,9–3,5 дм³/мин. Данные по изучению состава осадка термогравиметрическим методом на приборе NETZSCH STA 449F1 в режиме ДСК-ТГ, в атмосфере A_2 , в диапазоне 30/20,0 (К/мин)/1000 будут использованы для разработки технологии его утилизации.

Литература

1. Урупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности // ВНИИ ВодГЕО. – М.: Стройиздат, 1978. – 590 с.
2. Руденко Т.М. Разработка эффективной технологии очистки сточных вод, содержащих нефтепродукты: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2008.
3. Халтурина Т.И., Руденко Т.М., Чурбакова О.В. Исследование технологии электрохимической обработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – № 8. – С. 56–60.
4. Пазенко Т.Я., Халтурина Т.И., Колова А.Ф. и др. Электрокоагуляционная обработка маслосодержащих сточных вод // Журнал прикладной химии. – 1985. – № 11. – С. 25–67.
5. Халтурина Т.И., Чурбакова О.В. К вопросу электрокоагуляционной очистки сточных

- вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты // Вестн. КрасГАУ. – 2016. – № 5. – С. 91–99.
6. *Батрак А.П.* Планирование и организация эксперимента: учеб. пособие. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2010. – 60 с.
7. *Иванова В.П., Касатов Б.П., Красавина Т.Н.* и др. Термический анализ минералов и горных пород. – М.: Недра, 1974. – С. 399.
3. *Halturina T.I., Rudenko T.M., Churbakova O.V.* Issledovanie tehnologii jelektrohimicheskoj obrabotki stochnyh vod, soderzhashhih jemul'girovannye nefteprodukty // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2008. – № 8. – S.56–60
4. *Pazenko T.Ja., Halturina T.I., Kolova A.F.* i dr. Jelektrokoaguljacionnaja obrabotka maslosoderzhashhih stochnyh vod // Zhurnal prikladnoj himii. – 1985. – № 11. – S. 25–67.
5. *Halturina T.I., Churbakova O.V.* K voprosu jelektrokoaguljacionnoj ochistki stochnyh vod, soderzhashhih jemul'girovannye nefteprodukty // Vestn. KrasGAU. – 2016. – № 5. S. 91–99.
6. *Batruk A.P.* Planirovanie i organizacija jeksperimenta: ucheb. posobie. – Krasnojarsk: Izd-vo SFU, 2010. – 60 s.
7. *Ivanova V.P., Kasatov B.P., Krasavina T.N.* i dr. Termicheskiy analiz mineralov i gornyh porod. – М.: Nedra, 1974. – S. 399.

Literatura

1. Ukrupnennye normy vodopotreblenija i vodootvedenija dlja razlichnyh otraslej promyshlennosti // VNII VodGEO. – М.: Strojizdat, 1978. – 590 s.
2. *Rudenko T.M.* Razrabotka jeffektivnoj tehnologii ochistki stochnyh vod, soderzhashhih nefteprodukty: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – Novosibirsk: Izd-vo NGASU, 2008.



УДК 631.636(075.8)

*Л.Г. Крючкова, С.М. Доценко,
А.В. Бурмага, С.А. Винокуров*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И РАЗДАЧИ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ СВИНОМАТКАМ

*L.G. Kryuchkova, S.M. Dotsenko,
A.V. Burmaga, S.A. Vinokurov*

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE PROCESSES OF PREPARATION AND DISTRIBUTION OF FODDER MIXES AMONG SOWS

Крючкова Л.Г. – канд. техн. наук, доц. каф. высшей математики Дальневосточного государственного аграрного университета, г. Благовещенск. E-mail: lyudmila0511@mail.ru

Доценко С.М. – д-р техн. наук, проф. каф. строительного производства и инженерных конструкций Дальневосточного государственного аграрного университета, г. Благовещенск. E-mail: lyudmila0511@mail.ru

Kryuchkova L.G. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Higher Mathematics, Far East State Agricultural University, Blagoveshchensk. E-mail: lyudmila0511@mail.ru

Dotsenko S.M. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Construction Production and Engineering Designs, Far East State Agricultural University, Blagoveshchensk. E-mail: lyudmila0511@mail.ru