

*Сатыбалдин А.Ж., Айтпаева З.К., Каримова А.Б., Рахимжанова Н.Ж., Булкайрова Г.А.*

**НЕФТИ ШЛАМДАРЫНЫН ФИЗИКАЛЫК-ХИМИЯЛЫК МҮНӨЗДӨМӨСҮНӨ  
ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСТУК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫН ТИЙГИЗГЕН  
ТААСИРИН ИЗИЛДӨӨ**

*Сатыбалдин А.Ж., Айтпаева З.К., Каримова А.Б., Рахимжанова Н.Ж., Булкайрова Г.А.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ**

*A.Zh. Satybaldin, Z.K. Aitpaeva, A.B. Karimova, N.Zh. Rakhimzhanova, G.A. Bulkayrova*

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ELECTROHYDROIMPULSE  
TECHNOLOGY ON PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF OIL SLUDGES**

УДК: 533.601

*Бул макала ар кандай факторлордун өз ара бири-бирине болгон таасирин эске алуу менен, тажрыйбанын ыктымалдуу - детерминалданган пландоо ыкмасын колдонуу аркылуу Жана-Озен нефти шламынын электрогидроимпульстук кайра иштетүү таасирин изилдөөгө арналат.*

*Кинематикалык илинчээктиктин чоңдугунун азайышына таасир этүүчү, нефтинин органикалык массасынын оор бөлүгүнүн деструкция процессинде Жана – Озен нефти шламынан 300°С чейин жеңил жана орто фракцияда чыгуусунун жогорулашына басымдуу факторлор болуп электрод ортосундагы аралык, иштеп чыгуунун узактыгы жана разряддык чымыркануу саналат.*

**Негизги сөздөр:** *электрогидроимпульстук технология, нефти шламы, кинематикалык илинчээктик, электрод ортосундагы аралык, чымыркануу.*

*Статья посвящена исследованию влияния электрогидроимпульсной обработки нефтяного шлама Жана-Озен с использованием метода вероятностно-детерминированного планирования эксперимента, в котором учитываются взаимное влияние различных факторов. Установлено, что доминирующими факторами, влияющими на уменьшение величины кинематической вязкости, увеличение выхода легкой и средней фракций до 300°С из нефтешлама Жана-Озен в процессе деструкции тяжелой части органической массы нефти, являются: межэлектродное расстояние, продолжительность обработки и разрядное напряжение.*

**Ключевые слова:** *электрогидроимпульсная технология, нефтешлам, кинематическая вязкость, межэлектродное расстояние, напряжение.*

*The article is devoted to the research of influence of electrohydroimpulse processing of Jean-Ozen oil slime with use of a method of the probable determined planning of an experiment in which are considered cross impact of different factors. It is set that the dominating factors which influence to the reduction of value of kinematic viscosity, increase in an output of easy and average fractions to 300 0C of Jean-Ozen's oil slime in the course of destruction of a heavy part of organic mass of oil are interelectrode distance, processing time and discharge voltage.*

**Key words:** *electrohydropulse technology, oil slime, kinematic viscosity, interelectrode distance, voltage.*

Современные методы переработки, утилизации нефтешламов и нефтесодержащего техногенного сырья недостаточно технологичны, энергоемки и требуют значительных капитальных вложений, поэ-

тому объемы утилизации отстают от объемов их образования и к уже накопленным объемам добавляются новые. Уровень загрязнения почв нефтепродуктами и нефтешламами к настоящему времени приблизился к 10 млн куб. метров. Кроме того, постоянно растет количество земель, загрязненных или поврежденных в результате различных аварий на газо- и нефтепроводах, заводах и других объектах [1].

Выбор способа переработки и обезвреживания нефтяных шламов зависит, в основном, от количества содержащихся в них нефтепродуктов и в каждом конкретном случае необходим дифференцированный подход с учетом как экологических, так и экономических показателей.

Существуют различные способы переработки нефтесодержащего техногенного сырья [2-7]:

- термические-сжигание в открытых амбарах, печах различных типов, получение битуминозных остатков;

- биологические-микробиологическое разложение в почве непосредственно в местах хранения, биотермическое разложение.

- физические - захоронение в специальных могильниках, разделение в центробежном поле, вакуумное фильтрование и фильтрование под давлением;

- физико-химические - применение специально подобранных реагентов, изменяющих физико-химические свойства, с последующей обработкой на специальном оборудовании;

- химические - экстрагирование с помощью растворителей, отвердевание с применением минеральных (цемент, жидкое стекло, глина) и органических (эпоксидные и полистирольные смолы, полиуретаны и др.) добавок [2-4].

Данные же по накоплению нефтешламов в Казахстане показывают, что их переработка не перекрывает объемы годового образования. Таким образом, необходимо не только найти технологии переработки, но и рекомендовать и адаптировать к каждому специфическому типу отходов свою особую технологию из многих существующих. Выбор осложняется еще и тем, что многие технологии можно применять к отдельным видам отходов, но ни

одна из них не удовлетворяет требованию универсальности и не может применяться ко всем типам загрязнений [8].

В связи с этим большой практический интерес представляет использование явления электрогидроимпульсной обработки в переработке нефтяных шламов [9].

Одним из видов комплексного экстремального воздействия является эффект электрогидравлического разряда, который сочетает в себе одновременное воздействие на вещество сильного механического сжатия, мощного ультразвука, жесткого рентгеновского, ультрафиолетового и инфракрасного - излучения. Образующиеся в процессе разряда электромагнитные поля также оказывают сильное влияние как на сам разряд, так и на ионные процессы, протекающие в окружающей его жидкости. Под их воздействием происходят разнообразные физические изменения и химические реакции в обрабатываемом материале [10].

Установлено, что на изменение величины кинематической вязкости и выход легкой и средней фракций из нефтяного шлама влияют следующие факторы: разрядное напряжение, время обработки, емкость конденсаторной батареи, межэлектродное расстояние ячейки обработки, влияние донора водорода [11].

Нами было исследовано влияние продолжительности электрогидроимпульсной обработки, межэлектродного расстояния в ячейке стендовой установки, емкости конденсаторной батареи и импульсного напряжения в стендовой установке на уменьшение кинематической вязкости нефти и увеличение выхода легкой и средней фракций из нефтяного шлама.

Объект исследования: нефтяной шлам Жана-Озен Мангыстауской области.

Для определения оптимальных условий и создания математической модели процесса обработки нефтяного шлама Жана-Озен с помощью электрогидроимпульсного воздействия нами были

проведены лабораторные исследования с использованием метода вероятностно-детерминированного планирования эксперимента, в котором учитываются взаимное влияние различных факторов [12-13].

Программа вероятностно-детерминированного планирования эксперимента создана по заказу д.т.н., профессора Беляева С.В. (ХМИ им. Абишева МОН РК). Автор программы – к.х.н., доцент Фомин В.Н. Для отображения математических формул используются модули ExprDraw и ExprMake, разработанные Григорьевым Антоном [14].

Исследуемые факторы и их уровни представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Изучаемые факторы и их уровни

Факторы	1	2	3	4	5
X <sub>1</sub> – время обработки, мин	1	2	3	4	1
X <sub>2</sub> – емкость конденсаторной батареи, мкФ	0,1	0,25	0,5	0,75	0,1
X <sub>3</sub> – межэлектродное расстояние	6	7	8	9	6
X <sub>4</sub> – объем добавленного катализатора, гр	2,17	4,34	6,51	8,68	2,17
X <sub>5</sub> – объем добавленного донора (спирт), мл	10	20	30	40	10

Так как зависимость выхода жидких продуктов из высоковязкой нефти от вышеуказанных факторов нелинейно, нами был использован метод математического планирования эксперимента, в основу которого положена нелинейная множественная корреляция. Переменные факторы варьировали на 5-ти уровнях. Матрица планирования эксперимента приведена в таблице 2. Каждая строка матрицы отвечает условиям проведения эксперимента, причем структура матрицы такова, что при проведении всех экспериментов уровень любого фактора встречается один раз с каждым уровнем всех факторов.

Таблица 2 - Матрица планирования эксперимента

	№ эксп.	X <sub>1</sub> , мин	X <sub>2</sub> , мкФ	X <sub>3</sub> , мм	X <sub>4</sub> , гр	X <sub>5</sub> , мл	Y <sub>1</sub> , эксп мм <sup>2</sup> /с	Y <sub>1</sub> , теор. мм <sup>2</sup> /с	Y <sub>2</sub> , эксп %	Y <sub>2</sub> , теор. %
I	1	1	0,1	6	2,17	10	6,49	6,4753	16,75	19,3513
	2	1	0,25	7	4,34	20	6,53	6,3652	35,43	27,5111
	3	1	0,5	8	6,51	30	5,71	5,8326	34,07	28,1789
	4	1	0,75	9	8,68	40	5,32	5,2757	23,51	25,8662
II	5	2	0,1	7	6,51	40	5,36	5,6627	18,35	21,9999
	6	2	0,25	6	8,68	30	5,96	6,0648	44,92	27,0224
	7	2	0,5	9	2,17	20	5,72	5,553	20,79	22,2943
	8	2	0,75	8	4,34	10	5,12	4,8923	24,08	21,8885
III	9	3	0,1	8	8,68	20	6,22	5,9686	28,21	29,6722
	10	3	0,25	9	6,51	10	4,67	5,2587	40,54	23,9503
	11	3	0,5	6	4,34	40	5,91	5,3391	19,78	26,6007
	12	3	0,75	7	2,17	30	5,01	5,2556	19,98	27,2807
IV	13	4	0,1	9	4,34	30	6,23	5,9072	22,9	33,4732
	14	4	0,25	8	2,17	40	5,08	5,2635	52,35	28,1584
	15	4	0,5	7	8,68	10	5,4	5,1711	25,36	33,5923
	16	4	0,75	6	6,51	20	5,36	5,7338	47,99	39,8488

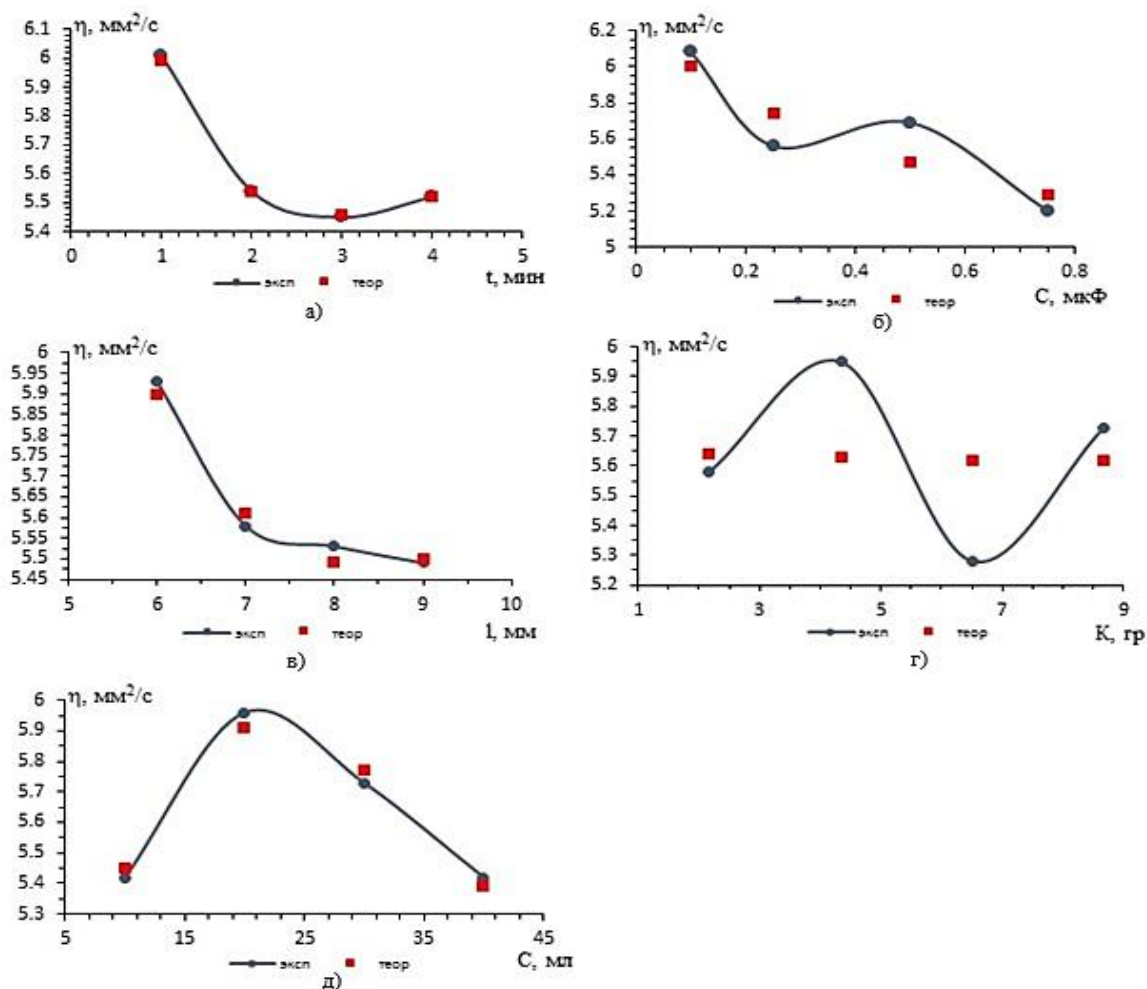
В колонке  $Y_{1эксп}$  и  $Y_{2эксп}$  представлены результаты всех экспериментов по определению величины кинематической вязкости нефтяного шлама Жана-Озен, которая предварительно обработана с помощью электрогидроимпульсного эффекта (ЭГЭ)  $Y_{1эксп}$ , и выход фракции до 300<sup>0</sup>С из нефтешлама  $Y_{2эксп}$ , расчетная величина кинематической вязкости фракции до 300<sup>0</sup>С, а  $Y_{1теор}$  и  $Y_{2теор}$  расчетные значения выхода легкой и средней фракции до 300<sup>0</sup>С на основе обобщенного уравнения Протодяконова – Малышева. Матрица планирования эксперимента по предварительной обработке нефтешлама с помощью электрогидроимпульсного воздействия приведена в таблице 2.

Если интервал изменения функций не выходит за пределы допустимого разброса или доверительного интервала, то функции значимы. Поэтому каждую из функций проверяли на значимость, используя коэффициент нелинейной множественной корреляции (1) R и значимость  $t_R$  (2) этого коэффициента:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1) \sum_1^N (Y_{эксп} - Y_{теор})^2}{(N-K-1) \sum_1^N (Y_{эксп} - Y_{сред})^2}} > 0,66 \quad (1)$$

$$t_R = \frac{R \sqrt{n-k-1}}{1-R^2} > 2, \quad (2)$$

где R – коэффициент множественной корреляции; N – число описываемых точек; K - число действующих факторов;  $Y_{эксп}$  - экспериментальный результат;  $Y_{теор}$  - теоретически результат;  $Y_{сред}$  - среднее экспериментальное значение.



**Рисунок 1** (a, b, c, d, e) – Частные зависимости уменьшения кинематической вязкости легкой и средней фракций до 300 <sup>0</sup>С: X<sub>1</sub> - от продолжительности обработки, X<sub>2</sub> - от емкости конденсаторной батареи, X<sub>3</sub> - от межэлектродного расстояния, X<sub>4</sub> - от расхода добавленного катализатора, X<sub>5</sub> - от расхода добавленного донора водорода (спирт)

Для математического описания графической зависимости от различных факторов использовали метод наименьших квадратов. Значения частных функций и расчетные значения частных функций изменения величины кинематической вязкости и выхода фракции до 300°C соответственно для каждого фактора приведены в таблицах 3 - 6.

Таблица 3 - Теоретические и экспериментальные значения частных функций для кинематической вязкости

Функция		Уровни				Ср. знач.
		1	2	3	4	
$Y_1 = 5.562e^{0.07791X_1} X_1^{-0.2306}$	теор.	5.99	5.54	5.46	5.52	5.62
	эксп.	6.01	5.54	5.45	5.52	5.63
$Y_2 = 5.519e^{-0.07282X_2} X_2^{-0.04089}$	теор.	6.00	5.74	5.47	5.29	5.62
	эксп.	6.08	5.56	5.69	5.20	5.63
$Y_3 = 29.69e^{0.1777X_3} X_3^{-1.495}$	теор.	5.90	5.61	5.49	5.5	5.63
	эксп.	5.93	5.58	5.53	5.49	5.63
$Y_4 = 5.619 + \frac{0.05041}{X_4}$	теор.	5.64	5.63	5.62	5.62	5.63
	эксп.	5.58	5.95	5.28	5.73	5.63
$Y_5 = 2.695e^{-0.01783X_5} X_5^{0.3816}$	теор.	5.45	5.91	5.78	5.39	5.63
	эксп.	5.42	5.96	5.73	5.42	5.63

Таблица 4 – Теоретические и экспериментальные значения частных функций выхода фракций до 300°C

Функция		Уровни				Ср. знач.
		1	2	3	4	
$Y_1 = 18.2e^{0.4228X_1} X_1^{-0.7264}$	теор.	25.23	23.30	26.88	33.77	27.29
	эксп.	27.44	27.04	27.13	37.15	29.69
$Y_2 = \frac{1}{0.0381 - 0.005184X_2}$	теор.	26.12	26.66	27.67	28.72	27.29
	эксп.	21.55	43.31	25	28.89	29.69
$Y_3 = \frac{1}{0.02893 + 0.000717X_3}$	теор.	28.21	27.6	26.97	26.4	27.29
	эксп.	32.36	24.78	34.68	26.94	29.69
$Y_4 = 33.13 - \frac{14.35}{X_4}$	теор.	24.27	27.37	28.49	29.04	27.29
	эксп.	27.47	25.55	35.24	30.5	29.69
$Y_5 = 6.814e^{-0.03246X_5} X_5^{0.7362}$	теор.	24.7	29.83	28.99	28.66	27.29
	эксп.	26.68	33.11	30.47	28.5	29.69

Таблица 5 – Коэффициент корреляции R для частных функций и его значимость tr

Функция	R	tr	Значимость функции
Y <sub>1</sub>	1.00	1.10 < 2	Значимая
Y <sub>2</sub>	0.82	3.52 > 2	Значимая
Y <sub>3</sub>	0.98	32.23 > 2	Значимая
Y <sub>4</sub>	0,58	1,22 < 2	Значимая
Y <sub>5</sub>	0,98	39.6 > 2	Не значимая

Таблица 6 – Коэффициент корреляции R для частных функции при выходе светлых фракции до 300 °C и его значимость tr.

Функция	R	tr	Значимость функции
Y <sub>1</sub>	0.92	8.89 > 2	Значимая
Y <sub>2</sub>	0.62	1.42 < 2	Значимая
Y <sub>3</sub>	0.57	1.19 < 2	Не значимая
Y <sub>4</sub>	0.28	0.43 < 2	Не значимая
Y <sub>5</sub>	0.94	11.06 > 2	Значимая

В качестве функции отклика влияния электрогидроимпульсного воздействия нами принята величина уменьшения кинематической вязкости гидрогенизата и выхода фракции до 300°C. Математическая модель процесса обработки тяжелой нефти с помощью электрогидроимпульсного воздействия составлена на основе формулы Протодьяконова – Малышева:

Реализованный в этих условиях эксперимент дает хорошее совпадение с теоретически рассчитанной величиной уменьшения кинематической вязкости гидрогенизата и выхода фракции до 300°C из гидрогенизата обработанной нефти.

Таким образом, нами установлено, что доминирующими факторами, влияющими на уменьшение величины кинематической вязкости, увеличение выхода легкой и средней фракций до 300 °C из нефтешлама Жана-Озен в процессе деструкции тяжелой части органической массы нефти, являются: межэлектродное расстояние, продолжительность обработки и разрядное напряжение. Оптимальные условия проведения процесса деструкции нефтяного шлама Жана-Озен с помощью электрогидроимпульсной обработки: X<sub>1</sub> - продолжительность обработки 4 – 8 минут, X<sub>2</sub> – емкость конденсаторной

батареи  $C = 0,1$  мкФ,  $X_4$  – межэлектродное расстояние  $L = 4 - 8$  мм,  $X_4$  – количество добавляемого донора (катализатора) – 6,51 гр.,  $X_5$  – количество добавляемого спирта – 10 – 30 мл на кг исходного сырья.

Полученные результаты по исследованию группового и индивидуального состава гидрогенизатов из нефтяного шлама Жана-Озен позволяют нам утверждать, что электрогидроимпульсная обработка не только увеличивает скорость реакции деструкции тяжелой части нефтяного шлама Жана-Озен в присутствии каталитических добавок, но также параллельно катализирует реакции гидрирования и гидрогенолиза.

#### Литература:

1. Бочаров В.С. Надиров Н.К. Кривцов И.П. и др. Нефтебитуминозные породы // Техника и технология добычи и транспортирования. Алма-Ата. 1987. 200 с.
2. Мазлова Е.А., Меньшикова И.А. Шламовые отходы нефтегазовых компаний // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 1. С. 22-21.
3. Крупец В.И. Усов А.Ф. Цукерман В.А. Электрогидроимпульсная дезинтеграция материалов // Кольского научного центра РАН. М.: Изд. Наука. 2002.–324 с.
4. Самарина О.А. Совершенствование технологии обработки высококонцентрированных сточных вод накопителей нефтехимических предприятий: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.23.04. – Пенза, 2011. 20 с.
5. Цзин Голин, Луань Минмин, Чень Тинтин. Перспективы развития процессов переработки нефтешламов // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 4. С. 44-54.
6. Фердман В.М. Комплексная технология утилизации нефтешламов и ликвидация нефтешламовых амбаров в промышленных условиях: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 03.00.16. Уфа, 2002. 24 с.
7. Мхитаров Р.А. Технологии и оборудование для переработки отходов нефтепереработки, нефтешламов и загрязненных углеводородами грунтов // Нефть. Газ. Новации. 2013. №10. С. 72-76.
8. Надиров Н.К. Высоковязкие нефти и природные битумы. Добыча. Подготовка. Транспортировка. – Алматы: Гылым, 2001.– Т. 2.- 344 с.
9. Кусаинов К., Сатыбалдин А.Ж., Булкаирова Г.А., Саденова К.К., Сагимбекова М.Н. Электрогидроимпульсная установка для обработки нефтесодержащего техногенного сырья // Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент: матер. 9-й междунар. науч. конф., посв. 90-летию академика Е.А.Букетова. Караганда, 2015. С. 262-266.
10. Kussaiynov K., Satybalidin A.ZH., Sadenova K.K., Sagimbekova M.N. Electrohydropulse technology of processing oil slimes and oil-containing technogenic raw materials // Eurasian Physical Technical Journal. 2015. №1 (23). С. 65 – 70.
11. Кусаинов К.К., Сатыбалдин А.Ж., Саденова К.К., Сагимбекова М.Н., Кажыгали Д.А.. Использование электрогидроимпульсной технологии для улучшения физико-химических характеристик нефтяного шлама Атасу-Алашанькоу // Вестник Карагандинского университета. Серия физика. 2016. № 1 (81). С. 46-51.
12. Сатыбалдин А.Ж., Байкенов М.И., Танашева Н.К., Есимбек М., Саденова К.К., Булкаирова Г.А. Исследование влияния электрогидроимпульсных ударных волн на реологические свойства нефтяного шлама образовавшегося на поверхности нефтепровода Атасу-Алашанькоу // Сборник статей по материалам LVIII международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике». Новосибирск, 2016. № 5 (53). С. 82-89.
13. Сатыбалдин А.Ж., Кажыгали Д.А., Сагимбекова М.Н. Влияние электрогидроимпульсного воздействия на физико-химическую структуру нефтешламов и нефтесодержащего техногенного сырья // Материалы региональной научно-практической конференции магистрантов и студентов «Букетовские чтения-2016». Караганда, 2016. С. 147-150.
14. Fomin V.N., Dik A.V. Using one-way analysis of variance in the stochastic determined design of experiment // Вестник Карагандинского университета. Серия химия. 2015. № 2 (78). С. 13-17.

Рецензент: к.х.н., профессор Сагындыков Ж.С.