

# Разработка технологии регенерации некондиционных эмульсионных полуфабрикатов промышленных взрывчатых веществ

С.Ю. Панфилов<sup>1</sup>✉, Г.А. Дудник<sup>1</sup>, В.А. Тихонов<sup>1</sup>, С.С. Назаров<sup>1</sup>, Н.О. Мельников<sup>2</sup>, Н.И. Акинин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Российская Федерация

✉ s.panfilov@azottech.ru

**Резюме:** Исследование направлено на совершенствование технологий производства и применения в горной промышленности энергоемких эмульсий на основе концентрированных растворов неорганических солей (нитратов), представляющих собой дисперсии второго рода типа «вода в масле». Ежегодно при добыче полезных ископаемых открытые и подземные предприятия расходуют около 1,15 млн т промышленных эмульсионных взрывчатых веществ (ПЭВВ), из которых наибольшую долю составляют так называемые безоболочные льющиеся виды. При производстве эмульсионной матрицы возможно образование некондиционной, то есть не соответствующей нормативно-технической документации эмульсии. Ориентировочно объем таких отходов производства может достигать 57,5 тыс. т в год. Поэтому вопросы регенерации некондиционных эмульсионных полуфабрикатов промышленных взрывчатых веществ в исходные продукты для повторного их использования имеют не только научно-технический интерес, но и большое экономическое и экологическое значение. Целью настоящего исследования сотрудников ООО «АЗОТТЕХ» совместно с Российским химико-технологическим университетом им. Д.И. Менделеева является разработка способа и промышленной технологии утилизации отходов эмульсионных производств для вторичного использования регенератов в производстве. По результатам проведенной научно-исследовательской работы получен химический способ контролируемого разрушения эмульсии. Выбран наиболее эффективный деэмульгатор, доступный на российском рынке, при помощи которого удалось разделить эмульсию на несмешивающиеся фазы, содержащие исходные компоненты. С применением регенератов масляной фазы и раствора окислителя получены лабораторные образцы стабильной эмульсионной матрицы, соответствующей по показателям качества нормативным документам.

**Ключевые слова:** промышленные эмульсионные взрывчатые вещества, регенерация некондиционных эмульсий, деэмульгирование, технология регенерации, энергоёмкие эмульсии, производство эмульсионных взрывчатых веществ

**Для цитирования:** Панфилов С.Ю., Дудник Г.А., Тихонов В.А., Назаров С.С., Мельников Н.О., Н.И. Акинин Разработка технологии регенерации некондиционных эмульсионных полуфабрикатов промышленных взрывчатых веществ. *Горная промышленность*. 2024;(2):57–62. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-57-62>

## Development of a method to reclaim off-grade emulsion semi-finished products of industrial explosives

S.Yu. Panfilov<sup>1</sup>✉, G.A. Dudnik<sup>1</sup>, V.A. Tikhonov<sup>1</sup>, S.S. Nazarov<sup>1</sup>, N.O. Melnikov<sup>2</sup>, N.I. Akinin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation

✉ s.panfilov@azottech.ru

**Abstract:** TheThe research is aimed at improving the methods to produce and apply in the mining industry energy-intensive emulsions based on concentrated solutions of inorganic salts (nitrates), which are second-class dispersions of the "Water-in-Oil" type. Every year when mining useful minerals, surface and underground operations consume about 1.15 million tonnes of industrial emulsion explosives (IEE), the largest share of which are the so-called caseless pouring types. When the emulsion matrix is produced, it is possible that off-grade emulsion, i.e. emulsion that does not meet the requirements of the relevant normative and technical documentation, may also be generated. Tentatively, the volume of such production waste may reach 57.5 thousand tonnes per year. Therefore, the issues of reclaiming the off-grade emulsion semi-finished products of industrial explosives into initial products for their reuse is not only of scientific and technical interest, but also of great economic and ecological importance. The objective of this study, performed by employees of AZOTTECH LLC in cooperation with the D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, is the development of a method and industrial technology to recycle emulsion production wastes for re-use of the reclaimed materials in production. A chemical method of controlled emulsion destruction was obtained based

on the results of the performed research activities. The most effective demulsifier available in the Russian market was selected, by means of which it was possible to separate the emulsion into immiscible phases containing the initial components. Samples of the stable emulsion matrix that match the requirements of the normative documents in terms of quality, were obtained using the oil phase reclaimed materials and the oxidant solution.

**Keywords:** industrial emulsion explosives, reclamation of off-grade emulsions, demulsification, reclamation technology, energy-intensive emulsions, production of emulsion explosives

**For citation:** Panfilov S.Yu., Dudnik G.A., Tikhonov V.A., Nazarov S.S., Melnikov N.O., Akinin N.I. Development of a method to reclaim off-grade emulsion semi-finished products of industrial explosives. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):57–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-57-62>

## Введение

В Российской Федерации ежегодно при добыче полезных ископаемых открытые и подземные предприятия расходуют около 1,15 млн т промышленных эмульсионных взрывчатых веществ (ПЭВВ)<sup>1</sup>, из которых наибольшую долю составляют так называемые безоболочные льющисья виды.

ПЭВВ изготавливаются на местах применения в процессе зарядания взрывных скважин смесительно-зарядными машинами на основе эмульсионной матрицы (полуфабриката), изготавливаемой в производственных условиях и представляющей собой эмульсию второго рода (обратная эмульсия – «вода в масле»), в которой водный раствор аммиачной селитры (дисперсная фаза) диспергирован в смеси нефтепродуктов и эмульгаторов. При производстве эмульсионной матрицы возможно образование некондиционной, то есть не соответствующей нормативно-технической документации эмульсии. Это связано с природой образования эмульсий «вода в масле», так как они метастабильны и склонны к саморазрушению. Ориентировочно объем таких отходов производства может достигать 5% [1], что составляет 57,5 тыс. т в год.

В российской нормативно-правовой базе такие отходы определены приказом Росприроднадзора №242 от 22.05.2017 как «отходы эмульсии диспергирования раствора аммиачной и натриевой селитр в индустриальном масле» и подлежат утилизации<sup>2</sup>. Законодательно закреплена только утилизация уже сенсублизированной эмульсий, которые являются ПЭВВ<sup>3</sup>. Утилизация самой эмульсионной матрицы не прописана и осуществляется изготовителем по принятым внутренним документам. При этом сама по себе утилизация таких отходов является трудоемким и затратным процессом и зачастую проходит с соответствующим сбросом в окружающую среду или взрыванием на полигоне, что увеличивает экологическую нагрузку.

Анализ литературных данных и мирового опыта в данном направлении показывает, что, например, в Китае, являющемся мировым лидером по производству и потреблению ПЭВВ, вопросам утилизации уделено большое внимание. Стандарт WJ/T 9095-2018 «Утилизация неконди-

ционной продукции и отходов эмульсионных взрывчатых веществ. Технические условия по безопасности<sup>4</sup>, принятый Департаментом безопасности производства Министерства промышленности и информационных технологий Китайской Народной Республики, описывает требования по утилизации не только сенсублизированной эмульсии, но и некондиционного эмульсионного продукта и отходов производства. Помимо этого, в стандарте предусмотрена вторичная переработка некондиционной эмульсионной матрицы.

Поэтому вопросы регенерации некондиционных эмульсионных полуфабрикатов промышленных взрывчатых веществ в исходные продукты для повторного их использования имеют не только научно-технический интерес, но и большое экономическое и экологическое значение.

## Результаты и обсуждение

### Теоретическая часть

Некондиционная эмульсия может образовываться вследствие ошибок технологического процесса производства из-за использования некачественного сырья и из-за свойств самой эмульсионной системы [2; 3]. ПЭВВ, как эмульсия второго рода «вода в масле», представляет собой метастабильную систему, где капли концентрированного раствора аммиачной селитры (или других солей азотной кислоты) в качестве дисперсной фазы распределены в непрерывной топливной фазе, содержащей растворенные в нефтепродуктах поверхностно-активные вещества (ПАВ). Учитывая высокую степень диспергирования эмульсий для ПЭВВ, они имеют большую поверхность контакта фаз, что приводит к увеличению свободной энергии поверхностного натяжения фаз и, соответственно, уменьшению стабильности системы. Несмотря на использование ПАВ и добавок, повышающих стабильность, в эмульсиях всегда происходят процессы деструкции – коалесценции и флокуляции, которые со временем приводят к полному разрушению эмульсии [2–6]. Как правило, время разрушения эмульсии превышает время, которое требуется для ее использования по назначению. Однако при определенных условиях эти процессы значительно ускоряются и происходит образование полностью или частично разрушенной эмульсии, которая не соответствует требованиям для дальнейшего использования.

Некондиционные эмульсионные полуфабрикаты могут быть регенерированы путём извлечения исходных компонентов: раствора окислителя (водного раствора аммиачной селитры или ее смеси с нитратами натрия/кальция) и

1 Годовой отчет «О деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2021 году». Режим доступа: <https://www.gospnadzor.ru> (дата обращения: 20.04.2023).

2 Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов: Приказ Росприроднадзора №242 от 22 мая 2017 г. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201706130004> (дата обращения 21.04.2023).

3 ФНП в области промышленной безопасности. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения»: Приказ Ростехнадзора №494 от 3 декабря 2020 г. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012280020> (дата обращения 21.04.2023).

4 WJ/T 9095-2018. Safety Technical Conditions for Disposal of Unqualified Emulsion Explosives and Waste Materials.

топливного раствора с эмульгатором, их очистки и последующего возвращения в технологический процесс получения эмульсионной матрицы. Таким образом, вторичная переработка регенератов может либо полностью исключить, либо значительно сократить образование отходов производства компонентов ПЭВВ.

Литературный обзор и патентный поиск по теме регенерации отходов производства компонентов ПЭВВ показывает, что существуют различные методы ускоренного разрушения эмульсий на основе аммиачной селитры. К ним можно отнести электрические способы [7–9], ультразвуковое разложение [10], разрушение эмульсии с помощью химических реагентов [11]. Существует ряд исследований по определению способности различных деэмульгаторов быстро разрушать некондиционную эмульсию и разделять ее на компоненты [12; 13]. Также в работах [14–16] представлены некоторые способы и аппараты, позволяющие проводить деэмульгирование.

Анализ показал, что в настоящее время в России отсутствуют готовые эффективные и применяемые на практике технические и технологические решения по регенерации некондиционных эмульсионных матриц, поэтому целью настоящей работы ООО «АЗОТТЕХ» совместно с РХТУ им. Д.И. Менделеева является проведение научных исследований, разработка способа и промышленной технологии утилизации отходов эмульсионных производств для вторичного использования регенератов в производстве.

В результате рассматриваемой работы могут быть решены вопросы, связанные с возможной экономией сырьевых ресурсов за счет переработки эмульсионных отходов, извлечением исходных компонентов, в частности для использования во вторичном производстве полуфабрикатов ПЭВВ, и предотвращением сбросов вредных концентратов, содержащих неорганические соли (нитраты) и нефтепродукты, в окружающую среду.

#### Экспериментальная часть

Первоначально был разработан способ контролируемого разрушения эмульсионной матрицы. Исследования проводились на образцах эмульсии «Березит®» марки СБ1, приготовленной в лабораторных условиях в соответствии с ТУ 2241-002-431204295932–2010<sup>5</sup>.

Разрушение эмульсионной матрицы проводили при нагревании до 50 °С и смешении с различными деэмульгирующими веществами в различных пропорциях и дальнейшем выдерживании полученной смеси до полного разрушения эмульсии.

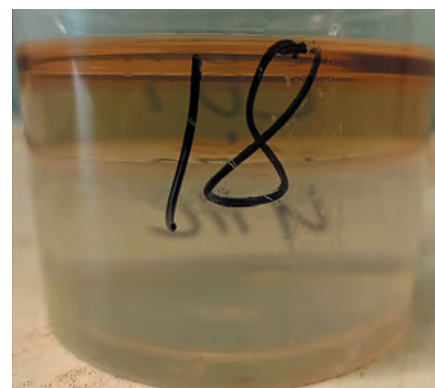
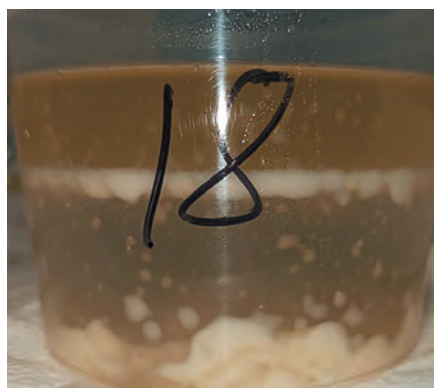
На рис. 1 представлен внешний вид исходной эмульсионной матрицы, а также результаты процесса деэмульгирования. Видно, что в образце произошло полное разрушение эмульсии. Образовались две несмешивающиеся фазы: смесь масляной фракции сверху и водный раствор аммиачной селитры.

Дальнейшее разделение образовавшихся несмешивающихся фаз проводили при помощи делительной воронки. Очистка полученных регенератов от деэмульгатора проводилась различными способами в зависимости от используемого вещества: фильтрование, перегонка и др. На основании аналитического контроля состава очищенных образцов был выбран деэмульгатор, который полностью удаляется из регенератов.

С добавлением в количестве 5, 10 и 20 масс. % полученных регенератов раствора окислителя (РО) и масляной фазы (МФ) были изготовлены новые эмульсионные матрицы в соответствии с ТУ 2241-002-431204295932–2010<sup>6</sup>.

Следует отметить, что в случае добавления 20 масс. % регенерата раствора окислителя (раствор аммиачной селитры в воде) лимитирующим компонентом при пересчете массы добавки регенерата являлась вода. Получаемые регенераты раствора окислителя имели массовую концентрацию аммиачной селитры, как правило, около 50 масс. %. Таким образом, если производить пересчет добавки по количеству аммиачной селитры в полученном регенерате, то в растворе окислителя для эмульгирования после добавления свыше 20 масс. % регенерата образуется избыточное количество воды. Поскольку упаривание регенерата раствора окислителя для уменьшения количества воды и увеличения массовой концентрации аммиачной селитры было признано нерациональным вследствие больших затрат энергии и выпадения в осадок аммиачной селитры, было признано, что максимальным количеством добавки регенерата раствора окислителя является 20 масс. %.

Для определения стабильности полученных эмульсий были проведены определения нормируемых показателей



**Рис. 1**  
Процесс деэмульгирования эмульсионной матрицы:  
а – внешний вид исходной;  
б – неполное разрушение; в – полное разделение на фракции

**Fig. 1**  
Process of emulsion matrix demulsification:  
а – visual appearance of the original emulsion;  
б – partial disintegration; в – complete separation into fractions

<sup>5</sup> ТУ 2241-002-431204295932–2010 Невзрывчатые компоненты эмульсионных промышленных взрывчатых веществ «Эмульсия «Березит®».

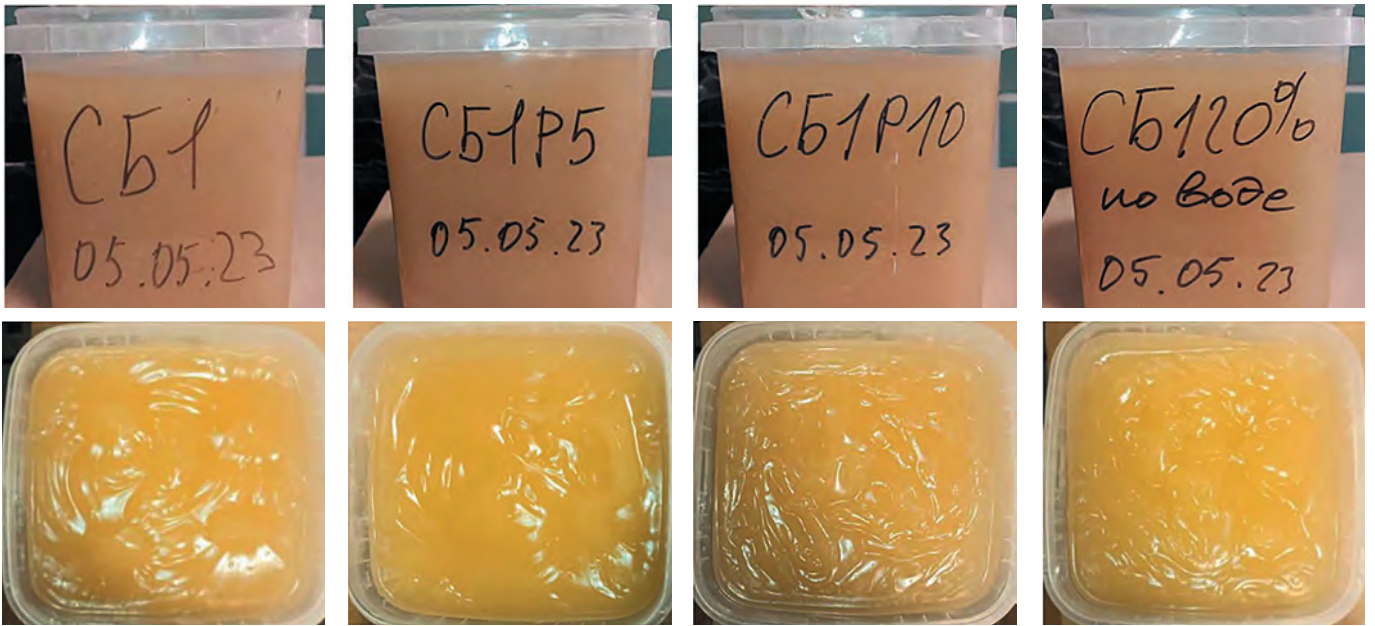
<sup>6</sup> ТУ 2241-002-431204295932-2010 Невзрывчатые компоненты эмульсионных промышленных взрывчатых веществ «Эмульсия «Березит®».



**Таблица 1**  
**Параметры эмульсий в зависимости от количества регенератов в их составе**

**Table 1**  
**Parameters of emulsions depending on the amount of the reclaimed materials in their composition**

Образец	Количество регенерата РО, масс. %	Количество регенерата МФ, масс. %	Вязкость, сП	Емкостимость, пФ	Размер частиц, мкм	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Контрольный СБ1	0	0	25000	137	9	1,311
СБ1Р 5%	5	5	25600	141	11	1,312
СБ1Р 10%	10	10	25400	140	11	1,316
СБ1Р 20%	20	20	26000	144	10	1,318



**Рис. 2**  
**Внешний вид образцов исходной эмульсии и приготовленных с использованием регенератов**

**Fig. 2**  
**Visual appearance of the initial emulsion samples and those prepared using the reclaimed materials**

**Таблица 2**  
**Физико-химические и взрывчатые параметры промышленных эмульсионных взрывчатых веществ «Березит®»**

**Table 2**  
**Physical, chemical and explosive parameters of the Berezit® industrial emulsion explosives**

№ п/п	Характеристика	Марка	
		Э-70	Э-80
1	Кислородный баланс, %	-1,58	-1,60
2	Теплота взрыва, ккал/кг (кДж/кг)	654 (2737)	632 (2640)
3	Объемная концентрация энергии, ккал/дм <sup>3</sup>	785	723
4	Тротильный эквивалент по объемной концентрации энергии	0,95	0,92
5	Объем газообразных продуктов взрыва, л/кг	1017	1030
6	Объем ядовитых газов в пересчете на СО, л/кг	15	17
7	Идеальная скорость детонации (при плотности 1,2 г/см <sup>3</sup> ), км/с	5,802	5,850
8	Детонационное давление, кБар	105,76	103,54
<b>Экспериментальные</b>			
1	Критическая плотность состава, г/см <sup>3</sup> (через 30 мин после введения ГГД) – нижний предел – верхний предел	1,05 1,25	
2	Скорость детонации открытого заряда диаметром 200 мм при плотности п. 1, км/с	5,83 / 5,25	
3	Скорость детонации открытого заряда диаметром 200 мм при плотности п. 1, км/с	80	
4	Чувствительность к удару по ГОСТ 4545-88 «Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару»: – нижний предел, мм – частость взрывов, %	500 0	
5	Чувствительность к трению на копре К-44-3, максимальное давление прижатия, МПа	> 300	
6	Термическая стойкость, °С	170	

качества. Зачастую устойчивость эмульсии характеризуется только ее электроемкостью. В данной работе применен более широкий подход для оценки физико-химической стабильности эмульсионной матрицы, учитывающий ее многокомпонентную сложную природу и присутствие регенератов, ввиду чего для полученных образцов стабильность определялась не одним, а совокупностью показателей – вязкостью, электроемкостью, размером частиц эмульсионной дисперсии и плотностью.

Параметры полученных эмульсий соответствуют требованиям ТУ 2241-002-431204295932-2010 невзрывчатые компоненты эмульсионных промышленных взрывчатых веществ «Эмульсия «Березит®».

На рис. 2 представлен внешний вид эмульсий через семь суток после их приготовления.

По результатам проведенной научно-исследовательской работы получен химический способ контролируемого разрушения эмульсии. Выбран наиболее эффективный деэмульгатор, доступный на российском рынке, при помощи которого удалось разделить эмульсию на несмешивающиеся фазы, содержащие исходные компоненты. Аналитический контроль регенератов показал отсутствие в них деэмульгатора. С применением регенератов масляной фазы и раствора окислителя получены лабораторные образцы стабильной эмульсионной матрицы, соответствующей по показателям качества нормативным документам.

При получении опытных образцов ПЭВВ, изготовленных с применением регенератов, их физико-химические и взрывчатые характеристики должны соответствовать расчетным и экспериментальным значениям, полученным для ПЭВВ «Березит®» марки Э-70 и Э-80, в основе которых эмульсионная матрица марки СБ1, рассматриваемая в настоящей работе.

В табл. 2 представлены основные физико-химические и взрывчатые параметры ПЭВВ «Березит®» марок Э-70 и Э-80.

### Заключение

В результате проведенных исследований разработан химический метод деэмульгирования эмульсионных матриц. Выбран наиболее эффективный вид деэмульгатора, который подходит для решения поставленной задачи. Разработан экспериментальный способ разделения и извлечения регенератов из эмульсионной системы «вода в масле». Экспериментально апробированы методы очистки полученных регенератов.

В лабораторных условиях была получена эмульсионная матрица «Березит» марки СБ1 с замещением части сырьевых компонентов (раствора окислителя и/или смеси нефтепродуктов) регенератами от некондиционных эмульсий.

На основе полученных в настоящей работе результатов проводится НИОКР на тему «Разработка промышленной технологии утилизации отходов производства эмульсионных взрывчатых веществ с последующей вторичной переработкой. Исследование промышленных образцов ПЭВВ, полученных с применением регенератов».

Разработана принципиальная схема опытно-промышленной технологии переработки отходов эмульсионных производств. Ведётся монтаж пилотной промышленной установки.

### Список литературы / References

1. Wang S., Yang F. Exploration of disposal method for unqualified products of emulsified ammonium oil explosive. *Explosive Materials*. 1999;1999(03):15–16.
2. Шерман Ф. (ред.) *Эмульсии*. Ленинград: Химия; 1972. 449 с. Режим доступа: <https://djvu.online/file/COAtcNsJTJMrL> (дата обращения: 18.01.2024).
3. Wang X. *Emulsion Explosives*. Beijing.: Metallurgical Industry Press; 1994. 388 p.
4. Колганов Е.В., Соснин В.А. *Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества*. Дзержинск: Кристалл; 2009. 336 с.
5. Сивенков В.И., Илюхин С.В., Маслов И.Ю. *Эмульсионные взрывчатые вещества и неэлектрические системы иницирования*. М.: ЦИТ-М; 2013. 320 с.
6. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. *Промышленные взрывчатые вещества*. М.: Недра; 1988. 358 с.
7. Гумеров А.Г., Сабиров У.Н., Чепурский В.Н., Касымов Т.М., Попов В.В. *Способ разрушения эмульсии типа «Вода в Масле»*. Патент №RU2120324 Российская Федерация, МПК C10G 33/02: заявл. 08.05.1996, опубл. 20.10.1998. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2120324C1/ru> (дата обращения: 01.04.2023).
8. Hubby L.M. *Apparatus and method for electrophoretic breaking of emulsions*. Patent No.US3412002A United States. Patented Nov. 19, 1968. Available at: <https://patents.google.com/patent/US3412002A/en> (accessed: 01.04.2023).
9. Якименко Е.В., Сидоренков Г.Г. *Способ разрушения эмульсии типа «Вода в Масле»*. Патент №239487 СССР, МПК C10G 33/02: заявл. 10.05.1967, опубл. 18.03.1969. Режим доступа: <https://patentdb.ru/patent/239487> (дата обращения: 18.03.2023).

10. Ахметзянов Р.Р. *Способ разрушения устойчивой обратной водонефтяной эмульсии, образующейся после гидравлического разрыва пласта*. Патент №RU2719576C1 Российская Федерация, МПК C10G 33/04, заявл. 30.07.2019, опубл. 21.04.2020. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2719576C1/ru> (дата обращения: 28.03.2023).
11. Хрисониди В.А., Струева В.А. *Современные методы разрушения водонефтяных эмульсий*. *The Scientific Heritage*. 2020;(50-3):38–41.  
Khrysonidi V.A., Strueva V.A. *Modern methods of destroying water-oil emulsions*. *The Scientific Heritage*. 2020;(50-3):38–41. (In Russ.)
12. Shi Jun. *Recovery and utilization of waste emulsion explosive*. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*. 1996;3(9):28–32. (In Chinese)
13. Shen Qingqing, Zhang Xingming, Shi Yanmin. *Selection of demulsifier and demulsification conditions for waste emulsion explosive*. *Explosive Materials*. 2014;43(4):32–36.
14. Chattopadhyay A.K. *Waste emulsion recycling process*. Patent No. CA2183010A1, Canada. Patented Feb. 10, 1998. Available at: <https://patents.google.com/patent/CA2183010A1/en> (accessed: 14.03.2023).
15. Chen Xianjun, Xu Jing, He Yong, Sun Qiang, Zhang Zhiyong. *Processing unit, processing system and its processing method that waste emulsion explosive is recycled*. Patent No. CN106905086A, China. Patented Feb. 26, 2019. (In Chinese) Available at: <https://patents.google.com/patent/CN106905086A/en> (accessed: 19.03.2023).
16. Earl S. Snavely Jr. *Method for breaking a water-in-oil emulsion*. Patent No. US3489680A United States. Patented Jan. 13, 1970. Available at: <https://patents.google.com/patent/US3489680A/en> (accessed: 14.03.2023).

**Информация об авторах**

**Панфилов Сергей Юрьевич** – главный инженер, ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [s.panfilov@azottech.ru](mailto:s.panfilov@azottech.ru)

**Дудник Геннадий Анатольевич** – технический директор, ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [g.dudnik@azottech.ru](mailto:g.dudnik@azottech.ru)

**Тихонов Виталий Александрович** – генеральный директор, ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [v.tikhonov@azottech.ru](mailto:v.tikhonov@azottech.ru)

**Назаров Сергей Сергеевич** – ведущий специалист по внедрению, ООО «АЗОТТЕХ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [ss.nazarov@azottech.ru](mailto:ss.nazarov@azottech.ru)

**Мельников Никита Олегович** – доцент кафедры техноферной безопасности, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [melnikov.n.o@muctr.ru](mailto:melnikov.n.o@muctr.ru)

**Акинин Николай Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [akinin.n.i@muctr.ru](mailto:akinin.n.i@muctr.ru)

**Information about the authors**

**Sergey Yu. Panfilov** – Chief Engineer, AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: [s.panfilov@azottech.ru](mailto:s.panfilov@azottech.ru)

**Gennady A. Dudnik** – Technical Director, AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: [g.dudnik@azottech.ru](mailto:g.dudnik@azottech.ru)

**Vitaly A. Tikhonov** – Director General, AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation

**Sergey S. Nazarov** – Lead Implementation Specialist, AZOTTECH LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: [ss.nazarov@azottech.ru](mailto:ss.nazarov@azottech.ru)

**Nikita O. Melnikov** – Associate Professor, Department Technosphere Safety, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: [melnikov.n.o@muctr.ru](mailto:melnikov.n.o@muctr.ru)

**Nikolai I. Akinin** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: [akinin.n.i@muctr.ru](mailto:akinin.n.i@muctr.ru)

**Article info**

Received: 07.03.2024

Revised: 25.03.2024

Accepted: 01.04.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 07.03.2024

Поступила после рецензирования: 25.03.2024

Принята к публикации: 01.04.2024