НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

10(214)
2018

Издается с января 2001 г.

Редакционный совет:
АГОШКОВ А. И., д.т.н., проф.
ГРАЧЕВ В. А., чл.-корр. РАН, д.т.н., проф.
ГРИГОРЬЕВ С. Н., д.т.н., проф.
ДУРНЕВ Р. А., д.т.н., доц.
ЗАЛИХАНОВ М. Ч., акад. РАН, д.г.н., к.б.н., проф. (председатель)
КОТЕЛЬНИКОВ В. С., д.т.н., проф.
ПРОНИН И. С., д.ф.-м.н., проф.
РОДИН В. Е., д.т.н., проф.
ТЕТЕРИН И. М., д.т.н.
УШАКОВ И. Б., акад. РАН, д.м.н., проф.
ФЕДОРОВ М. П., акад. РАН, д.т.н., проф.
ЧЕРЕШНЕВ В. А., акад. РАН, д.м.н., проф.
АНТОНОВ Б. И. (директор издательства)

Главный редактор
РУСАК О. Н., д.т.н., проф.

Зам. главного редактора
ПОЧТАРЕВА А. В.

Редакционная коллегия:
АЛБОРОВ И. Д., д.т.н., проф.
БЕЛИНСКИЙ С. О., к.т.н., доц.
ВАСИЛЬЕВ А. В., д.т.н., проф.
ВОРОБЬЕВ Д. В., д.м.н., проф.
ЗАБОРОВСКИЙ Т., д.т.н., проф. (Польша)
ИВАНОВ Н. И., д.т.н., проф.
КАЧУРИН Н. М., д.т.н., проф.
КИРСАНОВ В. В., д.т.н., проф.
КОСОРУКОВ О. А., д.т.н., проф.
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н., д.т.н., проф.
КСЕНОФОНТОВ Б. С., д.т.н., проф.
КУКУШКИН Ю. А., д.т.н., проф.
МАЛАЯН К. Р., к.т.н., проф.
МАРТЫНЮК В. Ф., д.т.н., проф.
МАТЮШИН А. В., д.т.н.
МИНЬКО В. М., д.т.н., проф.
МИРМОВИЧ Э. Г., к.ф.-м.н., доц.
ПАЛЯ Я. А., д.с.-х.н., проф. (Польша)
ПЕТРОВ С. В., к.ю.н., с.н.с.
СИДОРОВ А. И., д.т.н., проф.
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г., д.т.н., проф.
ФИЛИН А. Э., д.т.н., доц.
ШВАРЦБУРГ Л. Э., д.т.н., проф.

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Панин А. В., Белонина А. А., Тинус А. М. Новый подход при работе с несовершеннолетними по обучению безопасности поведения на объектах железнодорожной инфраструктуры . . . 3
Сазонова А. М., Копытенкова О. И., Шилова Е. А. Способы снижения негативного воздействия биологических факторов подземных пространств на здоровье человека . . . 12

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Ахтямов Р. Г., Титова Т. С. Совершенствование комплекса мероприятий по ликвидации разлива нефти на водной поверхности с загрязнением источника водоснабжения . . 16
Елизарьев А. Н., Ахтямов Р. Г., Аксенов С. Г., Тараканов Дм. А., Тараканов Д. А. Современные технологии защиты объектов транспортной инфраструктуры на основе моделирования опасных ситуаций . . . 23

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Харламова А. В., Верех-Белоусова Е. И. Влияние эдафических условий рекультивированных породных отвалов на эффективность снижения их негативного воздействия на прилегающие территории . . . 29
Харитоненко А. Л., Зачиняев Я. В. Очистка резервуаров от нефтепродуктов с помощью технических моющих средств, содержащих новые поверхностно-активные вещества . . . 36

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Гаврилова А. А., Копытенкова О. И., Андреева Л. А., Фролов А. В. Количественная оценка аккумуляции тяжелых металлов в растениях в зависимости от удаленности автодорог в центре Санкт-Петербурга . . . 44

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Титова Т. С., Ахтямов Р. Г. Оценка геоэкологической и пожарной обстановки при разливе нефти на водной поверхности . . . 48

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

Бабак Н. А., Масленникова Л. Л. Геоэкологический резерв промышленных минеральных отходов . . . 57

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, включен в систему Российского индекса научного цитирования и Международную базу данных CAS (Chemical Abstract).

© Издательство "Новые технологии", "Безопасность жизнедеятельности", 2018

CIENTIFIC, PRACTICAL AND EDUCATIONAL-METHODICAL JOURNAL

LIFE SAFETY

BEZOPASNOST' ZIZNEDEATEL'NOSTI

The journal published since January 2001

10(214)
2018

Editorial board
AGOSHKOV A. I., Dr. Sci. (Tech.)
GRACHEV V. A., Cor.-Mem. RAS, Dr. Sci (Tech.)
GRIGORYEV S. N., Dr. Sci. (Tech.)
DURNEV R.A., Dr. Sci. (Tech.)
ZALIKHANOV M. Ch., Acad. RAS, Dr. Sci. (Geog.), Cand. Sci. (Biol.)
KOTELNIKOV V. S., Dr. Sci. (Tech.)
PRONIN I. S., Dr. Sci (Phys.-Math.)
RODIN V. E., Dr. Sci. (Tech.)
TETERIN I. M., Dr. Sci. (Tech.)
USHAKOV I. B., Acad. RAS, Dr. Sci (Med.)
FEDOROV M. P., Acad. RAS, Dr. Sci (Tech.)
CHERESHNEV V. A., Acad. RAS, Dr. Sci. (Med.)
ANTONOV B. I.

Editor-in-chief
RUSAK O. N., Dr. Sci. (Tech.)

Deputy editor-in-chief
POCHTAREVA A. V.

Editorial staff
ALBOROV I. D., Dr. Sci. (Tech.)
BELINSKIY S. O., Cand. Sci. (Tech.)
VASILYEV A. V., Dr. Sci. (Tech.)
VOROBYEV D. V., Dr. Sci (Med.)
ZABOROVSKIJ T. (Poland), Dr. Sci. (Tech.)
IVANOV N. I., Dr. Sci. (Tech.)
KACHURIN N. M., Dr. Sci. (Tech.)
KIRSANOV V. V., Dr. Sci. (Tech.)
KOSORUKOV O. A., Dr. Sci. (Tech.)
KRASNOGORSKAYA N. N., Dr. Sci. (Tech.)
KSENOFONTOV B. S., Dr. Sci. (Tech.)
KUKUSHKIN Yu. A., Dr. Sci. (Tech.)
MALAYAN K. R., Cand. Sci. (Tech.)
MARTYNYUK V. Ph., Dr. Sci. (Tech.)
MATYUSHIN A. V., Dr. Sci. (Tech.)
MINKO V. M., Dr. Sci. (Tech.)
MIRMOVICH E. G., Cand. Sci. (Phis.-Math.)
PALJA Ja. A. (Poland), Dr. Sci. (Agri.-Cult.)
PETROV S. V., Cand. Sci. (Yurid.)
SIDOROV A. I., Dr. Sci. (Tech.)
TOPOLSKIY N. G., Dr. Sci. (Tech.)
FILIN A. E., Dr. Sci. (Tech.)
SHVARTSBURG L. E., Dr. Sci. (Tech.)

CONTENTS

POPULATION HEALTH PROTECTION

Panin A. V., Belonina A. A., Tinus A. M. A New Approach when Working with Juveniles at the Training of Safe Behavior on the Railway Infrastructure. 3
Sazonova A. M., Kopytenkova O. I., Shilova E. A. Negative Impact Reduction Method of Biological Factor of Underground Spaces for Human Health 12

SITUATION OF EMERGENCY

Ahtyamov R. G., Titova T. S. Improvement of Measures for Oil Spill on the Water Surface Liquidation with the Water Supply Source Contamination 16
Elizariev A. N., Ahtyamov R. G., Aksenov S. G., Tarakanov Dm. A., Tarakanov D. A. Modern Technologies of Transport Infrastructure Objects Protection on the Basis of Dangerous Situations Modeling 23

ENVIRONMENT PROTECTION

Kharlamova A. V., Verekh-Belousova E. I. Influence of the Edafic Conditions of Reclaiming Waste Banks on the Efficiency of the Decrease of their Negative Impact to the Adjacent Territories 29
Kharitonenko A. L., Zachinyaev Ya. V. Cleaning of Tanks from Oil Products with the Help Technical Detergents Containing New Surface-Active Substances 36

ENVIRONMENT MONITORING

Gavrilova A. A., Kopytenkova O.I., Andreeva L. A., Frolov A. V. Quantitative Assessment of the Accumulation of Heavy Metals in Plants, Depending on the Remoteness of Roads in the Center of St. Petersburg 44

FIRE SAFETY

Titova T. S., Ahtyamov R. G. Assessment of the Geo-Ecological and Fire Situation During Oil Spills on the Water Surface 48

USE AND RECYCLING OF WASTE

Babak N. A., Maslennikova L. L. Geoecological Rezerve of Industrial Mineral Wastes 57

Information about the journal is available online at: http://novtex.ru/bjd, e-mail: bjd@novtex.ru

Издательство "Новые технологии", "Безопасность жизнедеятельности", 2018

УДК 656.2:614.8.013

А. В. Панин, д-р техн. наук, проф. кафедры, **А. А. Белонина,** магистр кафедры, **А. М. Тинус,** канд. хим. наук, доц. кафедры, e-mail: talex72@mail.ru, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Новый подход при работе с несовершеннолетними по обучению безопасности поведения на объектах железнодорожной инфраструктуры

Данная работа посвящена исследованию обучающей интерактивной модели для эффективной профилактики непроизводственного травматизма на железнодорожном транспорте. Описывается алгоритм построения модели, и рассматриваются варианты практической работы с моделью. Модель оформляется в виде ролевой компьютерной игры и предназначена, в первую очередь, для подросткового возраста, для которого характерна высокая степень травматизма на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: *анализ, травматизм, железнодорожный транспорт, безопасность, мобильное приложение*

Введение

Железная дорога — удобный и востребованный вид транспорта, которым каждый день пользуются миллионы людей. Практически каждому человеку приходилось сталкиваться с железнодорожным транспортом, кому-то чаще кому-то реже, но, так или иначе, железная дорога все больше влияет на нашу жизнь.

С увеличением скоростей [1] возникают проблемы, связанные с обеспечением безопасности граждан при нахождении вблизи объектов железнодорожной инфраструктуры, такими как пассажирские платформы, железнодорожные переезды и не огражденные линии высокоскоростного движения.

Направление работы по транспортным происшествиям с причинением вреда жизни и здоровью граждан в зоне движения поездов на объектах железнодорожной инфраструктуры является одной из приоритетных задач компании ОАО "РЖД" и находится под особым контролем.

Статистика травматизма граждан на объектах железнодорожного транспорта

Для организации профилактической деятельности по предупреждению непроизводственного травматизма проводится постоянный анализ травмирования граждан на объектах железнодорожной инфраструктуры в сравнении с аналогичными периодами. Данная работа проводится с помощью автоматизированной системы управления, информационно-справочной системы "ИИС Травматизм". Данная программа предназначена для сбора информации по случаям непроизводственного травматизма, происшедшим на территории железной дороги, позволяет получать разнообразные виды справок как регламентированных форм отчетности, так и произвольной формы по выбору пользователя.

Например, по Октябрьской железной дороге статистика выглядит следующим образом: за последние 10 лет на железной дороге пострадали порядка 3500 человек, из них более 2000 человек погибли. С 2008 г. наблюдается тенденция к снижению случаев травмирования граждан на железнодорожной инфраструктуре. По сравнению с 2008 г. в 2016 г. достигнуто снижение количества граждан, получивших травмы, почти в 2 раза, но от 65 до 70 % случаев травмирования граждан имеют смертельный исход. Особую тревогу в условиях развития высокоскоростного движения вызывает детский травматизм, ведь дети не всегда могут оценить реальную опасность [2].

Несмотря на общую тенденцию снижения количества случаев травмирования граждан на железнодорожном транспорте, уровень детского травматизма остается практически неизменным. В 2010 г. наблюдалось минимальное значение

количества пострадавших, но вместе с тем в 2017 г. количество травмированных возросло более чем в 1,5 раза в сравнении с периодом 2010 г.

Анализ причин получения травм гражданами на объектах железнодорожной инфраструктуры показывает, что основной причиной травмирования неизменно остается грубое нарушение пострадавшими "Правил безопасности граждан на железнодорожном транспорте", нахождение граждан в зоне повышенной опасности.

Личная неосторожность, пренебрежение правилами безопасного поведения на железной дороге, отсутствие элементарных навыков мер личной безопасности, низкий уровень знаний о последствиях риска травмирования подвижным составом в результате опасных увлечений на объектах железнодорожной инфраструктуры и другие причины травмирования свойственны всем возрастным категориям граждан, а в особенности подросткам.

Основными причинами травмирования подростков являются:

— травмирование железнодорожным подвижным составом в результате хождения по железнодорожным путям в неустановленном месте перед идущим поездом — 68 % от всех случаев травмирования граждан до 18 лет, из них более 50 % детей травмированы смертельно;

— травмирование электротоком контактной сети — 24,5 % от всех случаев травмирования граждан до 18 лет, из них 38 % детей травмированы смертельно;

— травмирование в результате нахождения на крыше вагона (падение с него) — 4 % от всех случаев травмирования граждан до 18 лет, из них 57 % детей травмированы смертельно;

— травмирование на пешеходном настиле, падение между вагоном и платформой — 3,5 % от всех случаев травмирования граждан до 18 лет, из них 83 % детей травмированы смертельно.

Дети гибнут из-за отсутствия должного надзора со стороны родителей, зачастую они устраивают игры на объектах железной дороги, делают фотографии забравшись на фермовые мосты, через которые проходит контактная сеть и которые не предназначены для нахождения на них людей, ходят по путям в наушниках и так далее.

Анализ травмирования граждан в зависимости от календарного времени года показывает, что пик детского травматизма из года в год приходится на июнь и июль месяцы — период летних каникул. Это связано, прежде всего, с тем, что в период летнего отдыха большинство детей предоставлены сами себе, у них появляется гораздо больше свободного времени, а взрослые, в свою очередь, не могут установить достаточный контроль за времяпрепровождением своих детей.

Можно отметить тенденцию возрастания уровня детского травматизма в марте и апреле — период весенних каникул у школьников, что, в свою очередь, является доказательством отсутствия должного надзора за детьми со стороны взрослых.

Методы пропаганды безопасности поведения на объектах железнодорожной инфраструктуры

Ежегодно ОАО "РЖД" затрачивает значительные средства на организационные и технические мероприятия по предупреждению случаев травмирования граждан, не связанных с производством.

Работа по профилактике несчастных случаев строится по перечисленным ниже направлениям.

1. Организационные решения (проведение совместно с ведомственной охраной и полицией рейдов по местам несанкционированного нахождения граждан, совместно с муниципальными органами власти — тематических мероприятий, в основном, направленных на предупреждение детского травматизма, проведение лекций, направление соответствующих писем в образовательные учреждения, администрации предприятий и пр.).

2. Информационные решения (информирование людей об опасности при их нахождении в зоне движения поездов: плакаты, знаки, видеофильмы, буклеты, сообщения на вокзалах и в поездах, привлечение средств массовой информации и пр.).

3. Технические решения (работа по строительству, оборудованию и ремонту пешеходных переходов, пешеходных мостов и тоннелей, ограждению зоны движения поездов и др.), в том числе инвестиционный проект "Предупреждение травматизма граждан на объектах инфраструктуры ОАО "РЖД".

4. Правовые решения (предложения об изменении законодательства, предложения в профильные министерства России о разработке нормативно-правовых документов).

С целью исключения травмирования граждан, в том числе травмирования детей в зоне движения поездов ОАО "РЖД", ежегодно разрабатываются Комплексные планы мероприятий, направленные на повышение уровня безопасности граждан при нахождении на объектах железнодорожного транспорта, в том числе и Планы проведения межведомственных мероприятий по профилактике травматизма граждан на объектах инфраструктуры ОАО "РЖД".

Данные планы включают в себя следующие основные мероприятия:

- организация и проведение детских месячников, направленных на профилактику травматизма

("Внимание — дети!", "Безопасная железная дорога"), декадников по предупреждению детского травматизма;

- проведение разъяснительной работы с руководителями предприятий и учебных заведений об опасности хождения по железнодорожным путям, с приложением материалов (правил, памяток и т. д.);
- распространение пресс-релизов, содержащих информацию об организационно-технических мероприятиях, проводимых на Октябрьской железной дороге для профилактики детского травматизма;
- проведение акции "Безопасный путь домой": установка дополнительных знаков безопасности, также позитивная навигация на уровне глаз ребенка с указанием безопасного пешеходного перехода через железнодорожные пути;
- проведение уроков безопасности для воспитанников летних детских городских оздоровительных лагерей;
- реализация инвестиционного проекта "Предупреждение травматизма граждан на объектах инфраструктуры ОАО "РЖД";
- обновление и установка предупреждающих плакатов и знаков безопасности;
- восстановление ограждений железнодорожный путей;
- профилактика электротравматизма: установка плакатов, знаков, установка ограждений на мостах и путепроводах, ограждение КТП, нанесение на подвижной состав предупреждающих знаков;
- организация экскурсий школьников на предприятия железнодорожного транспорта с проведением профилактических бесед на местах и с приглашением региональных СМИ (по возможности), в музеи железнодорожного транспорта, на детские железные дороги;
- организация регулярных радиотрансляций на вокзальных комплексах и подвижном составе по профилактической информации о правилах безопасного поведения граждан, несовершеннолетних на объектах железнодорожного транспорта и т. д. [3, 4].

Постоянно проводится работа по профилактике и предупреждению транспортных происшествий с гражданами, информационная и разъяснительная работа, работа по текущему содержанию объектов инфраструктуры, замене и установке новых знаков безопасности, работа по ограждению мест массового нахождения граждан вблизи железнодорожного полотна, а также замене секций ограждений, подвергшихся вандализму со стороны граждан, не желающих осуществлять переход железной дороги по санкционированным переходам.

В рамках реализации инвестиционного проекта "Предупреждение травматизма граждан на объектах инфраструктуры ОАО "РЖД" строятся новые оборудованные пешеходные переходы со звуковой и световой сигнализацией.

Руководством железной дороги осуществляется взаимодействие с органами управления образованием субъектов Российской Федерации. В образовательных учреждениях проводятся беседы, лекции со школьниками по правилам поведения на объектах железнодорожного транспорта. На сайтах региональных Министерств образования размещена информация о безопасном поведении на железнодорожном транспорте и т. д.

Образовательными учреждениями ОАО "РЖД" совместно с муниципальными образовательными учреждениями проводились выставки, конкурсы, викторины и другие мероприятия по безопасности на железной дороге, в том числе с использованием сети Интернет.

Департаментом социального развития совместно с дирекциями социальной сферы железных дорог реализуется план мероприятий по профилактике травматизма в детских оздоровительных лагерях ОАО "РЖД". В каждой смене проводились дни безопасности, конкурсы плакатов и рисунков на тему "Железнодорожная безопасность", викторины для малышей по правилам безопасного поведения на железной дороге.

В целях пресечения хождения граждан в неустановленных местах на станциях и перегонах совместно с работниками линейных отделов полиции за 2017 г. проведено порядка 836 рейдов по предотвращению несанкционированных сходов с платформ и переходов через железнодорожные пути, в ходе которых задержано порядка 1385 человек. По выявленным случаям составлены административные протоколы. С нарушителями проведены профилактические беседы с вручением памяток по правилам безопасного поведения вблизи железнодорожных путей.

В ОАО "РЖД" подготовлен проект федерального закона "О внесении изменений в статью 11.1 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях", в части увеличения штрафных санкций за нарушение правил нахождения в зонах повышенной опасности.

Продолжена работа по планам Комитетов Государственной думы с учетом законопроектов, включенных в План участия ОАО "РЖД" в подготовке проектов нормативных правовых актов федерального уровня, направленных на совершенствование функционирования железнодорожного транспорта в 2017 г.

На вокзалах, имеющих необходимое техническое оснащение, организована видеотрансляция электронной версии буклета "Правила безопасного поведения детей на железнодорожном транспорте".

Совместно с сотрудниками линейного отделения полиции в период летних перевозок при отправлении детских организованных групп с территории вокзальных комплексов организовано проведение бесед с детьми и руководителями групп о правилах безопасного поведения детей на объектах железнодорожного транспорта.

В 2017 г. с учетом инициатив ОАО "РЖД" впервые введена уголовная ответственность за действия, угрожающие безопасной эксплуатации транспортных средств, Уголовный кодекс Российской Федерации дополнен новой статьей 267.1 "Действия, угрожающие безопасной эксплуатации транспортных средств". Это деяния, которые были совершены вне транспортного средства и под которые будут подпадать действия так называемых зацеперов и хулиганов, забрасывающих камнями поезда. Теперь нарушитель будет наказан штрафом в размере от 150 до 300 тыс. руб. или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период до 2 лет либо ограничением свободы на срок до 2 лет или лишением свободы на тот же срок.

1 июля 2017 г. вступил в силу новый Свод Правил СП 42.13330.2016 "Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89", в который включены предлагаемые ОАО "РЖД" предложения в части возложения на застройщиков обязательств при строительстве жилых, торгово-развлекательных и иных комплексов социального назначения, расположенных вблизи железных дорог, обеспечивать безопасный транзитный переход граждан через железнодорожные пути (строительство мостов, тоннелей, пешеходных переходов в одном уровне с железнодорожными путями).

Новый подход к обучению вопросам безопасности на объектах железнодорожного транспорта при работе с подростками

Основной отличительной особенностью нового поколения является клиповое мышление. Клиповость — это способность краткого и красочного восприятия окружающего мира посредством короткого, яркого посыла, воплощенного в форме видеоклипа, теленовостей или в другом аналогичном виде.

Анализ ситуации, сложившейся в обществе в целом и в образовании в частности, позволяет сделать вывод: клиповое сознание вошло в детей и необходимо найти пути и возможности грамотного его применения как в образовательном процессе, так и в жизненных аспектах.

Современные молодые люди смотрят на окружающий мир через призму очков ролевых компьютерных игр, для них будущая жизнь представляется игрой, где есть уровни, которые необходимо пройти, определенные условия и правила прохождения всех этих этапов и создается ощущение, что, если что-то не получается, можно попробовать еще раз повторить и исправить свои ошибки. В этой игре главным становится потребление — информации, товаров, услуг, развлечений. Дети поверхностно и легкомысленно относятся к учебе, с оптимизмом смотрят в будущее и, естественно, рассчитывают на успешное завершение каждого "уровня", даже не представляя всей серьезности и опасности реалий жизненного сюжета.

Современные тенденции развития информационных технологий диктуют необходимость расширения форм, методов и средств обучения за счет широкого использования современных электронных информационно-коммуникативных подходов — телевидение, видео, средства мультимедиа. Их применение в учебно-воспитательном процессе позволяет значительно повысить эффективность наглядности в обучении, полнее и точнее информировать учащихся об изучаемом объекте или явлении, расширить арсенал методических приемов педагога в учебном процессе изложения знаний.

Отсутствие личной культуры безопасности, умышленное пренебрежение правилами остается основной причиной случаев травмирования граждан железнодорожным транспортом.

Для предупреждения производственного травматизма и повышения квалификации сотрудников в ОАО "РЖД" существует система обучения работников ОАО "РЖД" по курсу "Охрана труда". Но для граждан, которые по тем или иным причинам находятся на объектах железнодорожной инфраструктуры, таких курсов нет.

В рамках исследования была разработана анкета социологического опроса населения для определения наиболее эффективного метода воздействия на подрастающее поколение.

Всего в опросе приняли участие более 3000 человек, опрос проводился как в сети Интернет, так и на улицах и в школах города Санкт-Петербурга. На рис. 1 представлены категории граждан в зависимости от возраста, принимавшие участие в социологическом опросе. Как видно из рисунка, наибольшее внимание уделялось возрастным группам населения от 7 до 12 лет и от 31 до 45 лет, так как именно данный контингент граждан (дети и их родители) находится в наибольшей уязвимости и более других подвержен риску травмирования на объектах железнодорожной инфраструктуры.

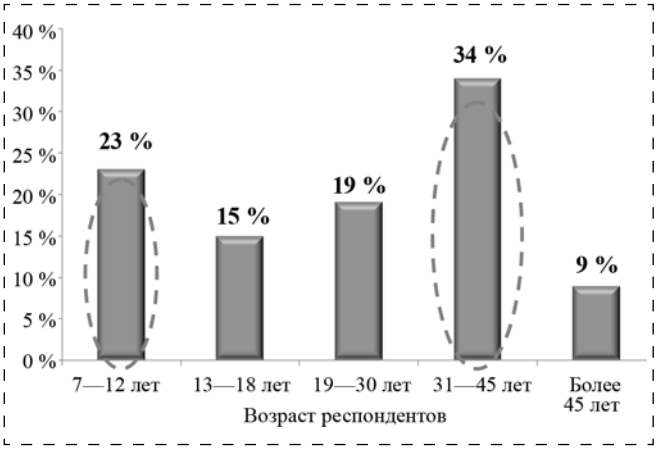


Рис. 1. Возраст участников социологического опроса

Разработанная анкета социологического опроса содержала две категории вопросов: вопросы-фильтры и основные вопросы.

Вопросы-фильтры предназначены для отбора необходимых категорий граждан, наиболее подверженных риску травмирования. А именно вопросы типа: пол, возраст, семейное положение и род деятельности. Эти вопросы дают понять, подходит ли данный респондент для целей исследования. Так, например, граждане возрастных категорий до 18 и от 31 до 45 лет наиболее предпочтительны для опроса как граждане, находящиеся в зоне риска.

Основные вопросы направлены на то, чтобы понять предпочтения граждан относительно применяемых методов по профилактике травмирования граждан на объектах железнодорожной инфраструктуры и возможности использования новых и современных способов работы с населением.

По результатам анкетирования более 75 % опрошенных решили для себя, что обучение через интерактивную игру, в ходе которой можно было бы освоить правила безопасности на железной дороге, является самым эффективным и современным методом обучение детей и подростков на данный момент.

Разработка интерактивного мобильного приложения по правилам безопасности граждан на железнодорожном транспорте

Новый, эффективный и современный формат обучения безопасным правилам поведения на железной дороге через игру/мобильное приложение позволит изменить сложившуюся ситуацию с непроизводственным травматизмом в лучшую сторону.

Проживая ситуацию в виртуальном мире, ребенок лучше воспринимает и запоминает жизненно важную информацию, а главное — осознает все катастрофические последствия своих ошибочных действий. В основе создания алгоритма программы лежат разрабатываемые сценарии на основании модели поведения граждан на объектах железнодорожной инфраструктуры, при этом ставится задача обыгрывания сценариев с последующим выходом на более сложный уровень с более широким набором правил безопасного поведения на объектах железнодорожной инфраструктуры.

Алгоритм представляет собой иерархическую структуру сценариев при движении от простого к более сложному заданию, при этом нужно учитывать разный уровень подготовленности играющего и давать выход на подсказки, а более опытным игрокам — зарабатывать при прохождении сценариев соответствующее количество бонусных баллов. Для того чтобы заинтересовать играющего, накопленные бонусы могут быть реализованы в материальные призы — сувенирную продукцию с символикой компании ОАО "РЖД". На рис. 2 представлен алгоритм разрабатываемой программы.

При первичном входе в мобильное приложение необходимо зарегистрироваться через раздел (1). Это необходимо для того, чтобы понимать уровень подготовки играющего, так как на странице регистрации предполагается указывать возраст игрока, что позволит оценить его примерный уровень знаний. После регистрации откроется "Меню" (2) игровой платформы, откуда можно попасть в один из пяти разделов приложения.

Раздел "Игра" (3) включает в себя два подраздела. В первом подразделе основное направление игры состоит из решения ситуационных сценариев (4), отражающих различные факторы риска травмирования на железнодорожном транспорте. Сценарии составляются по нарастающей сложности решений (5). Движение с уровня на последующий уровень происходит при правильном ответе, в противном случае происходит возвращение на предыдущий уровень. При прохождении уровней зарабатываются и накапливаются баллы (6), при прохождении заданного количества уровней есть возможность перейти в раздел "Бонусы" (13) через меню (2) для последующего обмена накопленных баллов на сувенирную продукцию.

Во втором подразделе раздела "Игра" (3) находится викторина (7) по правилам нахождения на железнодорожном транспорте, рассчитанная на различный уровень знаний о правилах поведения на объектах железнодорожной инфраструктуры, также с накоплением баллов. После ответа на вопрос викторины появляется пояснение правил по безопасности, для детей пояснения будут в виде мультфильмов и анимированных картинок, для взрослых — с указанием ссылок на законодательство Российской Федерации.

Раздел "Рейтинг" (8) показывает количество набранных за время игры баллов, а также можно

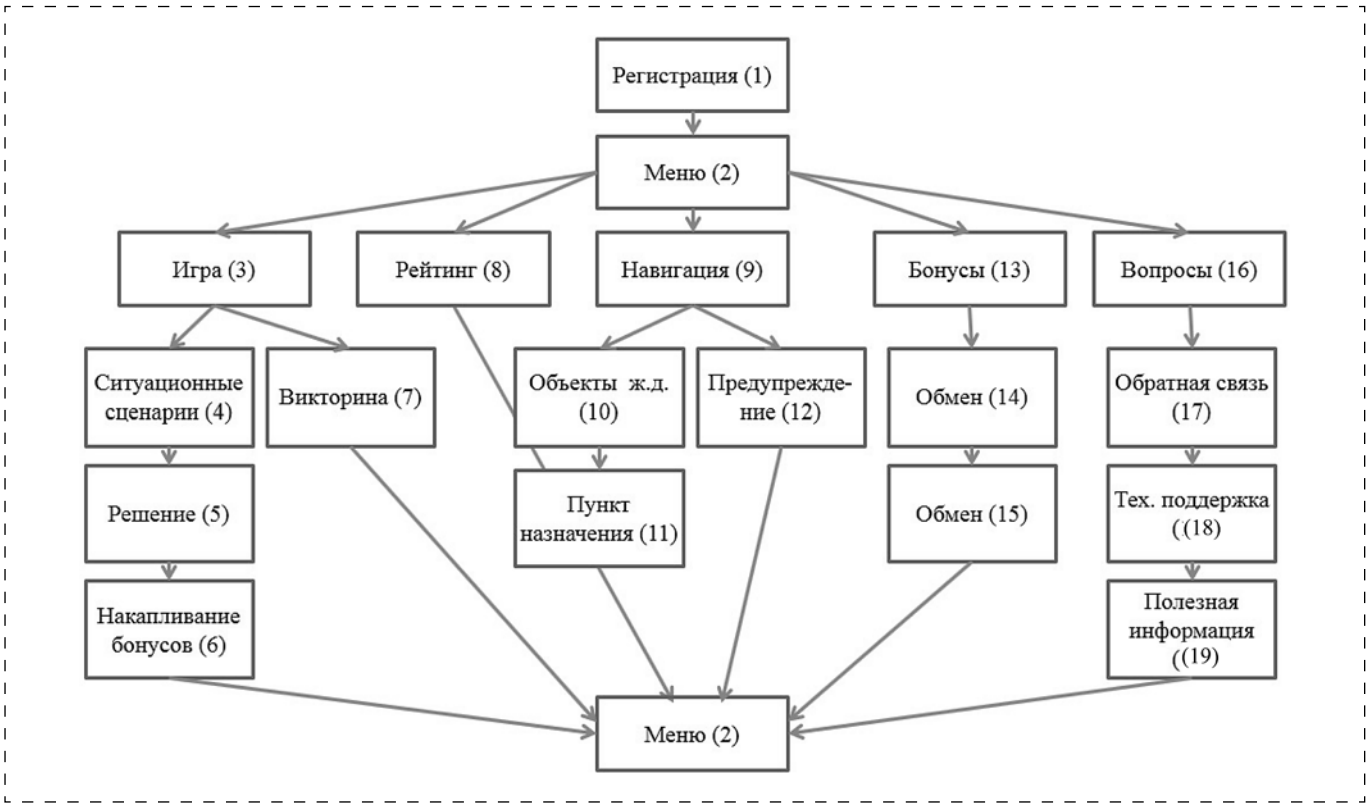


Рис. 2. Алгоритм построения игровой программы

увидеть свое место в рейтинге среди всех играющих или только среди друзей, в зависимости от устанавливаемого фильтра в разделе.

Раздел "Навигация" (9) также представлен двумя основными подразделами. Во-первых, это сама навигация по объектам железнодорожной инфраструктуры (10), иначе говоря, построение безопасного маршрута до выбранного пункта назначения (11). Во-вторых, это всплывающее визуальное и звуковое предупреждение о приближении к опасному железнодорожному объекту (12).

Раздел "Бонусы" (13) представлен в виде информация о возможности обмена накопленных в ходе игры баллов (14) на сувенирную продукцию с символикой компании ОАО "РЖД", скидки на билеты и другие поощрения, которые можно получить в ближайших пунктах выдачи товара (15).

Раздел "Вопросы" (16) представляет собой возможность получения обратной связи (17) по двум направлениям:

— интерактивное общение с разработчиками по вопросам технической поддержки приложения (18) в части обновлений или возможных возникающих системных ошибок;

— полезная информация (19) по разъяснению правил безопасного поведения на объектах железнодорожной инфраструктуры, а также возможность задать свой вопрос по правилам безопасности.

Далее более подробно рассмотрим само наполнение представленного приложения и его разделов.

Обучающая платформа представляет собой тестовые задания в игровой форме с вариантами ответов, которые доступны как с подключением к сети Интернет, так и в автономном режиме. Характерность приложения — это детективное расследование причин и событий в ходе обучения.

Данную игровую программу предполагается распространять в общеобразовательных учреждениях для более эффективного воздействия на подрастающее поколение и предотвращения травмирования несовершеннолетних в зоне движения поездов.

Программа не ограничивает пользователей по возрасту, полу, национальности или взглядам на жизнь. Каждый желающий может зарегистрироваться и пользоваться платформой. Однако целевая аудитория — это школьники младшего и среднего возраста, их родители и педагоги.

Игровые сценарии составлены с учетом самых частых причин травмирования детей на транспорте. За успешное прохождение заданий начисляются баллы, из которых складывается рейтинг. Тестовая версия игры была опробована в учебных заведениях Санкт-Петербурга.

Дизайн программы предполагает следующее.

Главная страница — это страница, куда попадает пользователь, когда заходит в игровую программу.

Страница "О проекте" содержит краткую вводную информацию о проекте, статистические данные о существующей проблеме, методы профилактики непроизводственного травматизма.

На **странице "Авторизация"** пользователю нужно ввести логин и пароль для авторизации, и после успешной идентификации пользователь будет перенаправлен на главную страницу. Если идентификация не прошла успешно, пользователь получит уведомление и предложение ввести данные сначала.

На **страницу "Регистрация"** новые пользователи должны перейти для того, чтобы зарегистрироваться в обучающем приложении. Данная страница имеет форму, на которой пользователь вводит свои регистрационные данные: имя, электронный адрес, пароль. При этом электронный адрес пользователя должен быть уникален в системе.

В **разделе "Меню"** находятся подразделы настройки приложения, а именно возможность включения/отключения звука, информация о пользователе, в том числе статистическая, число правильных ответов, число неправильных ответов, число пройденных сценариев игры.

В **раздел "Игра"** входят игровые сюжеты с неограниченным числом сценариев, а также короткие игровые сюжеты с проблемными вопросами и вариантами ответов, как поступить в сложившейся ситуации. Если ответ будет выбран неверно, то игра на данном уровне должна заканчиваться без возможности сохранения.

После завершения игрового сценария во всплывающем окне будет находиться краткое пояснение. При пояснении после игрового сюжета о том, как правильно поступать в данной ситуации, также должно быть всплывающее окно, с возможностью обратной связи, чтобы ребенок написал, почему, по его мнению, выбранный им ответ верный.

В разделе "Игра" будет осуществляться автоматическое сохранение всех верно пройденных игровых сценариев. Действия персонажей в игре будут со звуковыми эффектами и озвучиванием самих персонажей игры.

Ниже приведены примеры игровых сценариев.

1. Внук с бабушкой ждут на платформе поезд. Внук уронил перед поездом игрушку на рельсы. Всплывающее окно: "Что нужно сделать? Поднять? или обратиться к дежурному по вокзалу?". Если игрок выбирает "Поднять", то игра заканчивается и всплывает пояснение о том, что "Спускаться на пути перед идущим поездом запрещено. Подъезжая к станции, поезд снижает скорость до 20...40 км/ч, однако даже на столь низкой скорости тормозить поезд будет несколько десятков метров. Не подвергай себя опасности. Оставайся за стоп-линией на платформе перед приближающимся поездом".

2. Ребенок зашел в вагон, и перед ним находится схема эвакуации. Персонаж должен ее изучить. Через какое-то время происходит экстренная ситуация, например пожар. Персонажу нужно решить, как покидать вагон, вспомнив изученную ранее схему и ориентируясь в своих действиях на нее.

3. Персонаж едет в электропоезде, и так случилось, что на полпути поезд сломался на перегоне: "Что делать? Выйти из вагона или ждать инструкций машиниста?". Если игрок выбирает выйти, то игра заканчивается и всплывает пояснение о том, что "Выходить на пути в непредусмотренном для этого месте запрещено. По соседним путям может проезжать встречный поезд, его можно не заметить, и случится беда. Не подвергай себя опасности. Что бы ни происходило в пути, всегда сообщай по кнопке связи с машинистом о случившемся и жди указаний машиниста электропоезда! Покидать вагон разрешено только после инструкций машиниста".

4. Персонаж зашел в здание касс для покупки билетов на электропоезд. Но в кассах большая очередь и можно не успеть на электричку. Когда билеты приобретены, герой выходит на платформу и видит, что электричка уже видна, а ему нужно бежать на другую платформу: "Что нужно сделать? Перейти по пешеходному железнодорожному мосту? Ждать следующую электричку? Перебежать железнодорожные пути?". Если персонаж выбирает последний вариант, то игра заканчивается, всплывает окно: "Переходить железнодорожные пути возможно только в установленных для этого местах: по пешеходным переходам, мостам и тоннелям. Осознанно спускаясь на путь, ты подвергаешь себя смертельной опасности! Выходить на пути в неположенном месте запрещено! Если ты не успел на электропоезд, обратись к сотрудникам касс, тебе обязательно помогут!".

5. Персонаж в компании ребят стоит на платформе у подвижного состава. Ребята играли и случайно забросили перчатку на вагон. "Как поступить? Оставить перчатку на крыше вагона? Сообщить работнику станции о произошедшем?". При выборе ответа возникает всплывающее окно с пояснением "Напряжение в контактной сети более 3000 В. Этого напряжения достаточно, чтобы, не прикасаясь к проводу над вагоном, мгновенно сгореть. Смертельно опасно забираться на вагоны поездов. Если ты увидишь того, кто хочет забраться на вагон, — обязательно сообщи работнику станции!".

6. Персонаж находится вблизи железнодорожных путей, по громкой связи объявляют о

приближении высокоскоростного поезда (в том числе в программе и текстовое оповещение). Предлагается сделать выбор из нескольких сценариев поведения: "Как поступить? Отойти на расстояние более чем 5 м от путей? Спрятаться за кустами?". После выбора ответа появляется всплывающее окно: "Поезда Сапсан и Аллегро двигаются по путям с очень большой скоростью! Если находиться очень близко к пути, то ветром тебя может затянуть под поезд! Смертельно опасно ходить рядом с железнодорожным путем или находиться между железнодорожными путями при прохождении поезда, особенно находиться между путей, когда с двух сторон следуют поезда. Даже взрослых людей потоки ветра от поезда засасывают под колеса. Береги себя! Перед приближающимся поездом отходи от путей более чем на 5 м!".

7. В деревне персонаж решил перейти железнодорожные пути по существующему пешеходному переходу без световой и звуковой сигнализации. Персонаж в наушниках и капюшоне. При подходе к пешеходному переходу предлагается сделать выбор из следующих сценариев поведения: "Как перейти пути? Снять наушники и капюшон и посмотреть есть ли поезда? Снять только наушники? Снять капюшон?". После выбора ответа появляется всплывающее пояснение "При приближении к железнодорожному пути необходимо снять наушники и капюшон. Из-за наушников можно не услышать сигналы приближающегося поезда, а если не снять капюшон, то можно просто не увидеть поезд. Береги себя! Будь предельно внимателен, переходя железнодорожные пути даже по пешеходному переходу! Обязательно прислушайся, нет ли поблизости приближающегося поезда, и смотри по сторонам. Если ты увидишь человека в капюшоне и наушниках, переходящего пути, — обязательно останови его! Твоя внимательность может спасти чью-то жизнь!".

8. Мальчик с девочкой идут по платформе, и внезапно у девочки улетают воздушные шарики и цепляются за провода линии электропередачи. Перед детьми встает задача: "Как поступить в данной ситуации? Позвать на помощь дежурного по станции или попытаться самостоятельно достать шарики?". После выбора варианта действий появляется пояснение: "Провода, по которым проходит ток, находятся под очень высоким напряжением! Даже при приближении к ним на расстояние менее 1,5 м может возникнуть электрическая дуга, которая смертельно опасна для детей и взрослых! Никогда не залезай на столбы линий электропередачи!!!".

В **разделе "Рейтинг"** при подключении к сети Интернет есть возможность увидеть занимаемое место в своем районе, городе, области и стране по соотношению прошедших сценариев, количеству верных и неверных ответов. Данный раздел предполагает включение некоего соревновательного момента для играющего, чтобы повысить его интерес к игре.

Раздел "Навигация" предполагает несколько направлений.

Первое направление допускает возможность посмотреть через систему GPS свое местоположение и расположение ближайшего пешеходного перехода, расположение всех служб на станциях и вокзалах на железной дороге. Также доступна функция составления безопасного маршрута через железную дорогу.

Второе направление — функция оповещения детей и их родителей о приближении к опасной железнодорожной зоне, благодаря которой родитель будет в курсе возможной грозящей опасности и сможет позвонить и предостеречь своего ребенка от неверных поступков. Эта функция реализуется также через систему GPS путем наложение опасных железнодорожных зон на обычную навигационную карту, и при пересечении границы зоны происходит автоматическое оповещение абонента по средствам СМС-сообщения или Push-уведомления. Данная функция не может быть отключена на телефоне ребенка без ведома родителей.

Третьим направлением будет функция безопасного навигатора для автовладельцев, а также оповещения водителей при приближении к железнодорожным переездам со всплывающим сообщением, которое будет дублироваться звуком: "Внимание! Вы приблизились к железнодорожному переезду! Будьте предельно осторожны и осмотритесь по сторонам на наличие приближающегося поезда, перед тем как въезжать на данный переезд".

Раздел "Бонусы", где играющему предоставляется возможность трансформации накопленных баллов за каждый правильный ответ и пройденный игровой сценарий в сувенирную продукцию и скидки на приобретение билетов. Получение подарков будет возможно в ближайшем пункте выдачи, который можно найти в разделе информации, а для удаленных населенных пунктов будет осуществляться доставка почтой.

Раздел "Вопросы" содержит вопросы по правилам безопасности на железной дороге для лучшего изучения материала с пояснениями и картинками. Для детей младшего возраста пояснения приводятся в стихах со звуковым сопровождением. Для взрослых — со ссылками на законодательство РФ. Также данный раздел рассматривается как дополнительная возможность подняться в рейтинге игроков или накопить баллы и приобрести сувенирную продукцию из представленного выше раздела бонусов.

Сформулируем основные функциональные требования к разрабатываемому интерактивному приложению.

1. После первой регистрации пользователь может заходить под своим паролем неограниченное число раз.

2. При вводе правильного или неправильного ответа в игровом сюжете обязательно всплывает окно с пояснениями по ситуации. При неправильном варианте игра заканчивается без сохранения. При правильном ответе сюжет сохраняется и есть возможность играть дальше. Во всплывающем окне "Обратная связь" по завершении сюжета можно дать комментарий или задать интересующий игрока вопрос.

3. Рейтинг обучающей платформы должен быть как по региону, где в данный момент находится обучающийся, так и в масштабах города, области, страны, чтобы в конечном итоге можно было занять первое место в рейтинге по стране.

4. Навигация возможна только при соединении через GPS для составления безопасного маршрута через железнодорожные пути. Кроме того, в разделе содержится информация о расположении на вокзалах и станциях кассовых залов, справочных и других локаций.

5. В разделе "Бонусы" представлены возможные сувенирные подарки или скидки на билеты за набранные баллы в игре.

6. В разделе "Вопросы" для градации вопросов сначала должно быть всплывающее окно с вопросом о том, сколько лет играющему человеку.

Заключение

В связи с техническим прогрессом, развитием технологий и мобильной интернет-среды меняется и сознание людей, а в особенности детей и подростков. Они, как новое поколение, привыкли к современным гаджетам.

В связи с этим проведено обоснование необходимости внедрения новых и современных форматов обучения правилам безопасного поведения на железной дороге. По итогам анализа можно сделать вывод о том, что все многообразие существующих методов постепенно с течением времени может потерять свою актуальность, для чего нужно менять способы воздействия на граждан и подрастающее поколение в целом. А проведенные социологические исследования показали, что население готово к подобным изменениям.

Предложенная обучающая интерактивная игра в виде мобильного приложения по предупреждению случаев непроизводственного травматизма на железнодорожном транспорте является одной из новых форм воздействия на современное молодое поколение. При этом самый главный эффект будет в воспитании современного поколения молодежи привычным для них способом и развитии у них культуры безопасного поведения на железной дороге.

Список литературы

1. **Высокоскоростной** железнодорожный транспорт. Общий курс: Учебное пособие в 2-х томах / И. П. Киселев, Л. С. Блажко, Н. С. Бушуев и др.; Под ред. И. П. Киселева. — М., 2014. — Том 1.
2. **Автоматизированная система** управления. Информационно-справочная система АСУ ИСС "Травматизм".
3. **Комплексный план** мероприятий, направленных на повышение уровня безопасности граждан при нахождении на объектах железнодорожного транспорта. Утвержден заместителем генерального директора — главным инженером ОАО "РЖД" 7 декабря 2017 г. № 1292.
4. **План** проведения межведомственных мероприятий по профилактике травматизма граждан на объектах инфраструктуры ОАО "РЖД" в 2018 г. Утвержден заместителем генерального директора — главным инженером ОАО "РЖД" 1 декабря 2017 г. № 1273.

A. V. Panin, Professor, **A. A. Belonina,** Master, **A. M. Tinus,** Associate Professor,
e-mail: talex72@mail.ru, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

A New Approach when Working with Juveniles at the Training of Safe Behavior on the Railway Infrastructure

This work is a study and creation of an interactive training model for the effective prevention of non-industrial injuries in railway transport. The algorithm of model construction is described, and the variants of practical work with the model are considered. The model is made in the form of role-playing computer game and is intended primarily for adolescents, which is characterized by a high degree of injury in the railway transport.

Keywords: *analysis, injuries, railway transport, safety, mobile application*

References

1. **Vysokoskorostnoj** zheleznodorozhnyj transport Obshchij kurs. Uchebnoe posobie v 2-h tomah / I. P. Kiselev, L. S. Blazhko, N. S. Bushuev i dr.; Pod redakciej I. P. Kiseleva. Moscow, 2014. Vol. 1.
2. **Avtomatizirovannaya sistema** upravleniya. Informacionno spravochnaya sistema ASU ISS "Travmatizm".
3. **Kompleksnyj plan** meropriyatij, napravlennyh na povyshenie urovnya bezopasnosti grazhdan pri nahozhdenii na ob"ektah zheleznodorozhnogo transporta. Utverzhden zamestitelem general'nogo direktora — glavnym inzhenerom OAO "RZHD" 7 dekabrya 2017 g. No. 1292.
4. **Plan** provedeniya mezhvedomstvennyh meropriyatij po profilaktike travmatizma grazhdan na ob"ektah infrastruktury OAO "RZHD" v 2018 g. Utverzhden zamestitelem general'nogo direktora — glavnym inzhenerom OAO "RZHD" 1 dekabrya 2017 g. No. 1273.

УДК 624.1:699.87:61

А. М. Сазонова, канд. техн. наук, ст. преп., e-mail: amm_2005@mail.ru,
О. И. Копытенкова, д-р мед. наук, проф., проф. кафедры,
Е. А. Шилова, канд. мед. наук, доц., доц. кафедры, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Способы снижения негативного воздействия биологических факторов подземных пространств на здоровье человека

Рассмотрена проблема негативного воздействия биологического фактора подземного пространства на организм человека. Отмечено, что наиболее действенным подходом к снижению риска, связанного с биологическими агентами, является применение биоцидных средств. Приведены результаты сравнительного анализа применяемых на отечественном рынке препаратов на основе фенола, активного хлора, перекисных соединений и биоцидов, разработанных на основе полигексаметиленгуанидина (ПГМГ). Произведена оценка основных свойств и показателей распространенных препаратов ПГМГ, позволяющая сделать наиболее оптимальный выбор средств для снижения негативного воздействия биологических факторов в подземном пространстве. Отмечено, что управление риском возникновения патологических состояний, связанных с биологическими факторами, возможно уже на начальных этапах строительства и эксплуатации сооружений, при их ремонте и реконструкции. С этой точки зрения особый интерес представляют строительные материалы, содержащие биоцидные препараты. Приведены данные результатов промышленных испытаний подобных материалов. Обоснован выбор российских препаратов ПГМГ, рекомендуемых для снижения риска негативного воздействия биологических факторов и создания безопасных условий жизнедеятельности при освоении и использовании подземного пространства.

Ключевые слова: *биодеструкция, биологический фактор, биоцидные краски, биоцидные средства, оценка риска, подземные сооружения, полигексаметиленгуанидин (ПГМГ), риск, строительные материалы, строительство*

Освоение подземного пространства имеет давнюю историю, являясь решением многих проблем урбанизированных территорий, развития их промышленности, транспорта, инфраструктуры обеспечения. Начиная с доисторических пещер и катакомб и до настоящего времени продолжается человеческая экспансия под землю, охватывая все большее число людей, подвергающееся в той или иной степени влиянию факторов подземной среды физической, химической и биологической природы.

Под биологическими факторами необходимо понимать совокупность биологических агентов (в том числе макро- и микроорганизмов), продукты их метаболизма, а также продукты биологического синтеза, которые при воздействии на организм человека и окружающую среду оказывают негативное влияние. Для развития заболеваний, вызванных действием биологических агентов, необходимы следующие условия: патогенный или условно-патогенный возбудитель или его производные (продукты и формы жизнедеятельности), благоприятная среда и восприимчивый организм — человек с иммунодефицитным статусом [1, 2].

В связи с тем, что постоянно расширяется круг лиц, находящихся под воздействием биологических факторов подземной среды, представляется важным оценить риск возможного ухудшения здоровья для дальнейшего планирования мероприятий, направленных на снижение риска вплоть до ликвидации.

Процедура оценки риска воздействия биологического фактора, независимо от его природы, должна проводиться комплексно, включая следующие стадии.

- Определение с учетом конкретных подземных объектов наличия опасных биологических агентов, потенциально восприимчивых лиц, благоприятных условий для возникновения заболеваний.
- Выявление причин, способствующих наличию и распространению биологических агентов.
- Обследование и изучение состояния здоровья лиц, контактирующих с биологическим

агентом, включая моделирование, состоящее из построения математической модели на основе эпидемиологических и микробиологических данных.

- Выделение и градация уровней риска воздействия биологического фактора.

Завершением оценки риска воздействия биологического фактора может стать планирование и реализация мероприятий по управлению риском возникновения и развития патологических состояний. При этом необходимо учитывать, что биологический фактор подземной среды имеет ряд отличительных особенностей. Прежде всего, это высокая концентрация и многообразный видовой состав микромицетов (плесневых и дрожжевых грибов) и споровых форм бактерий. Следующей особенностью является сосуществование биологических агентов в виде сообществ или биопленок, затрудняющее идентификацию и подбор средств их ликвидации. Также затрудняет борьбу с биологическими факторами их поступление из природных очагов подземной среды.

Наиболее действенным и распространенным подходом к снижению риска, связанного с биологическими агентами, вызывающими заболевания у людей, а также биодеструкцию материалов, биообрастание оборудования, является применение биоцидных средств.

На отечественном рынке до настоящего времени применяют фенольные препараты, дезсредства, содержащие активный хлор, перекисные соединения, которые являются довольно токсичными, обладающими сенсибилизирующими, раздражающими кожу и слизистые оболочки действиями. Кроме того, эти средства могут оказывать коррозионное и деструктивное действие на обрабатываемые материалы, обладать резким запахом и невысокой активностью к ряду биологических агентов, например к плесневым грибам и споровым формам бактерий.

Препаратами выбора в данном случае можно назвать биоцидные дезинфектанты, разработанные на основе полигексаметиленгуанидина (ПГМГ) — производного гуанидина и, в основном, используемые в форме его солей полигексаметиленгуанидин фосфат (ПГМГ-Ф) или полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ-ГХ). Исследования показали, что ПГМГ проявляет антибактериальную и противогрибковую активность, также оно эффективно против биопленок и обладает моющими, антикоррозионными и флокулирующими свойствами [3].

Биоцидное действие ПГМГ обусловлено тем, что фосфолипидные клеточные мембраны микроорганизмов, обладающие отрицательным зарядом, эффективно сорбируют биоцидный поликатион, который разрушает клеточную мембрану, ингибирует обменную функцию ферментов, нарушает воспроизводящую способность нуклеиновых кислот и белков. Такое воздействие наряду с разрушением стенок клетки приводит к гибели микроорганизмов. По своим физическим свойствам ПГМГ удобны в применении: это твердые, хорошо растворимые в воде вещества, они стабильны и безопасны при хранении (срок испытания 15 лет), не имеют цвета и запаха. Они также безопасны в экологическом отношении: попадая на дно водоема, они разлагаются на простые, нетоксичные вещества под влиянием активного ила, у них не обнаружено мутагенного и канцерогенного действия [4].

Препараты ПГМГ длительно хранятся, не теряя биоцидной активности, после высыхания растворов на обработанных поверхностях образуется тонкая полимерная пленка, обеспечивающая длительную асептичность поверхности. Обладая высоким биоцидным эффектом по отношению ко многим микроорганизмам, соли ПГМГ относятся к IV классу (малоопасные вещества) при кожном пути поступления в организм и к III классу (умеренно опасные вещества) при поступлении через желудок. Низкая токсичность ПГМГ для теплокровных объясняется тем, что в организме имеются ферментные системы, способные метаболизировать эти полимеры [5].

Сравнительная характеристика распространенных препаратов, представленная в табл. 1, позволяет сделать наиболее оптимальный выбор средств для снижения негативного воздействия биологических факторов в подземном пространстве.

Российские препараты биопаг и фосфопаг, представленные в таблице, относятся к дезсредствам ПГМГ и отличаются высокой эффективностью также в отношении вирусов. Низкая токсичность позволяет использовать их при наличии людей в обрабатываемых помещениях. Так, препарат биопаг рекомендован для дезинфекции поверхностей в помещениях (полов, стен, дверей, подоконников), жесткой мебели, сантехнического оборудования в лечебных учреждениях, детских учреждениях, на коммунальных объектах, в гостиницах, на предприятиях общественного питания, а также для использования в целях дезинфекции железнодорожного транспорта и метрополитена.

Необходимо подчеркнуть, что управление риском возникновения патологических состояний, связанных с биологическими факторами, возможно уже на начальных этапах строительства и эксплуатации сооружений, при их ремонте и реконструкции. Особый интерес представляют строительные

Таблица 1

Сравнительная характеристика распространенных биоцидных средств

Основные свойства и показатели	Хлорамин (Россия)	Септабик (Израиль)	Биопаг (Россия)	Фосфопаг (Россия)	Хлоргексидина биглюконат (Англия)
Активность в отношении споровых форм бактерий	Умеренная	Активен	Активен	Активен	Активен
Зеленые водоросли	Умеренная	Активен	Активен	Активен	Активен
Грибки	Умеренная	Высокая	Умеренная	Умеренная	Умеренная
Токсичность	Токсичен	Умеренно токсичен	Малотоксичен	Малотоксичен	Малотоксичен
Раздражающее действие на кожу и слизистые	Выраженное	Умеренное	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Запах	Выраженный едкий	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Коррозионное действие	Выраженное	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Моющие свойства	Отсутствуют	Выраженные	Выраженные	Выраженные	Выраженные
Взаимодействие с поверхностями и тканями	Обесцвечивает, оставляет следы и пятна	Оставляет следы и пятна	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
Расход рабочего раствора на 1 м^2, мл	200...300	150...200	100...200	100...200	200...300
Стоимость обработки 1 м^2 поверхности, у.е.	0,003	0,45	0,023	0,038	1,5

материалы, содержащие биоцидные препараты. Например, разработаны биоцидные краски серии "Биокрапаг", включающие препараты биопаг или фосфопаг в качестве антимикробных компонентов. В табл. 2 представлены результаты испытаний биоцидного действия красок "Биокрапаг". Промышленные испытания биоцидных красок показали, что их применение обеспечивает высокий уровень санитарно-гигиенической защиты в течение длительного времени [6].

В заключение следует отметить, что российские препараты биопаг и фосфопаг по своим характеристикам не уступают зарубежным средствам, экономически более выгодны, что делает их препаратами выбора, рекомендуемыми для применения в целях снижения риска негативного воздействия биологических факторов и создания безопасных условий жизнедеятельности при освоении и использовании подземного пространства.

Таблица 2

Биоцидное действие красок серии "Биокрапаг"

Краска	Вид тест-микроорганизма			
	Бактерии E.coli	Вирусы (Колифаг MS-2)	Грибы (*Penicillium chysogenum*)	Споры (*Bacillus cereus*)
	Степень инактивации тест-микроорганизмов на окрашенных поверхностях, %/время контакта			
Биокрапаг-1 (масляная)	100 %/10 мин	100 %/10 мин	95 %/30 мин	86 %/3 ч
Биокрапаг-2 (пентафталевая)	100 %/10 мин	100 %/24 ч	89 %/30 мин	86 %/3 ч
Биокрапаг-3 (нитроцеллюлозная)	100 %/3 ч	95 %/3 ч	Нет данных	Нет данных
Биокрапаг-4 (водоэмульсионная)	100 %/30 мин	100 %/60 мин	96 %/24 ч	Нет данных

Список литературы

1. **Сазонова А. М., Копытенкова О. И., Стасева Е. В.** Комплексное воздействие антропогенно детерминированных факторов подземного пространства на здоровье человека // Экологические проблемы современности: выявление и предупреждение неблагоприятного воздействия антропогенно детерминированных факторов и климатических изменений на окружающую среду и здоровье населения. Материалы Международного Форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды. — 2017. — С. 418—421.
2. **Копытенкова О. И., Шилова Е. А., Сазонова А. М.** Комплексный подход к оценке биодеструктивных факторов при освоении подземного пространства // Интернет-журнал Науковедение. — 2015. — Т. 7. — № 1 (26). — С. 74—77.
3. **Walczak M., Richert A., Burkowska-But A.** The effect of polyhexamethylene guanidine hydrochloride (PHMG) derivatives introduced into polylactide (PLA) on the activity of bacterial enzymes // Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology. — 2014. — No. 52. — С. 1719—1724.
4. **Ефимов К. М., Гембицкий П. А., Снежко А. Г.** Полигуанидины — класс малотоксичных дезсредств пролонгированного действия // Дезинфекционное дело. — 2000. — № 4. — С. 13—19.
5. **Гигиенические** заключения по использованию препаратов для очистки и обеззараживания воды: Биопаг — № 77.99.4.515.П. 10909.5.00 от 03.05.2000 г., Фосфопаг — № 77.99.4.515.П. 10910.5.00 от 03.05.2000 г., Цеопаг — № 77.99.4.515.П. 10908.5.00 от 03.05.2000 г.
6. **Инструкции** № 1/07, № 2/09 по применению дезинфицирующего средства "Биопаг-Д".

A. M. Sazonova, Senior Lecturer, e-mail: amm_2005@mail.ru,
O. I. Kopytenkova, Professor of Chair, **E. A. Shilova,** Associate Professor,
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Negative Impact Reduction Method of Biological Factor of Underground Spaces For Human Health

The problem of the biological factor negative impact on the human body and building materials when using underground space was considered. It was noted that the most effective approach to reducing the risk associated with biological agents is the use of biocide. The comparative analysis results of preparations used in the domestic market on the basis of phenol, active chlorine, peroxide compounds and biocides developed on the basis of polyhexamethylenguanidine (PHMG) are presented. The assessment of the main properties and indicators of common PHMG preparations was made, which allows to make the most optimal choice of means to reduce the negative impact of biological factors in the underground space. It was noted that the risk of pathological conditions associated with biological factors can be managed at the initial stages of construction and usage of facilities, their repair and reconstruction. In this view, building materials containing biocide preparations are of particular interest. The data of the results of industrial tests of such materials were presented. The choice of Russian PHMG preparations recommended to reduce the risk of negative impact of biological factors and to create safe living conditions for the development and use of underground space was justified.

Keywords: *biodegradation, biological factors, biocidal paints, biocides, risk assessment, underground structures, polyhexamethyleneguanidine (PHMG), risk, construction materials, construction*

References

1. **Sazonova A. M., Kopytenkova O. I., Staseva E. V.** Kompleksnoe vozdejstvie antropogenno determinirovannyh faktorov podzemnogo prostranstva na zdorov'e cheloveka. *Jekologicheskie problemy sovremennosti: vyjavlenie i preduprezhdenie neblagoprijatnogo vozdejstvija antropogenno determinirovannyh faktorov i klimaticheskih izmenenij na okruzhajushhuju sredu i zdorov'e naselenija. Materialy Mezhdunarodnogo Foruma Nauchnogo Soveta Rossijskoj Federacii po jekologii cheloveka i gigiene okruzhajushhej sredy.* 2017. P. 418—421.
2. **Kopytenkova O. I., Shilova E. A., Sazonova A. M.** Kompleksnyj podhod k ocenke biodestruktivnyh faktorov pri osvoenii podzemnogo prostranstva. *Internet-zhurnal Naukovedenie.* 2015. Vol. 7. No. 1 (26). P. 74—77.
3. **Walczak M., Richert A., Burkowska-But A.** The effect of polyhexamethylene guanidine hydrochloride (PHMG) derivatives introduced into polylactide (PLA) on the activity of bacterial enzymes. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology.* 2014. No. 52. P. 1719—1724.
4. **Efimov K. M., Gembickij P. A., Snezhko A. G.** Poliguanidiny — klass malotoksichnyh dezsredstv prolongirovannogo dejstvija. *Dezinfekcionnoe delo.* 2000. No. 4. P. 13—19.
5. **Gigienicheskie** zakljuchenija po ispol'zovaniju preparatov dlja ochistki i obezzarazhivanija vody: Biopag — No. 77.99.4.515.P. 10909.5.00 ot 03.05.2000 g., Fosfopag — No. 77.99.4.515.P. 10910.5.00 ot 03.05.2000 g., Ceopag — No. 77.99.4.515.P. 10908.5.00 ot 03.05.2000 g.
6. **Instrukcii** No. 1/07, No. 2/09 po primeneniju dezinficirujushhego sredstva "Biopag-D".

УДК 656.087

Р. Г. Ахтямов, канд. техн. наук, доц. кафедры, e-mail: ahtamov_zchs@mail.ru,
Т. С. Титова, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, проректор,
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Совершенствование комплекса мероприятий по ликвидации разлива нефти на водной поверхности с загрязнением источника водоснабжения

Приведен алгоритм организации работ по ликвидации разлива нефти на водной поверхности, а также результаты анализа существующих методов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. Для совершенствования комплекса мероприятий по ликвидации разлива нефти на водной поверхности приведены основные требования, предъявляемые к нефтесорбирующим материалам. Разработан и приведен комплекс мероприятий по ликвидации разлива нефти с загрязнением источника водозабора в результате разгерметизации подводного перехода, а также технология очистки береговой полосы от нефтяного загрязнения.

Ключевые слова: *разлив нефти, подводный переход, магистральный нефтепровод, локализация пролива, боновое заграждение*

Повышенный риск эксплуатации любого подводного перехода по сравнению с основной частью магистрального нефтепровода определен значительным экологическим ущербом, причиняемым водному объекту, и экономическими затратами на ликвидацию разлива нефти.

Трубопроводный транспорт является одной из составляющих как всей экономики страны, так и отдельных производств и отдельных технических устройств. Объекты нефтепроводного транспорта относятся к категории повышенной опасности. Несмотря на сравнительно небольшой удельный вес (2,5 %) от общей протяженности магистральных нефтепроводов (52,5 тыс. км), подводные переходы через водные преграды являются наиболее ответственными сооружениями линейной части. Повышенный риск эксплуатации любого подводного перехода по сравнению с основной частью магистрального трубопровода определяется не столько вероятностью возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС), сколько большими экологическими проблемами и экономическими затратами на устранение ее последствий. Последствия ЧС, вызванной разливом нефти в водный объект, усугубляются, если водная преграда является источником питьевого

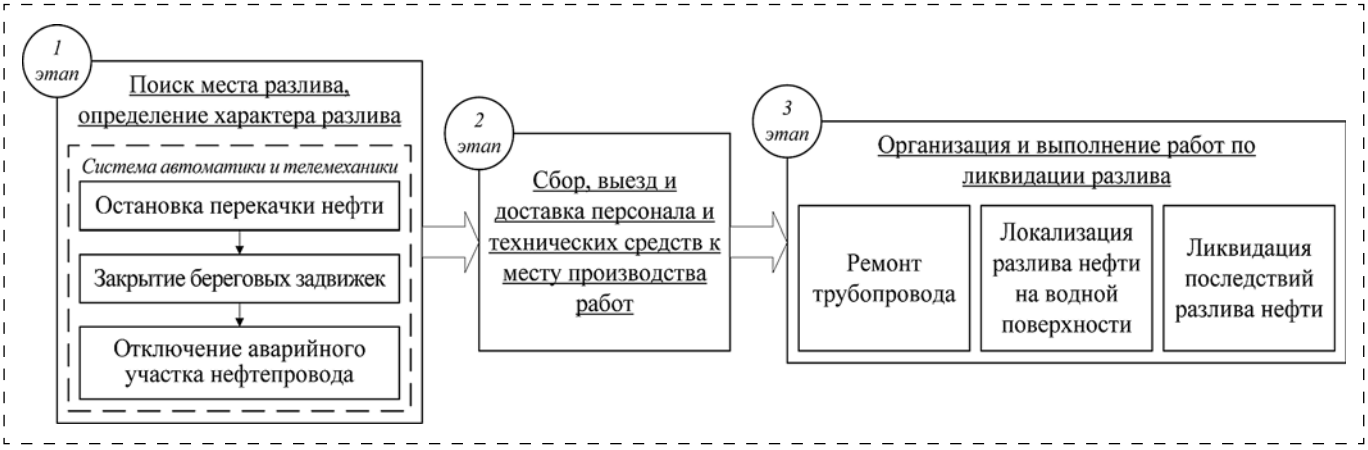


Рис. 1. Организация работ по ликвидации разлива нефти на водной поверхности

водоснабжения населенного пункта. Снижение уровня воздействия разливов нефти на окружающую природную среду и, в частности, на водный объект является актуальной задачей.

При локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов необходимо осуществление комплекса работ, требующих применения различных методов и необходимых технических средств. С момента получения сообщения о разливе нефти организуется выполнение мероприятий, направленных на его локализацию и ликвидацию, которые осуществляются в три этапа (рис. 1). Как видно из рисунка, работы по ремонту трубопровода и локализации разлива нефти и ликвидации его последствий производятся параллельно, что позволяет экономить время на производство работ по ликвидации ЧС.

В комплекс работ по локализации разлива нефти на водной поверхности входят [1]:

— локализация пятна нефтепродукта на акватории с целью его последующего сбора;

— защита от загрязнения нефтепродуктом береговых сооружений, пляжей, заповедных зон, водозаборов, рыбоводных сооружений и других объектов.

Локализация нефти на поверхности водных объектов осуществляется установкой боновых заграждений (БЗ) под углом к динамической оси потока, вдоль которого происходит распространение нефтяного пятна. Боновые заграждения подразделяются на несколько видов [2]:

— направляющие — применяются для смещения нефтяного пятна;

— улавливающие — применяются для локализации и сбора нефти;

— защитные — предназначены для защиты береговых сооружений и береговой территории от загрязнения.

На рис. 2 приведена схема размещения транспортных средств для локализации и ликвидации разлива нефти.

Способы установки боновых заграждений ограничены условиями, перечисленными в табл. 1.

Угол установки бонов относительно динамической оси потока определяется скоростью течения реки и способностью бонов удерживать нефть. Зависимость угла установки бонового заграждения от скорости течения реки показана в табл. 2 [3].

Боновые заграждения могут устанавливаться в несколько рядов в зависимости от объема и интенсивности выхода нефти. По возможности они должны полностью перекрывать русло реки.

Существует несколько методов ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов (ННП): механический, термический, физико-химический и биологический.

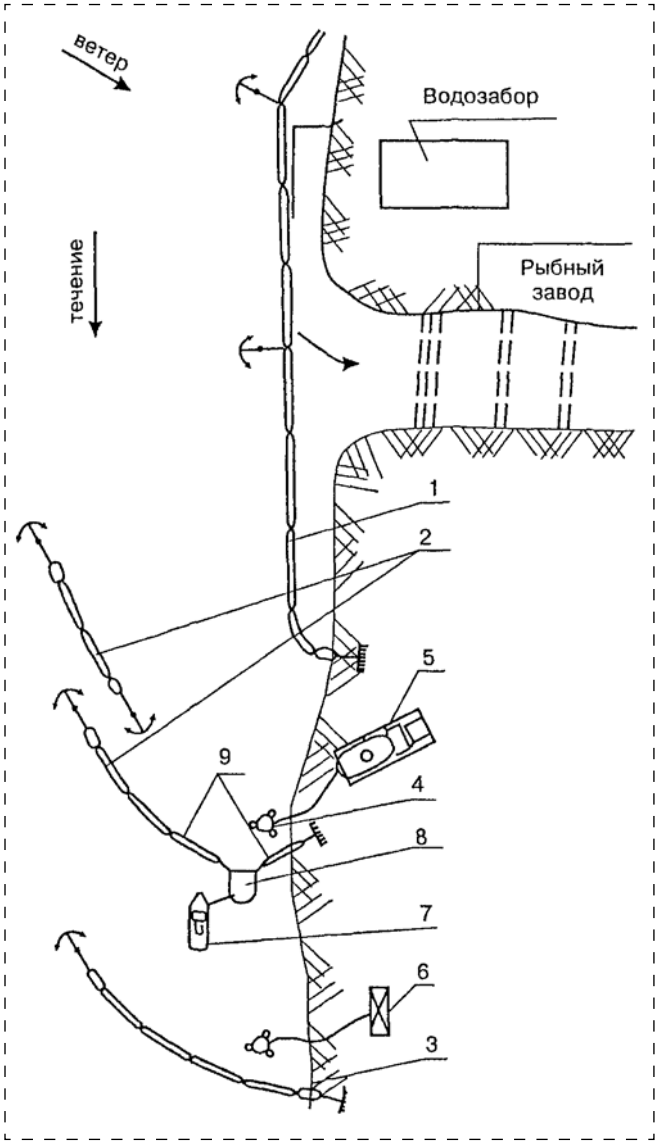


Рис. 2. Схема размещения транспортных средств для локализации и ликвидации разлива нефти:
1 — защитное БЗ; *2* — двухъярусное БЗ (основные линии); *3* — дублирующее БЗ; *4* — нефтесборное устройство; *5* — вакуумный автомобиль; *6* — отстойник; *7* — баржа; *8* — нефтесборщик; *9* — направляющие линии к нефтесборщику

В табл. 3 представлены результаты анализа существующих методов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.

При выборе метода ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов целесообразно исходить из следующих принципов:

— все работы должны быть проведены в кратчайшие сроки;

— проведение операции по ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов не должно нанести больший экологический ущерб, чем сам разлив.

Наиболее простой и распространенный способ очистки — ручной сбор. В качестве

Таблица 1

Условия установки боновых заграждений

Способ установки БЗ	Условия установки БЗ
Направляющие боны	Применяются для смещения нефтяного пятна к берегу в зону малых скоростей. Устанавливаются на реках со скоростями течения 0,5 м/с
Полупроточный вариант установки	Устанавливаются в комплекте с нефтесборщиком высокой производительности на широких реках (более 300 м)
Улавливающие боны	Устанавливаются под углом к динамической оси потока для смещения нефтяного пятна к берегу в зону малых скоростей, локализации и сбора нефти
Стопроцентное перекрытие русла реки	Применим для малых рек, несудоходных рек и рек со скоростями течения до 0,3 м/с

Таблица 2

Угол установки бонового заграждения

Скорость течения, м/с	Угол установки БЗ, град.
0...0,1	90
0,1...0,3	45
0,3...0,6	30
0,6...1,2	20
1,2...2,4	15

приспособлений и подручных средств для такого сбора используются ручные и механические насосы и помпы, лопаты, мох и т. п. Для складирования, временного хранения и перевозки собранного загрязнения применяются различные резервуары — резиновые и полиэтиленовые мешки, бочки, канистры и т. п.

Основными техническими средствами для ликвидации разливов нефти, а также систематической очистки акваторий являются нефтесборные устройства, которые классифицируются по характеру собираемых нефтезагрязнений и по способу передвижения (рис. 3).

Сбор нефтеразливов на водной поверхности осуществляется специализированными судами — нефтесборщиками, прибывающими в район разлива самостоятельно или с помощью специальных судов. На рис. 4 приведены типы нефтесборщиков, в основу работы которых положены различные принципы.

Таблица 3

Анализ существующих методов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов

Метод	Возможность применения	Достоинства	Недостатки
Термический	При толщине пленки ННП более 3 мм, скорости ветра менее 35 км/ч, безопасном расстоянии до 10 км от места сжигания по направлению ветра; дополнительные противопожарные меры	Быстрота ликвидации разлива ННП; применение при ликвидации малого количества технических средств; минимальные затраты	Осуществление дополнительных мер пожарной безопасности; образование из-за неполного сгорания нефтепродуктов стойких канцерогенных веществ, сильное дымообразование
Механический	При наличии насосных станций, обеспечивающих требуемую интенсивность перекачивания	Высокая эффективность при проведении работ; возможность сбора различных видов ННП; всесезонное использование данного метода	Остаточная тонкая пленка ННП на поверхности воды в местах механического сбора
Физико-химический (использование диспергентов)	Диспергенты как вспомогательный метод в тех случаях, когда механический сбор ННП невозможен; при глубине свыше 10 м, температуре воды ниже 5 °С и наружного воздуха ниже 10 °С	Диспергенты: возможность оперативного проведения ликвидации; использование с различными токсическими средствами. Сорбенты: независимость применения от внешних условий; минимальные расходы на хранение и транспортировку	Токсичность диспергентов; ограниченность применения по температуре
Биологический	Как дополнительный метод: на водной поверхности — при толщине пленки не менее 0,2 мм; на почве — при строгом выполнении комплекса мероприятий по биологическому разложению нефти	Минимальный дополнительный ущерб от проведения операций по ликвидации разлива	Трудоемкость мероприятий по биологическому разложению нефти; продолжительные сроки ликвидации разливов

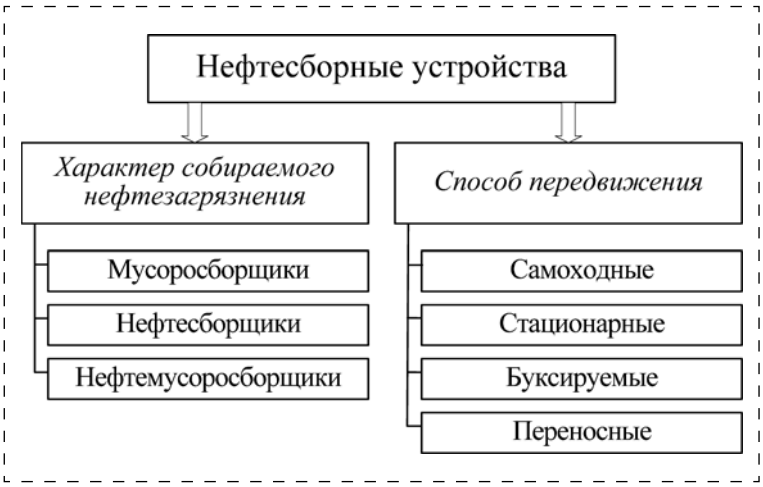


Рис. 3. Классификация нефтесборных устройств

В нефтесборщиках с устройством адсорбционного типа для сбора нефти используется материал, впитывающий водонефтяную эмульсию и проходящий через отжимные валики, после чего нефть с незначительной степенью обводнения стекает в нефтесборщик.

В нефтесборщиках с устройством адгезионного типа сбор нефти построен на принципе слипания различных твердых и жидких тел (фаз), соприкасающихся своими поверхностями. Плавающая нефть налипает на поверхность устройства, состоящего из вращающегося полупогруженного барабана, набора дисков и бесконечной конвейерной ленты. Затем устройство извлекается из воды, а налипшая нефть соскабливается в емкость плотно прижатыми к его поверхности скребками.

В нефтесборщиках с устройством порогового типа сбор плавающей нефти основан на протекании поверхностного слоя воды определенной толщины в емкость за счет понижения уровня в ней по отношению к поверхности воды. Особенностями этих технических средств являются широкий диапазон технологических возможностей, простота конструкции, высокая степень надежности.

Нефтесборщик обеспечивает предварительный отстой собираемой смеси нефтепродукта с водой и ее выкачку. В отстойнике нефтесборщика нефтепродукт предварительно отстаивается, отделяется от воды и откачивается в сторонние емкости. Вода по мере накопления в отстойнике откачивается за борт в локализованную зону. Нефтепродукт и вода из отстойника выкачиваются насосом нефтесборщика [4].

В местах, недоступных для основного нефтесборщика (на мелководье, в зарослях, у береговой полосы), а также в улавливающих траншеях зимой разлившаяся нефть собирается с помощью нефтесборных устройств, которые обеспечивают сбор смеси нефтепродукта с водой и выкачку ее в береговую отстойную емкость (резиновый или металлический резервуар, автоцистерна, котлован) или в плавучую емкость (баржа, понтон). Приемник нефтесборного устройства перемещается вручную в места наибольшего скопления нефтепродукта [2].

Смывание нефти с береговой полосы производится гидромониторами, поливомоечными машинами, передвижными насосными агрегатами и т.п. Смыв нефтепродукта производится по направлению к нефтесборному устройству или приемному окну нефтесборщика. По мере обработки зона очистки смещается вниз по реке.

Если позволяет рельеф местности и твердость грунта, то загрязненный пологий берег очищают

Рис.4. Типы нефтесборщиков

с помощью специализированной техники. Срезание верхней части грунта (5 см), пропитанного нефтепродуктом, и формирование валков выполняют бульдозером, скрепером или автогрейдером. Для погрузки собранного грунта используют экскаваторы. Транспортировку собранного грунта в отведенное место осуществляют автомобилями-самосвалами. При работе землеройно-транспортных машин в условиях береговой полосы лимитирующими показателями являются твердость грунта и наклон береговой полосы [3].

При использовании для сбора нефтепродукта землеройно-транспортных машин требуется ручная работа, так как после машин остаются небольшие необработанные участки.

Способы очистки участка, покрытого растительностью, выбираются в зависимости от ее типа. Загрязненная трава полностью удаляется. На участках, где использование машин невозможно, трава выкашивается вручную. Загрязненные кустарники и деревья очищают струями воды, подаваемой из ствола давлением 0,6...0,8 МПа. При низкой температуре воздуха целесообразно пользоваться теплой водой температурой 30...40 °С.

В целях предохранения нефтепродукта от испарения в атмосферу и растворения в воде при сборе разлившейся нефти применяются сорбенты.

Основными требованиями, предъявляемыми к нефтесорбирующим материалам, являются:

— безвредность для окружающей среды;

— нефтеемкость — количество поглощенного нефтепродукта на единицу массы сорбента;

— гидрофобность — сорбент не должен впитывать воду;

— возможность регенерации и повторного использования;

— технологичность изготовления и применения — удобство нанесения на поверхность и удаление;

— доступная стоимость.

Сорбенты разделяются на три типа: неорганические, природные органические и искусственные органические. Выпускаются в виде полос, ковриков, матов, валиков, боновых заграждений, подушек и свободно разбрасываемого сорбента [4].

Сорбенты, обладающие пористостью структуры и гидрофобностью, специально обработанные для избирательной способности к нефтепродуктам, быстро впитывают (0,5...2,0 ч) и удерживают в себе нефтепродукт.

Сорбенты в виде порошков или крошки распыляются по поверхности разлива нефти с помощью вертолетов, вентиляторов, гидравлических струй, специальных пушек или вручную. Сорбент с нефтепродуктом собирается нефтесборщиком или вручную сачками с мелкой сеткой. Сорбенты в виде лент ткани, матов, салфеток опускаются в нефтепродукт, извлекаются и отжимаются (регенерируются) от нефтепродукта в специальных валиках или прессах и используются многократно. Нефтепродукт, собранный при регенерации сорбента, очищается и используется по назначению. Сорбенты разового применения после использования сжигают.

Для уничтожения нефтяной пленки в тех случаях, когда она угрожает загрязнением приоритетных зон, применяется метод диспергирования с помощью препаратов — диспергентов. Диспергенты — специальные химические вещества, которые превращают плавающую на поверхности нефтяную пленку в водорастворимую эмульсию в виде мелких капель, взвешенных в большом объеме воды, в результате чего ускоряются естественные процессы биологического разложения нефти.

Диспергенты состоят из поверхностно-активных веществ и растворителей. Диспергенты уменьшают поверхностное натяжение на границе раздела воды и нефти, что приводит к взвешиванию нефти в верхнем слое водной толщи от 5 до 10 м в виде мельчайших (20...70 мкм) капелек. Течение воды быстро разносит нефть, уменьшая ее концентрацию до низких значений (менее 1 части на миллион). В результате этого нефть становится более доступной бактериям, разлагающим углеводороды, что ускоряет ее удаление из окружающей среды [4].

Диспергенты наиболее эффективны, если с момента разлива нефти прошло не более 72 ч и температура окружающей среды выше 5 °С. Их не рекомендуется применять на мелководье на глубинах менее 10 м. Диспергенты для рассеивания пятна нефтепродукта применяют только при крайней необходимости в условиях моря для рассеивания нефтепродукта с целью его дальнейшего биологического разложения.

Сжигание разлива нефти допускают в случаях, когда невозможна доставка транспортных средств, а значительный ущерб от загрязнения водоема неизбежен. При образовании тонкой нефтяной пленки на водной поверхности горение прекращается из-за теплоотвода в толщу воды. Устойчивое горение не достигается при толщине пленки менее 2 мм. Поэтому для осуществления контролируемого сжигания разлитой нефти первоначально производится локализация нефтяного разлива, утолщение слоя нефти (до нескольких см) с целью ее последующего поджога и сжигания. При сильном ветре приступать к сжиганию нельзя из-за переноса горения на другие объекты.

При ликвидации ЧС, вызванной разливом нефти с загрязнением источника водозабора в результате разгерметизации подводного перехода, необходимо выполнение комплекса разнообразных работ, обеспечивающих как ликвидацию разлива нефти, так и

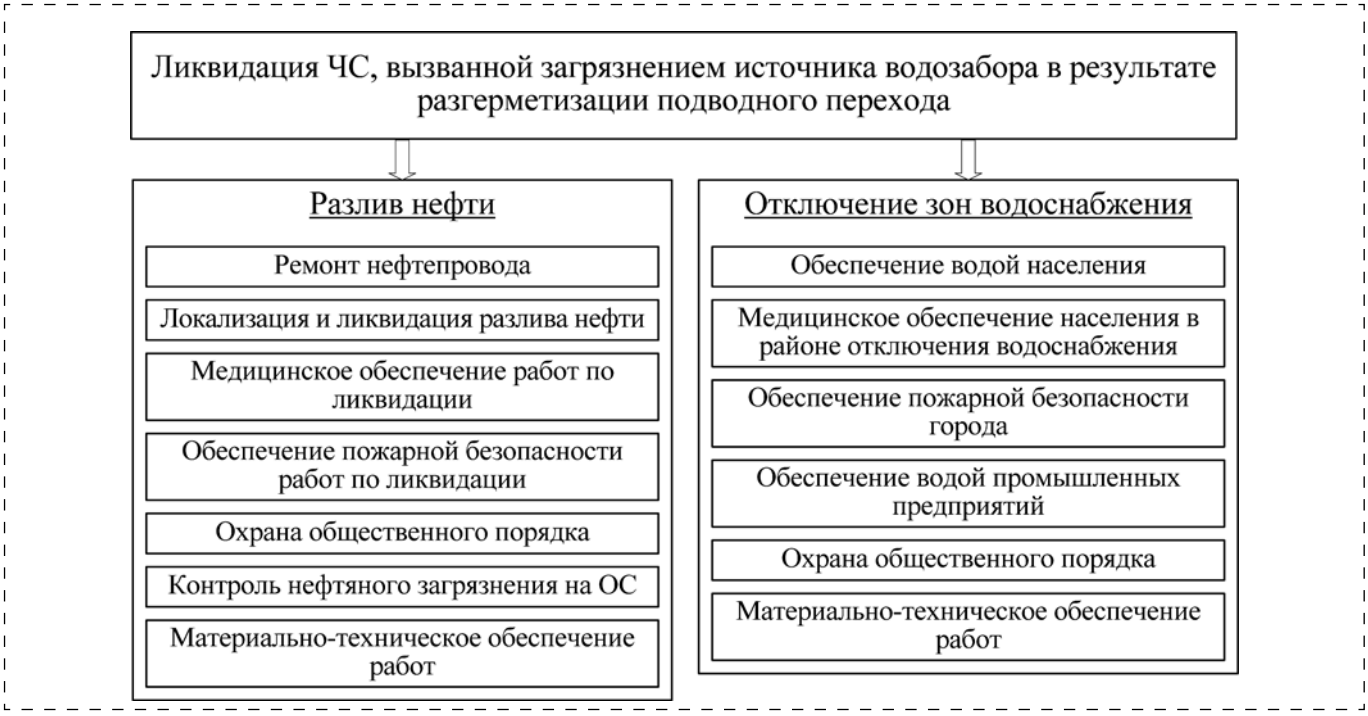


Рис. 5. Комплекс мероприятий по ликвидации ЧС, вызванной разливом нефти с загрязнением источника водозабора в результате разгерметизации подводного перехода

мероприятия по обеспечению водой населения, попавшего в зоны отключения водоснабжения (рис. 5).

Значительная часть нефтепродукта, растекаясь по поверхности воды под действием течения реки, ветра, волн и сил поверхностного натяжения, быстро достигает берегов, задерживается на неровностях, заплескивается на прибрежную полосу и размазывается по ней. Технология очистки берегов от нефти представлена на рис. 6.

Мероприятия по ликвидации пролива нефти должны вестись в оптимальном технологическом алгоритме, не допускающем взаимоисключающих и неэффективных действий. Анализ мероприятий по ликвидации произошедших разливов нефти на водную поверхность показывает, что наибольшую длительность имеют работы по очистке береговой полосы от загрязнения. В свою очередь, протяженность загрязненной береговой полосы можно

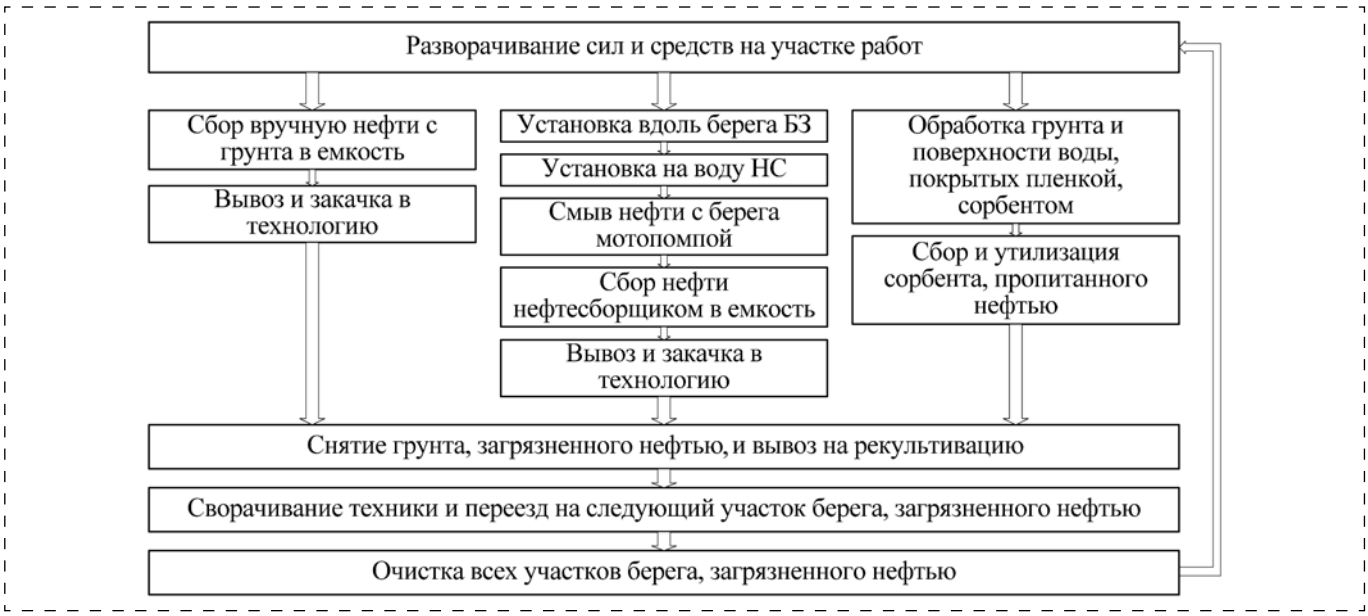


Рис. 6. Технология очистки береговой полосы от нефтяного загрязнения

сократить, если обеспечить своевременный перехват нефтяного пятна и прекращение его дальнейшего распространения.

Время подготовки бонового заграждения на суше, развертывания и крепления на воде занимает 90...120 мин, что превышает запас времени на локализацию, поэтому полностью локализовать пятно нефти не удается. Чтобы сократить время установки бонового заграждения, можно использовать всплывающие боновые заграждения, которые устанавливаются заблаговременно на рубежах локализации [5].

Аварийное всплывающее боновое заграждение находится на дне и поднимается на поверхность только в случае разлива нефти и нефтепродуктов. Каждая секция такого бона снабжена впускными невозвратными клапанами и травяще-предохранительными клапанами. Чтобы после ликвидации разлива положить такой бон на грунт, нужно с борта плавсредства выпустить газ из каждой секции последовательно. Такие всплывающие боновые заграждения выставляются для предотвращения распространения нефти при ее разливе. Этот тип боновых заграждений также целесообразно выставлять на реке вблизи подводного перехода. Для аварийного бонового заграждения в качестве станции газонаполнения используются баллоны высокого давления. Рассмотренная конструкция боновых заграждений обеспечивает оперативность развертывания: боны полностью перегораживают реку через 2...3 мин.

Таким образом, при локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на водной поверхности вследствие разрушения подводного перехода магистрального нефтепровода необходимо осуществление комплекса работ, требующих применения различных методов и использования необходимых технических средств. Предложенный комплекс мероприятий по организации работ при ликвидации разлива нефти на водной поверхности и результаты анализа существующих методов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов позволят сократить время локализации и ликвидации разлива с учетом оптимального выбора технологии очистки береговой полосы от нефтяного загрязнения.

Список литературы

1. **Оценка** влияния скорости ветра на распространение пожара при горении нефти на водной поверхности / А. Н. Елизарьев, Р. Г. Ахтямов, Э. С. Хаертдинова, Г. Г. Сафуганова // Нефтегазовое дело. — 2012. — Т. 10 — № 1. — С. 90—93.
2. **РД 153-39.4-058-00.** Типовой план по организации и технологии работ по ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов при авариях и повреждениях переходов магистральных нефтепродуктопроводов через крупные водные преграды. Принят и введен в действие Приказом Министерства энергетики Российской Федерации № 95т 04.10.2000.
3. **РД 153-39.4-074-01.** Инструкция по ликвидации аварий и повреждений на подводных переходах магистральных нефтепродуктопроводов. Утверждена и введена в действие приказом Минэнерго России от 06.06.2001 № 166.
4. **Методика** определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Утв. приказом МЧС России № 404 от 10.07.2009.
5. **Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И.** Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. — М.: Ин-октаво, 2005. — 368 с.

R. G. Ahtyamov, Associate Professor, e-mail: ahtamov_zchs@mail.ru,
T. S. Titova, Head of Chair, Pro-rector, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Improvement of Measures for Oil Spill on the Water Surface Liquidation with the Water Supply Source Contamination

The article presents an algorithm for organization of oil spill response operations on the water surface, as well as results of analysis of existing methods for liquidating oil and oil products spills. To improve the complex of measures to eliminate oil spills on the water surface, the main requirements for oil-absorbing materials are given. A set of measures for liquidation of the oil spill with the contamination of the source of water intake as a result of depressurization of the underwater crossing and a technology for cleaning the shoreline from oil pollution have been developed and provided.

Keywords: *oil spill, underwater crossing, main oil pipeline, spill containment, boom barrier*

Reference

1. **Ocenka** vliyaniya skorosti vetra na rasprostranenie pozhara pri gorenii nefti na vodnoj poverhnosti. A. N. Elizar'ev, R. G. Ahtyamov, Eh. S. Haertdinova, G. G. Safuganova. *Neftegazovoe delo.* 2012. Vol. 10. No. 1. P. 90—93.
2. **RD 153-39.4-058-00.** Tipovoj plan po organizacii i tekhnologii rabot po likvidacii avarijnyh razlivov nefteproduktov pri avariyah i povrezhdeniyah perekhodov magistral'nyh nefteproduktoprovodov cherez krupnye vodnye pregrady. Prinyat i vveden v dejstvie Prikazom Ministerstva ehnergetiki Rossijskoj Federacii No. 95t 04.10.2000 g.
3. **RD 153-39.4-074-01.** Instrukciya po likvidacii avarij i povrezhdenij na podvodnyh perekhodah magistral'nyh nefteproduktoprovodov. Utverzhdena i vvedena v dejstvie prikazom Minehnergo Rossii ot 06.06.01 No. 166. — M., 2001.
4. **Metodika** opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: Utv. prikazom MCHS Rossii No. 404 ot 10.07.2009 g.
5. **Vorob'ev Yu. L., Akimov V. A., Sokolov Yu. I.** Preduprezhdenie i likvidaciya avarijnyh razlivov nefti i nefteproduktov. Moscow: In-oktavo, 2005. 368 p.

УДК 343.346.4

А. Н. Елизарьев[1], канд. геог. наук, доц., декан ФЗЧС, e-mail: elizariev@mail.ru,
Р. Г. Ахтямов[2], канд. техн. наук, доц. кафедры, **С. Г. Аксенов**[1], канд. юрид. наук, д-р экон. наук, проф., зав. кафедрой, **Дм. А. Тараканов**[1], студент,
Д. А. Тараканов[1], студент

[1] Уфимский государственный авиационный технический университет

[2] Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Современные технологии защиты объектов транспортной инфраструктуры на основе моделирования опасных ситуаций

Поставлен вопрос о необходимости совершенствования методов защиты объектов транспортной инфраструктуры с использованием современных технологий, в том числе на основе 3D-моделирования возможных вариантов развития аварийных ситуаций. Рассмотрены разработанные на основе результатов моделирования научно обоснованные превентивные мероприятия с учетом высокой протяженности железных дорог, пересечения с другими объектами транспортной инфраструктуры и непосредственной близости от населенных пунктов и зон проявления опасных природных процессов.

Ключевые слова: *транспортная система, железнодорожный транспорт, природные процессы, опасные грузы, огнестойкость материалов, 3D-моделирование, рельеф местности*

Введение

Транспортная система является неотъемлемым атрибутом территории с высоким уровнем социально-экономического развития, обеспечивающая большие объемы перевозок. Несмотря на то что железнодорожный транспорт получил развитие еще в XVIII—XIX веках, на сегодняшний день он остается в числе лидеров по объему грузовых и пассажирских перевозок.

Железнодорожный транспорт России является составляющей единой транспортной системы, которая, взаимодействуя с организациями других видов транспорта, своевременно и качественно обеспечивает потребности в перевозках, а также способствует созданию условий для развития экономики и обеспечения единства экономического пространства страны. На данный момент по протяженности сети железнодорожных путей Россия занимает третье место (124 тыс. км), уступая США (250 тыс. км) и Китаю (127 тыс. км.) [1].

Основными видами перевозки грузов на территории Российской Федерации являются железнодорожный (45,5 %), автомобильный (4,6 %), трубопроводный (47,7 %), водный (2,0 %), а также воздушный виды транспорта (0,1 %) [2].

За последние 10 лет наблюдается тенденция к росту спроса на перевозку грузов железнодорожным транспортом (рис. 1), что связано со сравнительно невысокой себестоимостью перевозок по сравнению с другими видами транспорта, не учитывая трубопроводный. Железнодорожный транспорт способен обеспечить высокие скорости подвижного вагонопотока, а также осваивать грузопотоки любой мощности (до 75...80 млн т в год в одном направлении), в том числе опасные грузы [2].

Перевозка опасных грузов по железным дорогам требует использования специальных вагонов

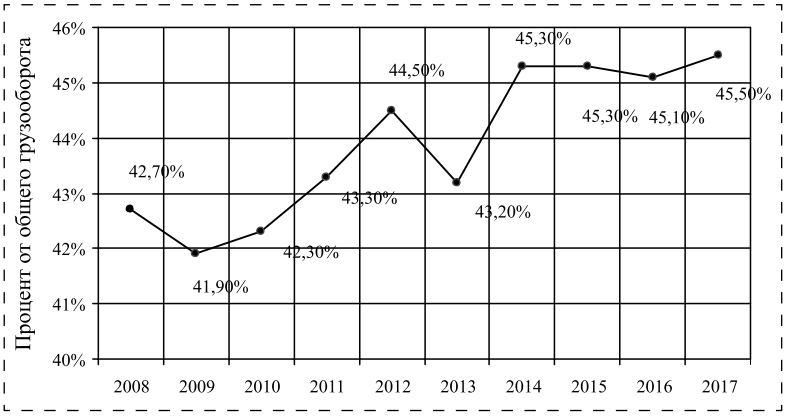


Рис. 1. Грузооборот железнодорожного транспорта России за 2008—2017 гг.

и дополнительных устройств с учетом специфических свойств перевозимых веществ. Например, для транспортировки взрывчатых материалов, легковоспламеняющихся твердых веществ и веществ, способных к самовозгоранию, применяются герметичные и изотермические вагоны.

По данным Росстата, за 2017 г. грузооборот железнодорожного транспорта Российской Федерации насчитывает 2493 млрд т-км. Среди всех перевозимых грузов значительную часть составляют грузы нефтяной и химической промышленности [2]. Пожарная, токсичная и экологическая опасность таких грузов является причиной того, что железнодорожный транспорт относится к отраслям промышленности с повышенным риском возникновения аварийных ситуаций [3].

Цель исследования

Актуальной задачей является совершенствование методов защиты объектов транспортной инфраструктуры с использованием современных технологий, в том числе на основе 3D-моделирования возможных вариантов развития аварийных ситуаций. На основе результатов моделирования разрабатываются научно обоснованные превентивные мероприятия с учетом высокой протяженности железных дорог, пересечения с другими объектами транспортной инфраструктуры и непосредственной близости от населенных пунктов и зон проявления опасных природных процессов [4].

Метод исследований

Результаты анализа возможных источников чрезвычайных ситуаций (ЧС) в сложной системе "железнодорожный транспорт — внешняя среда" графически интерпретированы на рис. 2 [5]. Как видно из рисунка, на территории пролегания железнодорожных путей возможно возникновение различных комбинаций взаимодействия опасных природных, техногенных и экологических источников ЧС, которые могут находиться друг с другом в парагенетической связи.

Одной из опасных комбинаций является воздействие подтоплений при наводнениях, которые при транспортировке опасных грузов могут привести к сходу подвижного состава, угрожающего разгерметизацией цистерны и выходом опасных веществ наружу.

Возможные сценарии развития аналогичной чрезвычайной ситуации смоделированы с помощью "Дерева событий", которое часто используется для решения таких задач (рис. 3).

Для моделирования сценария развития ЧС выбран сценарий разгерметизации цистерны с нефтепродуктами на суше и возгорания близлежащих объектов (рис. 4).

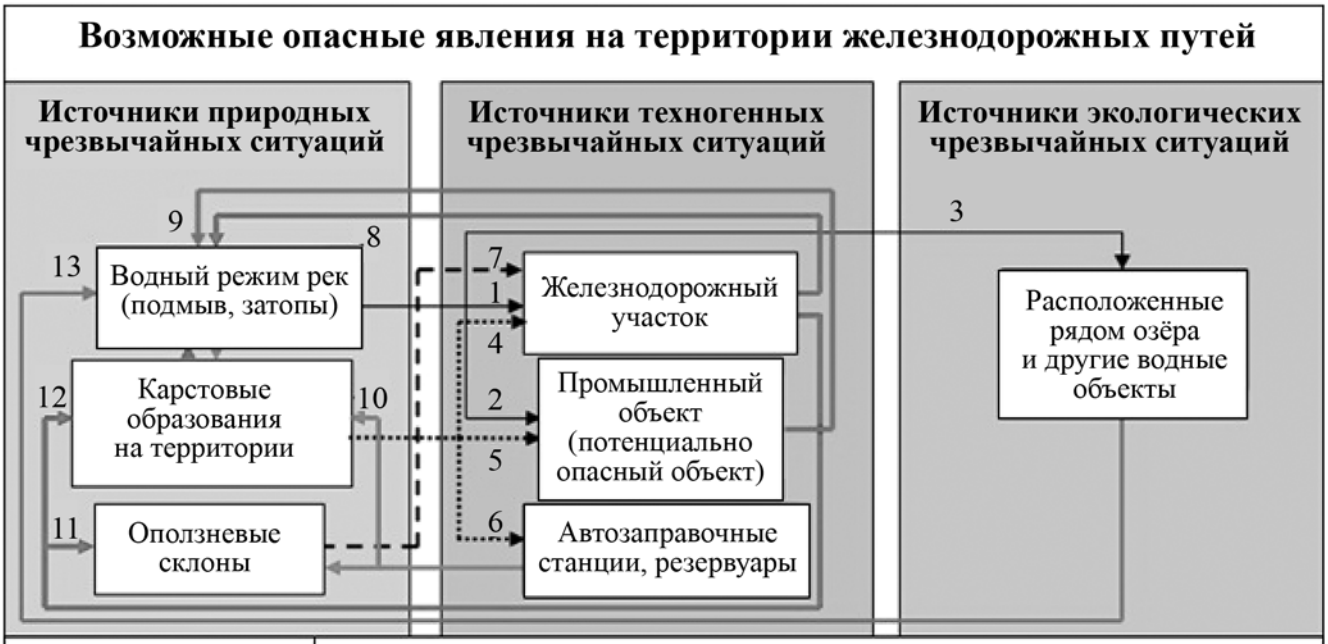
Сценарий возникновения ЧС заключается в следующем: при сходе подвижного состава происходит опрокидывание электровоза и четырех вагонов-цистерн с нефтепродуктами, две из которых разгерметизировались по причине опрокидывания в кювет и динамического столкновения друг с другом. Происходит разлив нефтепродуктов по подстилающей поверхности с попаданием источника зажигания (поврежденное электрооборудование электровоза) в зону пролива и возникновением пожара пролива.

При разливе нефтепродуктов в зоне ЧС может произойти следующее: вследствие неровности поверхности, на которой происходит разлив нефтепродуктов, и возможного наличия на территории ЧС лощин и котловин возможно скопление основной части нефтепродуктов в одном месте, что приведет к неравномерному распределению нефтепродуктов по подстилающей поверхности. В связи с этим необходимо учитывать форму и особенности рельефа местности при определении площади и формы пятна пролива.

С помощью программ ГИС определяется участок, на территории которого произошло ЧС, затем при использовании GPS-устройств замеряется глубина в различных точках местности (точка определения глубины), с применением программы Surfer на основании топографических карт и полученных данных строится модель рельефа местности в зоне ЧС (рис. 5 — см. 3-ю стр. обложки).

Используя программу для 3D-моделирования, по полученным данным о рельефе местности можно смоделировать рассматриваемый сценарий ЧС (рис. 6 — см. 3-ю стр. обложки).

Построенная 3D-модель поможет не только визуализировать протекание ЧС, но и при вводе исходных данных по особенностям территории определять площадь пролива и форму пятна разлива нефтепродуктов на основе учета особенностей рельефа местности и подстилающих грунтов. На основе смоделированных площади и форме пятна пролива нефтепродуктов прогнозируется [6] (при пожаре пролива бензина площадью 200 м^2, массой 150 т) интенсивность теплового воздействия пожара пролива на различных расстояниях (рис. 7). Как видно из рисунка, множество строений, а также опора ЛЭП подвержены воздействию теплового излучения со стороны пожара пролива нефтепродуктов, что приводит к потере несущей способности конструкций зданий. В связи с этим требуется провести ряд мероприятий по защите выделенных объектов *1—5* и опоры ЛЭП, а также найти техническое решение по предупреждению ЧС на железнодорожных путях.



№ воздействия	Характеристика воздействия
1	Возникновение затопления железнодорожной насыпи
2	Затопление территории промышленного объекта
3	Соединение реки и озера
4	Образование карстовой полости под насыпью
5	Образование карстовой полости под территорией промышленного объекта
6	Образование карстовой полости под территорией автозаправочных станций
7	Сход оползня на железнодорожные пути
8	Попадание опасных веществ в водоток реки при разгерметизации цистерн
9	Попадание опасных веществ в водоток реки при ЧС
10	Динамические нагрузки в результате взрывов
11	Активизация процессов в результате динамического воздействия подвижных составов (вибрация)
12	
13	Попадание в водоток реки акумулированных в озере загрязняющих веществ при соединении озера и реки

Рис. 2. Возможные источники природных, техногенных и экологических чрезвычайных ситуаций

Для предотвращения схода с рельс вагонов поезда можно использовать устройство контроля положения и идентификации схода вагона подвижного состава (рис. 8).

Согласно схеме такого устройства контроль за состоянием и идентификация схода вагона подвижного состава осуществляются путем создания замкнутого электрического контура. При движении вагона по рельсовой колее в блоке питания происходит генерирование переменного тока, который преобразуется в постоянный. Затем ток с помощью изолированной токопроводящей проволоки подается на узел, где происходит разделение заряда на блок-датчик и токопроводящие части устройства.

Сопротивление блока-датчика больше сопротивления токопроводящих частей устройства и рельсовой нити, в связи с этим электрический ток

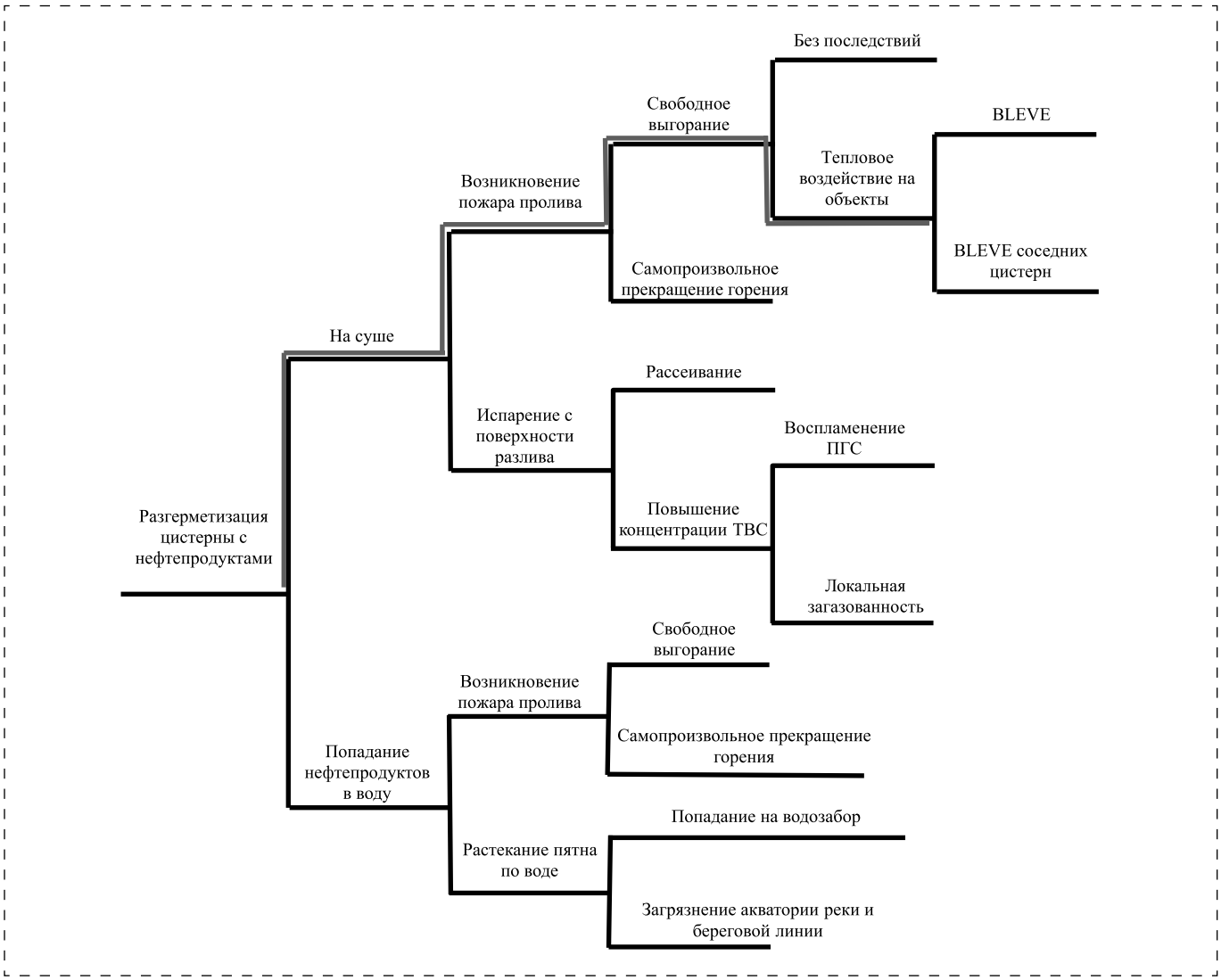


Рис. 3. "Дерево событий" развития ЧС при разгерметизации цистерны с нефтепродуктами на железнодорожном переезде (BLEVE — взрыв паров вскипающей жидкости)

Рис. 4. Схема реализации развития сценария ЧС

протекает через ось и колеса устройства. Пройдя через колесную пару, электрический заряд проходит по рельсовой нити до ближайшей колесной пары вагона подвижного состава. Затем происходит замыкание контура на изолированной от токопроводящих частей отрицательной фазе аккумулятора.

При возникновении схода вагона с рельс происходит разрыв контура *А*, и электрический ток протекает через узел и контур *Б*, где установлен блок-датчик (см. рис. 8). Происходит срабатывание радиосигнализатора, а также формирование и передача сигнала машинисту подвижного состава, и/или дежурному по станции, и/или в напольный стационарный пост приема-передачи сигнала. Работа устройства является полностью автоматической с возможностью ручного включения/отключения блока-датчика [7].

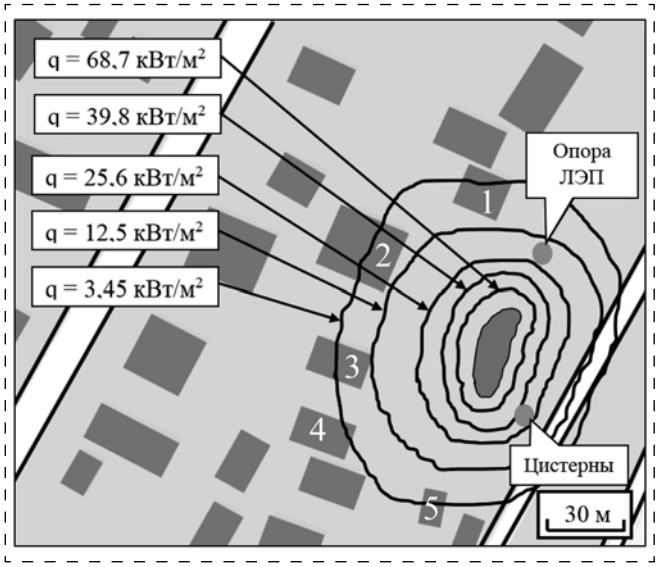


Рис. 7. Зоны интенсивности теплового излучения *q* с учетом расстояния до геометрического центра пожара пролива

В случае невозможности предотвращения схода вагона необходимо повысить огнестойкость конструкции в зоне возможного схода вагона. Увеличения предела огнестойкости железобетонных конструкций можно достичь разными способами (рис. 9).

Нагрев металлических конструкций зависит от множества факторов, наиболее важными из них являются интенсивность огня и способы теплозащиты металлоконструкций. Основные способы повышения предела огнестойкости металлических конструкций приведены на рис. 10.

Для защиты деревянных конструкций применяется обработка огнезащитными покрытиями. Также используются покрытия, которые являются многослойными системами, их наклеивают на защищаемые поверхности. Для защиты деревянных плитных материалов используется облицовка их декоративными трудногорючими полимерными (поливинилхлоридными) пленками [10].

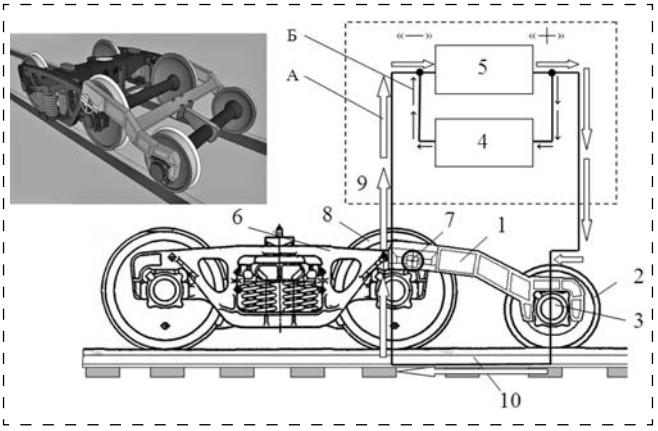


Рис. 8. Устройство контроля и идентификации схода вагона подвижного состава:
1 — рама, *2* — колесная пара устройства, *3* — буксовый узел, *4* — блок-датчик, *5* — блок питания, *6* — боковая рама тележки вагона, *7* — винтовое крепление, *8* — колесная пара вагона, *9* — корпус устройства, *10* — рельсовая линия, А — электрический контур при нормальном положении тележки, Б — электрический контур при сходе вагона

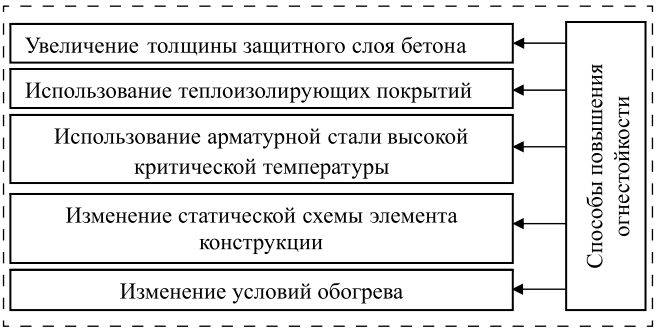


Рис. 9. Способы повышения огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций [8]

Заключение

Использование современных технологий, в том числе на основе 3D-моделирования возможных вариантов развития аварийных ситуаций, позволяет совершенствовать методы защиты объектов транспортной инфраструктуры.

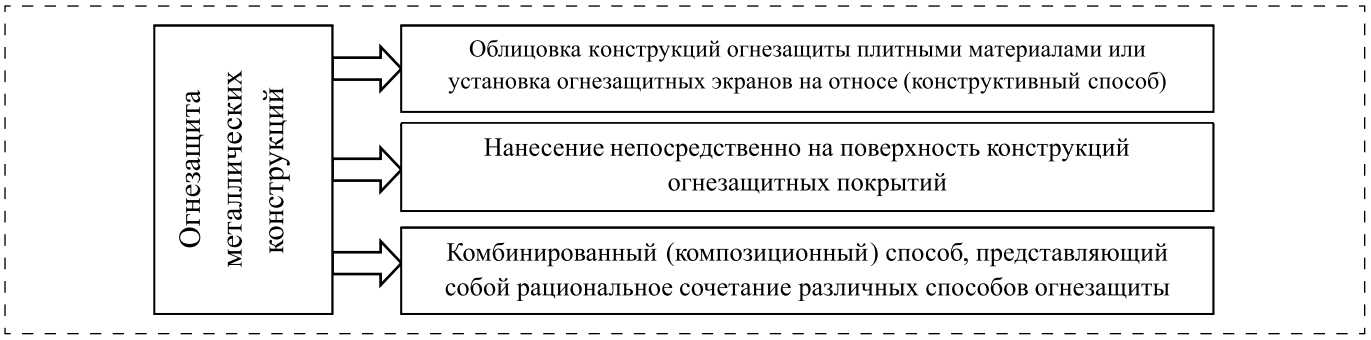


Рис. 10. Способы огнезащиты металлических конструкций [9]

Список литературы

1. **Обеспечение** безопасности железнодорожных перевозок в зонах проявления опасных природных процессов / А. Н. Елизарьев, Т. С. Титова, Е. Н. Елизарьева, Р. Г. Ахтямов, В. М. Гапонов // Бюллетень результатов научных исследований. —СПб.: ПГУПС. — 2018. — № 1. — С. 25—35.
2. **Российский статистический ежегодник:** Статистический сборник. — М.: Росстат, 2017. — 50 с.
3. **Елизарьев А. Н., Юсупов Т. Р., Шайдуллин Р. Р.** Статистический анализ причин аварийности на железнодорожном транспорте // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. — СПб.: Информационный издательский учебно-научный центр "Стратегия будущего". — 2015. — № 12-1. — С. 189—192.
4. **Клочкова Е. А.** Охрана труда на железнодорожном транспорте: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. — М.: Маршрут, 2004. — 412 с.
5. **Аварии на** транспорте. Безопасность жизнедеятельности. URL: http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/avariya-na-zheleznoy-doroge.html (дата обращения 10.06.2018).
6. **Приказ** МЧС РФ от 14 декабря 2010 г. N 649 "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах" // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2009. — № 14. — Ст. 1656.
7. **Патент РФ № 2012128468, 04.12.2012** Подвижное устройство контроля схода вагона подвижного состава с рельс / А. Н. Елизарьев, Р. Р. Муллаянов, Н. Н. Красногорская, Р. Р. Шавалиев, Р. Р. Габдулхаков, Р. Г. Ахтямов, Э. С. Хаертдинова. Патент России № 122953. 2012. Бюл. № 33.
8. **Огнезащита** и огнезащитные покрытия для бетона и железобетона. Центр противопожарной защиты. URL: https://arsenal-01.ru/ (дата обращения 11.06.2018).
9. **Огнезащита** стальных конструкций. Огнезащита. URL: http://speckraski.narod.ru/7.html (дата обращения 12.06.2018).
10. **ГОСТ 16363—98** Методы определения огнезащитных свойств. Средства огнезащитные для древесины. Введ. 1999-07-01. — М.: Издательство стандартов, 1999. — 6 с.

A. N. Elizariev[1], Associate Professor, Dean, e-mail: elizariev@mail.ru,
R. G. Ahtyamov[2], Associate Professor, **S. G. Aksenov[1],** Head of Chair,
Dm. A. Tarakanov[1], Student, **D. A. Tarakanov[1],** Student
[1] Ufa State Aviation Technical University
[2] Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Modern Technologies of Transport Infrastructure Objects Protection on the Basis of Dangerous Situations Modeling

Currently, there is an urgent need to improve the methods of protecting transport infrastructure facilities using modern technologies, including on the basis of 3D-modeling of possible options for the development of emergency situations. On the basis of modeling results, scientifically based preventive measures are developed, taking into account the high length of railways, the intersection with other objects of transport infrastructure and close proximity to settlements and zones of hazardous natural processes.

Keywords: *transport system, railway transport, explosive materials, natural processes, dangerous goods, fire resistance of materials, 3D modeling, terrain relief*

References

1. **Obespechenie** bezopasnosti zheleznodorozhnyh perevozok v zonah proyavleniya opasnyh prirodnyh processov. A. N. Elizar'ev, T. S. Titova, E. N. Elizar'eva, R. G. Ahtyamov, V. M. Gaponov. *Byulleten' rezul'tatov nauchnyh issledovanij.* 2018. No. 1. P. 25—35.
2. **Rossijskij statisticheskij ezhegodnik:** Statisticheskij sbornik. Moscow: Rosstat, 2017. 50 p.
3. **Elizar'ev A. N., Yusupov T. R., Shajdullin R. R.** Statisticheskij analiz prichin avarijnosti na zheleznodorozhnom transporte. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v sovremennom mire.* 2015. No. 12-1. P. 189—192.
4. **Klochkova E. A.** Ohrana truda na zheleznodorozhnom transporte: Uchebnik dlya tekhnikumov i kolledzhej zheleznodorozhnogo transporta. Moscow: Marshrut, 2004. 412 p.
5. **Avarii** na transporte. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. URL: http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/avariya-na-zheleznoy-doroge.html (date of access 10.06.2018).
6. **Prikaz** MCHS RF ot 14 dekabrya 2010 g. Ni. 649 "Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah". *Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii.* 2009. No. 14. St. 1656.
7. **Patent RF No. 2012128468, 4.12.2012.** Podvizhnoe ustrojstvo kontrolya skhoda vagona podvizhnogo sostava s rel's. A. N. Elizar'ev, R. R. Mullayanov, N. N. Krasnogorskaya, R. R. , R. R. Gabdulhakov, R. G. Ahtyamov, Eh. S. Haertdinova. Patent na poleznuyu model' RUS 122953. 2012. Byul. No. 33.
8. **Ognezashchita** i ognezashchitnye pokrytiya dlya betona i zhelezobetona. Centr protivopozharnoj zashchity. URL: https://arsenal-01.ru/ (date of access 11.06.2018).
9. **Ognezashchita** stal'nyh konstrukcij. Ognezashchita. URL: http://speckraski.narod.ru/7.html (date of access 12.06.2018).
10. **GOST 16363—98** Metody opredeleniya ognezashchitnyh svojstv. Sredstva ognezashchitnye dlya drevesiny. Vveden 1999-07-01. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1999. 6 p.

УДК 504.06:622.33

А. В. Харламова, канд. техн. наук, доц. кафедры, e-mail: texnosfera2017@mail.ru, Петербургский государственного университет путей сообщения Императора Александра I, **Е. И. Верех-Белоусова,** канд. техн. наук, и.о. зав. кафедрой, Луганский национальный университет им. Тараса Шевченко

Влияние эдафических условий рекультивированных породных отвалов на эффективность снижения их негативного воздействия на прилегающие территории

Проанализированы основные виды негативного воздействия породных отвалов угольных шахт на окружающую среду. Показано, что одним из эффективных мероприятий по нейтрализации вредного воздействия углепородных отвалов является рекультивация отвальной породы. Обосновано, что сложившиеся эдафические условия на поверхности породных отвалов влияют на эффективность снижения их негативного воздействия на прилегающие территории.

Ключевые слова: *породные отвалы, серная кислота, биохимическое выщелачивание, загрязнение, почвы, тяжелые металлы, рекультивация, эдафические условия, терриконы*

Введение. Каменный уголь является одним из основных видов топлива в промышленности: широко применяется в металлургии, сохраняет заметную долю в энергетике, часто применяется как топливо на частных объектах [1].

Добыча угля в России осуществляется как шахтным способом, так и в угольных разрезах. Однако интенсивная разработка угольных месторождений способствует значительному изменению состояния земной поверхности и массива горных пород, что приводит к трансформации природных ландшафтов в техногенные [2]. В европейской части России, в Восточном Донбассе, Печорском, Подмосковном бассейнах, а также на Кузбассе добыча угля осуществляется, в основном, шахтным способом. Существующие на данный момент технологии горного производства позволяют получать из выработки в среднем 3...5 % полезных ископаемых и около 95...97 % пустой породы — отходов угледобычи, складируемых в отвалы на территориях промышленных площадок шахт [2]. Например, на Кузбассе под промышленными отвалами, шламохранилищами, хвостохранилищами и свалками бытовых отходов занято свыше 40 тыс. га, а ежегодно в результате угледобычи отторгается около 1,5 тыс. га территорий [3].

Предприятия горнодобывающей отрасли промышленности оказывают прямое и косвенное воздействие на окружающую природную среду и все ее компоненты. Прямое влияние происходит непосредственно при работе горнодобывающих производств и заключается в разрушении и преобразовании ландшафтов процессами техногенной денудации и аккумуляции (отвалообразование) и опосредованно — при организации и эксплуатации компонентов инфраструктуры, обеспечивающей горное производство.

Косвенное воздействие горнодобывающих предприятий состоит в загрязнении природных объектов токсичными выбросами, образующимися при отсыпке и эксплуатации породных отвалов, использовании энергетических объектов и транспорта. Длительное или интенсивное воздействие на природные почвенно-растительные компоненты ландшафта вызывает их загрязнение, деформацию, а затем и полную деструкцию и, как результат, приводит к возникновению эрозионных процессов, нарушению земель, а в дальнейшем — к полному преобразованию существовавших ранее ландшафтов и потере ими биологической продуктивности.

Поэтому исследования негативного воздействия отвалов угольных шахт на окружающую среду и способов снижения уровня экологической опасности этих техногенных объектов имеет большое научное и практическое значение.

Одним из эффективных способов нейтрализации негативного воздействия породных отвалов на прилегающие территории являются мероприятия по рекультивации, в частности, озеленение этих территорий древесными лесными насаждениями, которые будут способствовать сокращению

эрозионных процессов и позволят регулировать поверхностный сток на отвалах [4]. В большей степени эффективность рекультивационного процесса зависит от продуктивности фитоценозов отвалов. В то же время известно, что содержание микроэлементов в растениях определяется содержанием микроэлементов в почвогрунтах. Всестороннее изучение влияния макро- и микрокомпонентного состава почвогрунта отвалов угольных шахт на процессы роста, развития и продуктивности растений позволяют прогнозировать эффективность мероприятий по рекультивации и снижению негативного воздействия.

Антропогенные изменения природных ландшафтов и геологической среды являются предпосылками возникновения экологических и природоохранных проблем. Основной причиной деградации природных ландшафтов Донбасса является активное развитие угледобывающей промышленности.

Добыча угля на территории Донбасса осуществляется с полным обрушением кровли углесодержащей породы, что приводит к "взрыхлению" горной породы и увеличению ее объема [5]. Поднятая на поверхность порода отсыпается в породные отвалы и терриконы, которых только в Луганском регионе насчитывается около 556, они занимают площадь 49 тыс. га, а объем складированной породы составляет приблизительно 69 млн м^3. На каждый миллион тонн добытого угля на складирование отходов отчуждается и разрушается 414 га земельных угодий [6].

Воздействию породных отвалов угольных шахт на окружающую среду, а также методам снижения их негативного воздействия посвящено большое число научных работ. Однако вопросы, связанные с определением содержания микроэлементов в почвогрунтах отвалов угольных шахт, а также прилегающих к ним территорий, исследованы явно недостаточно. В то же время, такая информация могла бы способствовать дальнейшему планированию биологического этапа рекультивации, а также прогнозированию эффективности снижения их негативного воздействия.

Цель исследования. Исходя из изложенного выше, целью данного исследования является изучение эдафических условий, сформировавшихся на рекультивированных отвалах угольных шахт Донбасса в сравнении с почвами, прилегающими к нерекультивированным отвалам. Для достижения поставленной цели были изучены макрокомпонентный и микрокомпонентный составы отвальной породы, почвы и растительности прилегающих к породным отвалам территорий.

Объектами исследований выступили два типичных породных отвала Донбасса: нерекультивированный действующий породный отвал шахты "Луганская" ГП "Луганскуголь" и рекультивированный отвал № 2 шахты "19-го партсъезда" . Шахты относятся к Луганскому угленосному району и добывают уголь марки ДГ. Добытый уголь имеет среднюю степень метаморфизма. Разрабатываемые каменноугольные отложения представлены свитами C_2^3—C_2^7 среднего карбона, которые залегают между толщами аргиллита, алевролита и песчаников, из которых и формируются исследуемые породные отвалы [7].

Результаты исследований. Состав отвальной породы и процессы ее изменений определяются с учетом физико-механических свойств горных пород и полезных ископаемых, а также горно-геологических условий их залегания.

Основные негативные процессы в складированной отвальной породе и миграция тяжелых металлов на прилегающие к отвалам территории связаны с химическим и биохимическим окислением пирита. Пирит (FeS_2), являющийся сквозным минералом углистой породы, при разработке пласта или попадая вместе с отвальной породой на поверхность, вступает в реакцию с кислородом воздуха и атмосферной влагой. В результате окисления пирита образуется серная кислота, которая, в свою очередь, интенсивно разлагает силикаты угленосных пород, переводя их компоненты в виде сульфатов в раствор. Растворы, насыщенные H_2SO_4, берут из вмещающих пород Fe, Cu, Zn, Cr, Al, Mg, Co и другие элементы и активно мигрируют на прилегающие к отвалам территории, интенсивно загрязняя почвы и растительность [8, 9].

На примере типичного породного отвала шахты "Луганская" проведено комплексное исследование негативного влияния биохимических процессов образования серной кислоты на прилегающие к отвалам почвы. Отвал имеет высоту 95 м и площадь основания 180 тыс. м^2. Согласно проектной документации санитарно-защитная зона исследуемого отвала занята сельскохозяйственными угодьями (преимущественно пашней) [7].

Спектральный анализ образцов складируемой породы показал, что в ее химическом составе преобладают такие токсичные компоненты, как As, Cr, Mn, Co, Ba, Ni, Zn и Pb. По содержанию в отвальной породе Co, Zn и Ni превысили геохимический фон региона [10].

В почвах поля, которое расположено на расстоянии 25 м от отвала и было засеяно озимой пшеницей, валовое содержание хрома составило 150 мг/кг, что превышает ПДК$_п$ в 1,5 раза. Содержание молибдена в почве превысило ПДК$_п$ в 1,4 раза. Содержание цинка в пахотном слое составило по

результатам исследований 100 мг/кг, т.е. находилось на грани допустимой концентрации. Были определены коэффициенты концентраций и суммарные показатели загрязнения почвы на исследуемом участке по хрому, цинку, меди и молибдену (с учетом фоновых показателей загрязнения для черноземов обыкновенных). Оценка опасности загрязнения почв комплексом металлов составила 4,03, что по градации оценочной шкалы характеризует исследуемую территорию по уровню загрязнения химическими элементами как высоко опасную.

Так как прилегающая к отвалу территория используется в сельскохозяйственных целях и была засеяна в период проведения исследований озимой пшеницей, то следующим этапом работы было исследование содержания тяжелых металлов в пробах озимых. Результаты спектрального анализа приведены в табл. 1.

Анализ концентраций тяжелых металлов в зерновой культуре, отобранной в непосредственной близости от отвала, показал повышение $ПДК_{пр}$ таких тяжелых металлов, как Cr и Cu. Концентрация Pb колеблется на грани допустимой.

Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора негативного воздействия на здоровье населения проводилась по показателям, рассчитанным при сочетании геохимических и геогигиенических исследований состояния окружающей среды. Коэффициенты концентраций и суммарные показатели загрязнения почвы на исследуемом участке по хрому, цинку, меди и молибдену с учетом фоновых показателей загрязнения для черноземов обыкновенных составили соответственно: $K_{Cr} = 1{,}4$; $K_{Zn} = 1{,}9$; $K_{Cu} = 0{,}53$; $K_{Mo} = 0{,}2$.

Все эти негативные факты могут привести к увеличению уровня общей заболеваемости людей, которые будут употреблять в пищу продукцию, выращенную на данной территории. Суммарный показатель размера ущерба [11] (по суммарным показателям загрязнения исследуемых почв) составил по проведенным расчетам 113,6 млн руб.

Полученные данные показывают, что на нерекультивированных породных отвалах активно протекают процессы окисления сульфидных минералов и образования серной кислоты, которая выщелачивает тяжелые металлы в виде растворов на прилегающие к отвалам территории, интенсивно загрязняя почвы и растительность.

Таблица 1

Результаты спектрального анализа проб озимой пшеницы

Элемент	Cu	Pb	Mn	Ni	Cr	Zn	Mo
Содержание, мг/кг	15	0,5	11	0,3	0,7	26	0,4
$ПДК_{пр}$ (зерновые культуры), мг/кг	10	0,5	40	0,5	0,2	50	1

Дальнейшим этапом исследований выступило изучение эдафических условий, сформировавшихся на рекультивированных отвалах угольных шахт. В качестве объекта исследований был выбран рекультивированный отвал № 2 шахты "19-го партсъезда", высота которого составляет 30 м. Данный отвал имеет плоскую вершину с "экраном" из потенциально плодородного грунта. Понижение высоты отвала было выполнено в 1982 — 1983 гг. по способу Донецкого ботанического сада [12]. Биологический этап рекультивации заключался в высадке однолетних саженцев древесных пород по всей поверхности отвала. Озеленение проводилось сеянцами акации белой (*Robinia pseudoacacia*) на склонах террикона, а также абрикоса обыкновенного (*Armeniaca vulgaris Lam.*), груши обыкновенной (*Purus communis L.*) и акации белой на плоской вершине. В процессе формирования естественного биоценоза на всей поверхности отвала появился густой травянистый покров. Семена травянистой растительности были занесены с потенциально плодородным грунтом при экранировании плоской вершины.

Агрохимическая характеристика почвогрунта отвала предусматривает определение содержания в них основных питательных веществ — азота, фосфора и калия. Они находятся в почвогрунте в виде усвояемых и неусвояемых растениями соединений. От степени обеспеченности почв такими соединениями зависит эффективное плодородие почв, а следовательно, и эффективность биоценозов [13].

Было исследовано содержание азота, фосфора, калия в поверхностном слое (30 см) отвала. Причем для характеристики содержания азота в породе и почвогрунте террикона определялось содержание нитритов, нитратов и аммония. Полученные результаты макрокомпонентного состава почвогрунта в зависимости от экспозиции представлены на рис. 1.

На основе полученных данных был проведен сравнительный анализ макрокомпонентного состава естественных почв [14] с составом породы и почвогрунта рекультивированного отвала угольной шахты. Для этого был рассчитан запас азота в кг/га в пахотном слое 30 см. Так, для вершины отвала запас азота составил 190,3 кг/га, для южного склона — 425,46 кг/га, для западного склона — 60,3 кг/га, для северного — 294,6 кг/га. После сравнения этих данных со значениями обеспеченности почв доступными формами азота [15] было установлено, что высокая и средняя

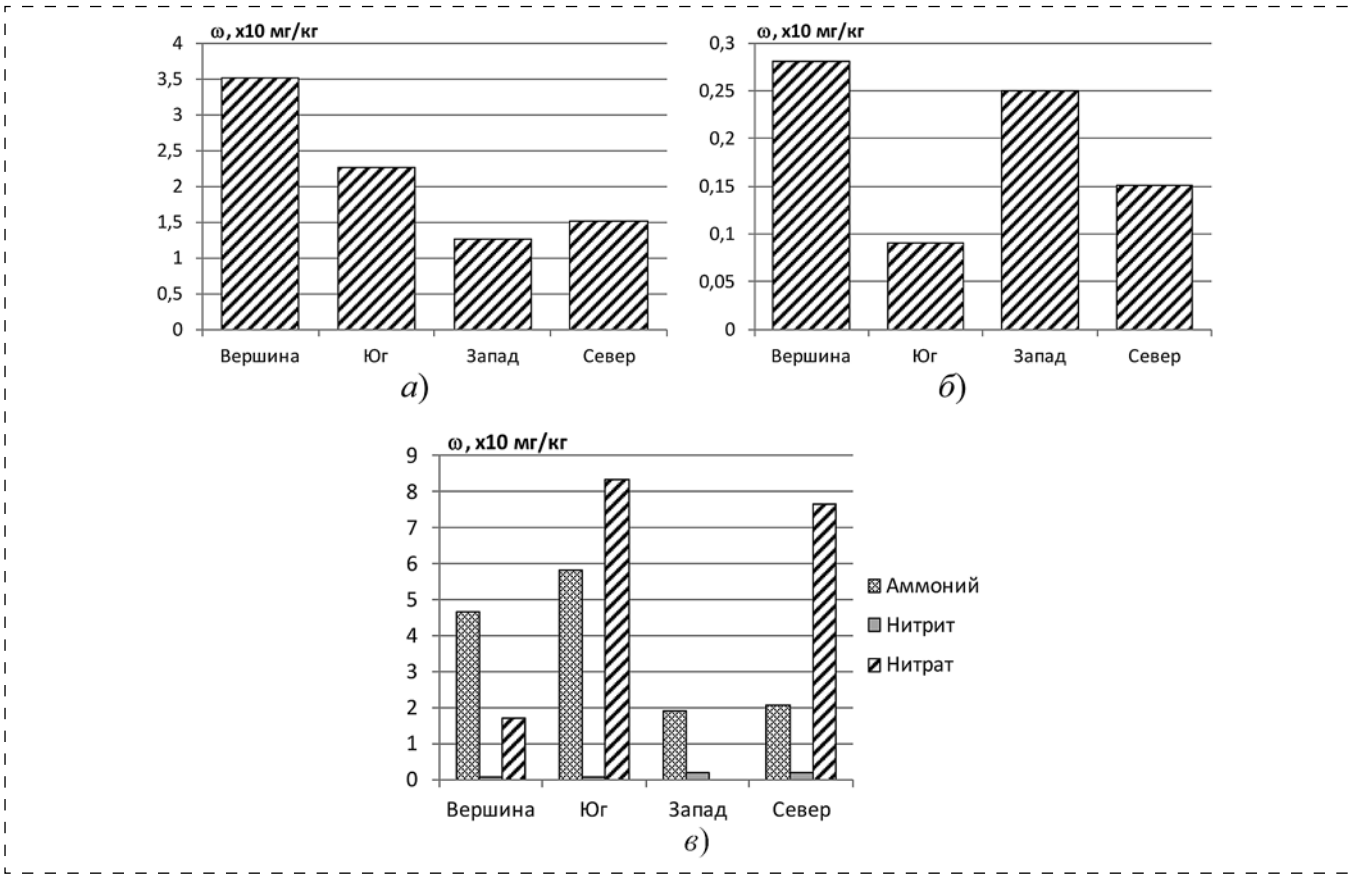


Рис. 1. Гистограммы содержания калия (*а*), фосфора (*б*), азота (*в*) в породе и почвогрунте отвала

обеспеченность (класс обеспеченности I, II) породы и почвогрунта отвала азотом присуща для южного, северного склонов и вершины отвала, западный же склон, напротив, имеет низкую обеспеченность. В породе и почвогрунте всей поверхности отвала обеспеченность его доступными для питания растений формами фосфора и калия находится на низком уровне (класс обеспеченности III) [15].

Помимо азота, фосфора, калия, большое влияние на рост и развитие растений оказывает содержание таких элементов, как магний (Mg), кальций (Ca) и алюминий (Al). Результаты исследований содержания кальция, магния, алюминия в почвогрунте рекультивированного отвала представлены в виде картограммы на рис. 2.

Содержание кальция в высокоурожайных черноземах обыкновенных составляет ~0,68 %, магния ~0,11 % [14]. В исследуемой отвальной породе и почвогрунте содержание кальция и магния значительно выше.

Что касается алюминия, являющегося токсичным для растений, то полученные данные свидетельствуют о высоком валовом содержании его в почве. Большой интерес представляют

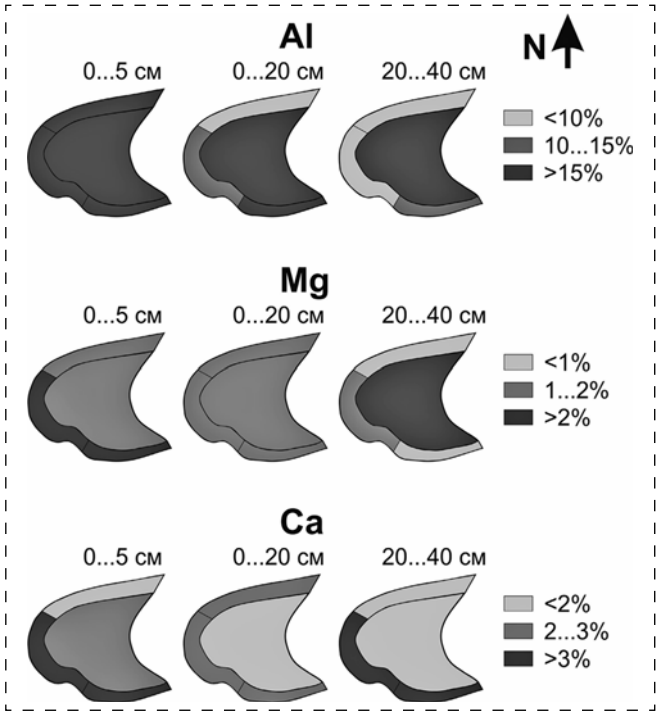


Рис. 2. Картограмма содержания алюминия, магния и кальция в почвогрунте отвала

подвижные формы алюминия, так как при кислой реакции почвы растворимость соединений алюминия увеличивается, а повышенное содержание его в растворе оказывает вредное действие на растения [16].

Например, при проведении исследований по содержанию подвижного алюминия в почвах, прилегающих к нерекультивированному действующему отвалу шахты "Луганская", было установлено, что индекс токсичности сульфата алюминия составил 0,5. Это отвечает I классу токсичности и характеризует степень опасности как чрезвычайно высокую.

В целях обобщения результатов исследований большой интерес представляет получение качественной оценки содержания микроэлементов в почвогрунте рассматриваемого отвала на различной глубине по экспозициям. При этом известно, что одной из проблем геохимического исследования территорий и установления уровня техногенного загрязнения почв является проблема сравнения полученных результатов анализа с нормативом. Для этого использовались ПДК и кларки элементов [17]. На основе сравнения полученных фактических содержаний химических элементов в почвогрунте террикона со значениями предельно допустимых концентраций валовой и подвижной форм, а также кларком этих элементов [18, 19] была определена экологическая ситуация, сложившаяся на породном отвале.

Установлено, что содержание большинства химических элементов в почвогрунте отвала не вызывает опасения, поскольку их концентрация укладывается в нормы оценок "благополучно" и "удовлетворительно". Тогда как содержание таких элементов, как свинец и медь, существенно превышает норму, в результате чего экологическая ситуация, установленная по данным микроэлементам, характеризуется как "кризисная" и "катастрофическая". Касательно цинка сложившаяся катастрофическая экологическая ситуация характерна только для почвогрунта западной экспозиции исследуемого отвала, что может быть вызвано как специфическими особенностями мест отбора проб для исследований, так и своеобразным микроэлементным составом почвогрунта данного склона. Количественные характеристики концентраций меди, свинца и цинка в почвогрунте исследуемого отвала по экспозициям приведены на рис. 3.

Следует отметить, что существует прямая зависимость между содержанием микроэлементов в почве и уровнем обеспеченности этими элементами растений. Для определения оптимальности микроэлементов для роста растений сравнивались их пороговые концентрации с фактическим содержанием данных элементов в почвогрунте отвала [17, 19] (табл. 2).

Как видно из таблицы, полученные значения концентраций химических элементов почвогрунта

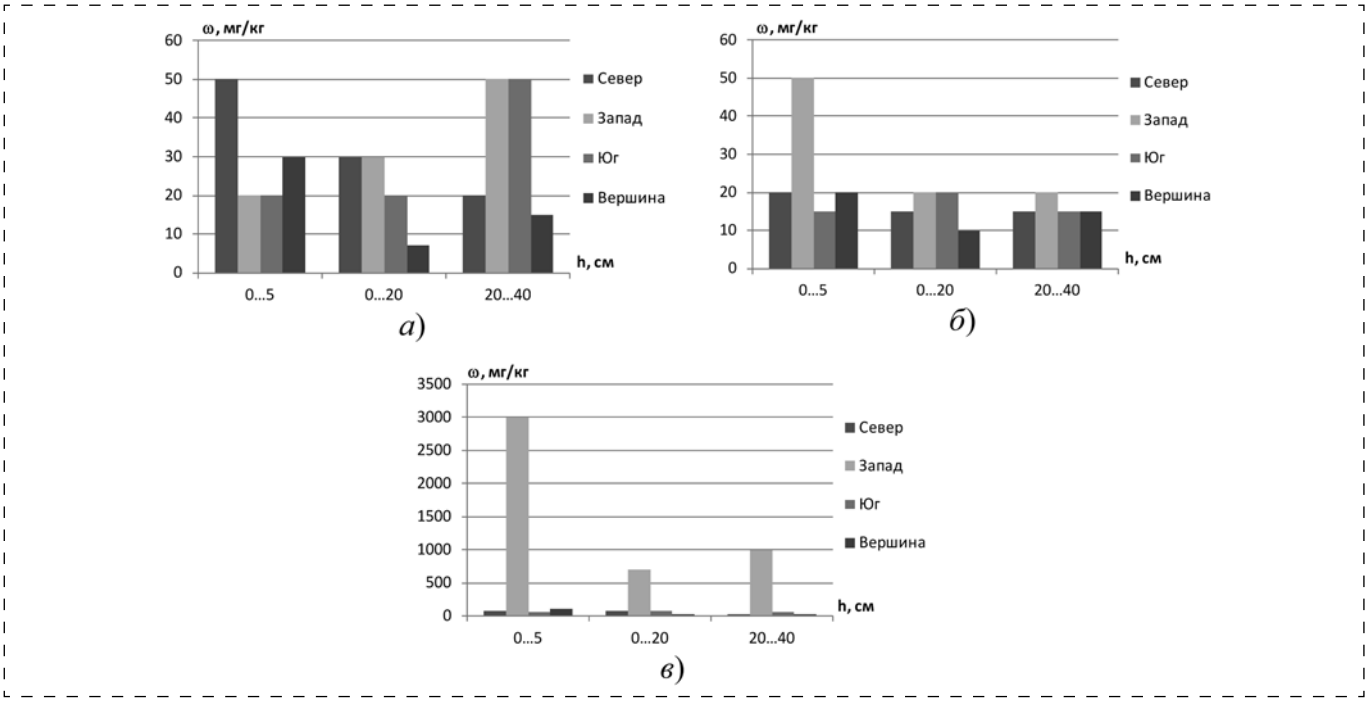


Рис. 3. Массовая концентрация меди (*а*), свинца (*б*) и цинка (*в*) в почвогрунте исследованного отвала по экспозициям в зависимости от глубины отбора пробы *h*

Таблица 2

Пороговые концентрации микроэлементов в почвах [20] и фактическое содержание их в почвогрунте отвала, мг/кг

Химический элемент	Нижняя пороговая граница	Оптимальное содержание	Верхняя пороговая граница	Фактическое содержание
Медь (Cu)	15	15...60	60	7...50
Кобальт (Co)	7	7...30	30	7...10
Цинк (Zn)	30	30...70	70	20...100; 1000...3000
Марганец (Mn)	400	400...3000	3000	300...1000
Молибден (Mo)	1,5	1,5...4	4	1,5...3

террикона находятся в оптимальных пределах, необходимых для нормального роста и развития растений. Исключением является цинк, содержание которого выше оптимального. Это вызвано неоднородностью (мозаичностью) геохимической среды в пределах исследуемого террикона. Содержание меди в почвогрунте террикона колеблется от 7 до 50 мг/кг в зависимости от глубины отбора проб и экспозиции отвала. Это свидетельствует о дефиците меди в почвогрунте отвала. Недостаток этого элемента может быть восполнен внесением специальных удобрений.

Все эти факторы обосновывают необходимость проведения рекультивационных мероприятий на породных отвалах, что позволит снизить их негативное воздействие на прилегающие территории и повысить уровень экологической безопасности региона в целом.

Выводы. Таким образом, анализ результатов изучения эдафических условий, сформировавшихся на рекультивированных отвалах угольных шахт Донбасса в сравнении с почвами, прилегающими к нерекультивированным отвалам, позволяет сделать следующие выводы.

1. Основной причиной негативного влияния нерекультивированных породных отвалов угольных шахт на окружающую среду выступают процессы химического и биохимического окисления сульфидов, протекающие в складированной отвальной породе, в результате чего естественным путем образуется серная кислота, которая интенсивно разлагает минералы угленосных пород, загрязняя прилегающие к отвалам почвы и растительность тяжелыми металлами.

2. Изучение эдафических условий типичного для Донбасса рекультивированного отвала показало, что в целом ситуация по микро- и макрокомпонентному составу является благоприятной. Оценка экологического состояния почвогрунтов отвала по содержанию тяжелых металлов лежит в пределах "благополучно" и "удовлетворительно". Содержание химических элементов в почвогрунте находится на оптимальном уровне для нормального роста и развития растений.

Список литературы

1. **Чедвик Дж.** Мировая угольная промышленность // Уголь. — 2002. — № 12. — С. 53—57.
2. **Основы** горного дела / П. В. Егоров, Е. А. Бобер, Ю. Н. Кузнецов и др. — М.: МГУ, 2000. — 408 с.
3. **Исследование** и оценка воздействия угольной шахты на окружающую среду / А. Е. Воробьев, В. С. Побыванец, Ж. Ю. Абдулатипов и др. // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: инженерные исследования. — 2011. — № 4. — С. 75—79.
4. **Попа Ю. М.** Екологічна ефективність захисно-декоративних лісових насаджень на відвалах вугільних шахт // Агроекологічний журнал. — 2006. — № 1. — С. 84—88.
5. **Зборщик М. П., Осокин В. В.** Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений. — Донецк: ДонГТУ, 1996. — 178 с.
6. **Бурлака В. И.** Шахты и экология // Топливно-энергетический комплекс. — 2006. — № 7. — С. 11—13.
7. **Рабочий проект** "Увеличение емкости породного отвала ШУ "Луганское" за счет прирезки территории": в 2 томах. Т. 1. Пояснительная записка РП 1342-1-ПЗ. Арх. № 50019. — Луганск, 1996 — 32 с.
8. **Зборщик М. П., Осокин В. В.** Биогеохимическая теория самовозгорания горных пород, способы предотвращения возгорания и тушение горящих отвалов угольных шахт // Матер. Международной научно-практической конф. "Экологические проблемы индустриальных мегаполисов" (1—4 июня 2004 г., г. Донецк). Т. 2. — Донецк, 2004. — С. 6—11.
9. **Проскурня Ю. А.** Мінералогія відвалів вугільних шахт Донбасу (на прикладі Донецько-Макіївського промислового району): автореф. дис. канд. геолог. наук. — Кривий Ріг, 2000. — 19 с.
10. **Верех-Белоусова Е. И.** Исследование влияния породных отвалов угольных шахт Донбасса на агроценозы // Матер. Международной научно-практической конф. "Экология и мелиорация агроландшафтов". — Волгоград, ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. — С. 52—56.
11. **Шапоренко О. І.** Визначення розмірів збитку від забруднення земель хімічними сполуками // Екологічні проблеми регіонів. — 2003. — № 2 (24). — С. 171—176.
12. **Методические рекомендации** по биологической рекультивации площадей плоских породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик Украинской ССР. — Донецк: ЦБНТИ, МУП УССР, 1990. — 54 с.
13. **Власюк П. А.** Биологические элементы в жизнедеятельности растений. — Киев: Наукова думка, 1969. — 516 с.

14. **Довідник** з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України / Б. С. Носко, В. С. Прістер, М. В. Лобода. — Киев: Урожай, 1994. — 336 с.
15. **Артюшин А. М., Державин Л. М.** Краткий справочник по удобрениям. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Колос, 1984. — 208 с.
16. **Зонн С. В., Травлеев А. П.** Алюминий. Роль в почвообразовании и влияние на растения. — Днепропетровск: ДГУ, 1992. — 224 с.
17. **Фатєєв А., Пащенко Я. В., Балюк С. А.** Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. — Харків: Вид-во ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовского", 2003. — 117 с.
18. **Земельні ресурси** України / За ред. В. В. Медведева. — Киев: Аграрна наука, 1998. — 148 с.
19. **Особенности** распространения тяжелых металлов, микро- и радиоактивных элементов в ландшафтах Донбасса / М. В. Болотских, М. В. Орешкин, П. В. Шелихов и др. — Луганск: ОАО "ЛОТ", 2004. — 196 с.
20. **Ковальский В. В., Андрианова Г. А.** Микроэлементы в почвах СССР. — М.: Наука, 1970. — С. 147—161.

A. V. Kharlamova, Associate Professor, e-mail: texnosfera2017@mail.ru, Emperior Alexander I St. Petersburg State Transport University, **E. I. Verekh-Belousova,** Acting Head of Chair, Luhansk Taras Shevchenko National University

Influence of the Edafic Conditions of Reclaiming Waste Banks on the Efficiency of the Decrease of their Negative Impact to the Adjacent Territories

The main types of negative impact of waste banks of coal mines on the environment were analyzed. One of the effective measures to neutralize the damage effect of coal-dust dumps is the reclamation of the waste rock was shown. The existing edaphic conditions on the surface of rock dumps affect the effectiveness of decrease their negative impact on the adjacent territories was substantiated.

Keywords: *Waste banks, coal-dust dumps, sulfuric acid, biochemical leaching, pollution, soil, heavy metals, reclamation, edaphic conditions*

References

1. **Chedvik Dzh.** Mirovaya ugolnaya promyshlennost. *Ugol.* 2002. No. 12. P. 53—57.
2. **Osnovy** gornogo dela / P. V. Egorov, E. A. Bober, Yu. N. Kuznecov i dr. Moscow: MGU, 2000. 408 p.
3. **Issledovanie** i ocenka vozdejstviya ugolnoj shahty na okruzhayushchuyu sredu. A. E. Vorobev, V. S. Pobyvanec, Zh. Yu. Abdulatipov i dr. *Vestnik rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: inzhenernye issledovaniya.* 2011. No. 4. P. 75—79.
4. **Popa Yu. M.** Ekologichna efektivnist zahisno-dekorativnih lisovih nasadzhen na vidvalah vugilnih shaht. *Agroekologichnij zhurnal.* 2006. No. 1. P. 84—88.
5. **Zborshchik M. P., Osokin V. V.** Predotvrashchenie ehkologicheski vrednyh proyavlenij v porodah ugolnyh mestorozhdenij. Doneck: DonGTU, 1996. 178 p.
6. **Burlaka V. I.** Shahty i ehkologiya. *Toplivno-ehnergeticheskij kompleks.* Lugansk, 2006. No. 7. P. 11—13.
7. **Rabochij proekt** "Velichenie emkosti porodnogo otvala ShU "Luganskoe" za schet prirezki territorii": v 2 tomah. Vol. 1: Poyasnitelnaya zapiska RP 1342-1-PZ. Arh. No. 50019. 1996. 32 p.
8. **Zborshchik M. P., Osokin V. V.** Biogeohimicheskaya teoriya samovozgoraniya gornyh porod, sposoby predotvrashcheniya vozgoraniya i tushenie goryashchih otvalov ugolnyh shaht. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Ehkologicheskie problem industrialnyh megapolisov" (1—4 iyunya 2004 g., g.Doneck).* Vol. 2. Doneck, 2004. P. 6—11.
9. **Proskurnya Yu. A.** Mineralogiya vidvaliv vugilnih shaht Donbasu (na-prikladi Donecko-Makiivskogo promislovogo rajonu): avtoref. dis. kand. geolog. nauk. Krivij Rig, 2000. 19 p.
10. **Verekh-Belousova E. I.** Issledovanie vliyaniya porodnyh otvalov ugolnyh shaht Donbassa na agrocenozy. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Ehkologiya i melioraciya agrolandshaftov".* Volgograd: FNC agroehkologii RAN, 2017. P. 52—56.
11. **Shaporenko O. I.** Viznachennya rozmiriv zbitku vid zabrudnennya zemel himichnimi spolukami. *Ekologichni problem regioniv.* 2003. No. 2 (24). P. 171—176.
12. **Metodicheskie rekomendacii** po biologicheskoj rekultivacii ploshchadej ploskih porodnyh otvalov ugolnyh shaht i obogatitelnyh fabrik Ukrainskoj SSR. Doneck: CBNTI, MUP USSR, 1990. 54 p.
13. **Vlasyuk P. A.** Biologicheskie ehlementy v zhiznedeyatelnosti rastenij. Kiev: Naukova dumka, 1969. 516 p.
14. **Dovidnik** z agrohimichnogo ta agroekologichnogo stanu gruntiv Ukraini / B. S. Nosko, V. S. Prister, M. V. Loboda. Kiev: Urozhaj, 1994. 336 p.
15. **Artyushin A. M., Derzhavin L. M.** Kratkij spravochnik po udobreniyam. Izdanie 2-nd, pererabotannoe i dopolnennoe. Moscow: Kolos, 1984. 208 p.
16. **Zonn S. V., Travleev A. P.** Alyuminij. Rol v pochvoobrazovanii i vliyanie na rasteniya. Dnepropetrovsk: DGU, 1992. 224 p.
17. **Fateev A. I., Pashchenko Ya. V., Balyuk S. A.** Fonovij vmist mikroelementiv u gruntah Ukraini. Harkiv: Vid-vo NNC "Institut gruntoznavstva ta agrohimii im. O. N. Sokolovskogo", 2003. 117 p.
18. **Zemelni resursi** Ukraini. Za red. V. V. Medvedeva. Kiev: Agrarna nauka, 1998. 148 p.
19. **Osobennosti** rasprostraneniya tyazhelyh metallov mikro- i radioaktivnyh ehlementov v landshaftah Donbassa. M. V. Bolotskih, M. V. Oreshkin, P. V. Shelihov i dr. Lugansk: OAO "LOT", 2004. 196 p.
20. **Kovalskij V. V., Andrianova G. A.** Mikroehlementy v pochvah SSSR. Moscow: Nauka, 1970. P. 147—161.

УДК 66.066.3

А. Л. Харитоненко, ст. преп., e-mail: tsar-87@mail.ru, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Я. В. Зачиняев, д-р хим. наук, д-р биол. наук, проф., Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург

Очистка резервуаров от нефтепродуктов с помощью технических моющих средств, содержащих новые поверхностно-активные вещества

Приведены данные анализа существующих технологий и способов очистки резервуаров от нефтепродуктов. Отмечены недостатки применяемых в настоящее время технологий, а также намечены пути и способы по наилучшему построению процессов очистки. Предложено новое техническое моющее средство (ТМС), обоснован выбор его качественного и количественного состава. Проведено сравнение с другими ТМС.

Ключевые слова: *очистка, отмывка резервуаров, железнодорожных цистерн, загрязнения, нефтеостатки, моющая композиция, технические моющие средства, промывочно-пропарочные станции, водонефтяные эмульсии, поверхностно-активные вещества, оксиды хинонов и их производные, нефтепродукты, диспергирование, модульные передвижные установки*

1. Анализ технологий и практические рекомендации по очистке резервуаров от нефтепродуктов

В нефти и нефтепродуктах, хранимых в резервуарах, с течением времени происходит процесс изменения компонентного состава в результате физико-химических преобразований, что способствует выделению и накоплению углеводородных нефтяных отложений с механическими примесями и водно-эмульсионными образованиями на внутренних поверхностях резервуаров. Отложения влияют на качество товарной продукции и реальный объем резервуаров, так как высота слоя отложений может достигать десятков сантиметров [1]. В отложениях резко увеличено содержание парафиновых, асфальтеновых и высокосмолистых веществ, кроме того, в них в большом количестве содержатся продукты коррозии, глина, песок и вода, свободная и связанная в эмульсиях.

Нормативные требования ГОСТ 1510—84 "Нефть и нефтепродукты" по сортности и качеству нефтепродуктов ограничивают содержание в нефтепродукте данных загрязнений. Требования данного нормативного документа могут быть обеспечены только при очистке резервуаров от остатков ранее хранимых продуктов и образовавшихся отложений. Очистка резервуаров — трудоемкий процесс. В России и за рубежом очищают резервуары различными способами, одновременно ведут поиск и разработку более совершеннных методов очистки в направлении снижения трудоемкости ручного труда, времени очистки, утилизации отмытых отложений без дополнительных средств на восстановление качества утилизируемого нефтепродукта.

Развивающееся направление очистки резервуаров от отложений с применением водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) позволяет снизить трудоемкость работ, отказаться от традиционных способов очистки (до 90 % в общем числе отмытых резервуаров) — пропарки и промывки горячей водой, например, на промывочно-пропарочных станциях (ППС).

Экологическая составляющая процесса очистки достаточно обширна. Практически только химико-механизированная технология, работающая по замкнутому циклу, в отличие от пропарочной, может предотвратить образование большого количества обводненных нефтеостатков, фильтров для пропарки, нефтезагрязненного песка для засыпки проливов, обтирочной ветоши, шламовых бассейнов, а также выбросов в атмосферу летучих фракций углеводородов, загрязнения нефтепродуктами почвы и водных объектов. При такой технологии возможны полная утилизация отмытых отложений с их регенерацией или непосредственным использованием в качестве котельного топлива.

Очистка цистерн от нефти и нефтепродуктов является чрезвычайно актуальной [2], поскольку

промывке постоянно подлежит достаточно большое их число, а период, затрачиваемый на их обслуживание, является большим и неприемлемым с экономической точки зрения.

Промывке цистерн водой или моющим раствором температурой 60...90 °С с использованием ППС, иногда с предварительной пропаркой для разогрева и удаления остатка, подвергается около 50 % всех порожних цистерн. Расход промывочной воды на цистерну составляет 2...10 м^3, а продолжительность промывки 30...180 мин в зависимости от вида и количества остатка и необходимости пропаривания.

На всех ППС промывочная вода используется повторно с промежуточным отстаиванием или флотацией и последующим подогревом паром. В воде после промывки содержится много тонкоэмульгированных частиц, концентрация которых может достигать 1000 мг/л. Кроме того, в воду попадают фенолы, щелочи и другие взвешенные, растворенные и плавающие вещества. Максимальный расход воды на ППС достигает 200...300 м^3/ч. Избыток вследствие конденсации пара, т. е. практически расход сточной воды, составляет 15...30 м^3/ч, или 200...600 м^3/сут. [3].

Основное очистное сооружение системы оборотного водоснабжения — флотатор-отстойник — представляет собой резервуар диаметром 6...10 м и глубиной 3 м, в центре которого расположен коаксиально-козырьковый водораспределитель. Очищенная во флотаторе-отстойнике вода подается насосом через подогреватель для промывки цистерн.

Наиболее прогрессивным процессом очистки в сравнении с промывочно-пропарочным является химико-механизированный способ — с применением химических препаратов, гидравлических устройств подачи и отбора жидкости из резервуара.

В некоторых случаях, при высоком качестве очистки и эффективности моющего средства, после удаления отложений химико-механизированными способами не требуется дальнейшая дегазация резервуара. Однако этот способ связан с некоторыми капитальными затратами на механическое обустройство технологического процесса очистки, но при большом числе резервуаров и регулярной необходимости проведения очистки затраты на обустройство быстро окупаются [1].

Химико-механизированные способы выполняются по двум основным направлениям: промывка жидкостью, закачиваемой на поверхность отложений, с медленным растворением слоя, контактирующего с раствором, и струйное разрушение поверхностного слоя отложений. В настоящее время применяются и другие основные способы очистки отложений: ручной — с применением лопат, скребков, метел, обтирочных материалов; механизированный — с применением различных средств механизации, в том числе гидравлических и пневматических устройств, осуществляющих очистку с помощью пара, горячей или холодной воды.

Особенностью ручных способов очистки являются: необходимость пребывания человека в загрязненной, взрывоопасной среде, необходимость применения противогазов для защиты от ядовитых веществ и шланговых противогазов от углеводородных газов, невозможность применения металлических скребков и приспособлений, способных при трении образовать искру, большая трудоемкость, непригодность к очистке резервуаров большой вместимости с плавающими конструкциями.

Механизированные способы очистки позволяют уменьшить трудоемкость, сократить время очистки по сравнению с ручным способом, но также требуют пребывания человека в загрязненном резервуаре. Механизированному способу свойственны все недостатки ручного способа очистки. Кроме того, эти способы требуют большого расхода энергии.

Химико-механизированные способы наиболее прогрессивные, но в настоящее время не являются основными для очистки емкостей, хотя позволяют повышать качество и сокращать время очистки, уменьшать трудоемкость работ. Кроме того, они не требуют предварительной промывки резервуаров горячей водой и пропаривания с целью дегазации, не вызывают необходимости пребывания человека в загрязненных резервуарах.

Пропарка резервуаров, как и дегазация, может применяться для резервуаров до 700 м^3, при больших же объемах она неэффективна. Пропарка резервуаров связана с временем нагрева стенок до температуры 70...80 °С и поэтому требует много времени, а в резервуарах больших объемов достичь требуемой температуры весьма трудно.

Использование моющих препаратов на основе ПАВ позволяет применять способы размыва отложений в резервуарах без предварительной промывки горячей водой, вентиляции внутреннего герметичного пространства и без присутствия человека в неочищенном пространстве емкости. После удаления отложений химико-механизированными способами не требуется дальнейшая дегазация резервуара.

Промывка резервуаров ПАВ проводится по замкнутому циклу. Циклы могут быть прерывными и непрерывными. Прерывный цикл характеризуется отбором и подачей жидкости с отмытыми отложениями в отдельный отстойник,

изолированный от резервуара. Непрерывные циклы размыва осуществляют по цепочке: подача раствора в резервуар — отбор жидкости с диспергированным отложением из резервуара — фильтрация, очистка (или без нее) — подача раствора (жидкости) в резервуар.

Одной из разновидностей непрерывного цикла является применение на пути движения жидкости каскадных отстойников, работающих по системе сообщающихся сосудов. Скорость движения потока жидкости в отстойниках резко снижается, и происходит отстой. Технологическая цепочка движения жидкости в этом случае: подача раствора — отбор жидкости с диспергированными отложениями — динамический отстой в каскадных отстойниках — подача регенерированного раствора в резервуар с попутным его подогревом.

Поскольку водонефтяная эмульсия представляет собой неустойчивую систему, тяготеющую к образованию минимальной поверхности раздела фаз, вполне естественно ожидать наличие у нее склонности к расслоению. Однако в реальных условиях эксплуатации ППС во многих случаях образуются эмульсии, обладающие высокой устойчивостью. Это в значительной степени определяет выбор технологии их дальнейшей обработки, а также глубину отделения водной фазы от смытого нефтепродукта. Агрегативную устойчивость эмульсий измеряют временем их существования до полного разделения образующих эмульсию жидкостей. В случае эмульсий, полученных из разных нефтепродуктов, их устойчивость может составлять от нескольких секунд до года и более. К естественным стабилизаторам эмульсий относят содержащиеся в нефти асфальтены, смолы, нафтены и парафины, являющиеся природными ПАВ [4].

Критически важным элементом химико-механизированной технологии является применение такого ПАВ, которое не будет накапливать в себе нефтепродукты и будет использоваться многократно при замкнутом цикле очистки. Обычно моющие растворы составляют из ПАВ, ПАВ с химикатами и иногда с добавлением растворителей. В качестве растворителей применяют нефтепродукты, нефть и дистилляты.

Струйное разрушение отложений производится с помощью моечных машинок и гидромониторов. Качество очистки зависит от давления струи на поверхность отложений. Струя, ударяясь о поверхность отложений, проникает в поверхностный слой, отрывает мелкие частицы отложения от общей массы и способствует активному поверхностному воздействию деэмульгирования моющих растворов. Давление струи должно обеспечивать проникновение жидкости в поверхностный слой отложений и, отрываясь от него, не создавать брызг, так как последние при отрыве от поверхности заряжаются электростатически. В связи с этим количество одновременно действующих струй в резервуаре ограничивается. Необходимо ограничивать температуру подогреваемой воды или растворов, помня, что при температурах более 60 °С с большой скоростью увеличивается напряженность электростатического поля [5].

Техническое моющее средство (ТМС), которое будут применять при очистке, должно быть нетоксично для тех, кто обрабатывает емкость, а также не должно загрязнять окружающую среду.

Для эффективной очистки пользуются детергентами — веществами или смесями, помогающими отмывать что-либо от грязи, моющими средствами. В состав ТМС могут входить:

— ПАВ, т. е. вещества, уменьшающие поверхностное натяжение воды и способствующие тем самым проникновению воды в поры и между волокнами;

— вещества, изменяющие pH или влияющие на работу и стабильность других компонентов;

— окислители и щелочи для разрушения органических соединений;

— водные смягчители;

— материалы, которые удерживают грязь во взвешенном состоянии;

— компоненты, противодействующие вспениванию;

— компоненты, увеличивающие или уменьшающие вязкость раствора;

— ингибиторы коррозии, противодействующие появлению ржавчины.

Свойства технических моющих средств в значительной степени определяются свойствами входящих в их состав компонентов. Подбор же компонентов определяется исходя из назначения ТМС. Каждый компонент выполняет соответствующую функцию в сложном механизме процесса очистки. При этом основную роль играют ПАВ, а также соединения, улучшающие моющий эффект. Довольно часто в состав ТМС включают карбонат натрия, метасиликат натрия, дихромат калия, различные ингибиторы коррозии.

Важным условием эффективной очистки является щелочность моющего раствора. Так, максимальный моющий эффект ТМС по отношению к загрязнениям органического характера достигается при pH >11,5 [6]. Для обеспечения такого уровня щелочности в ТМС часто вводят тройную смесь: карбонат натрия (кальцинированная сода), тринатрийфосфат (триполифосфат натрия) и метасиликат натрия (жидкое стекло). В то же время наиболее высокий эффект по нейтрализации жирных кислот обеспечивается не при общей

высокой щелочности раствора ТМС, а при pH >8,5 в условиях карбонатной (активной) щелочности раствора.

Карбонат натрия кроме щелочного эффекта вследствие гидролиза, оказывает влияние на диспергирующую способность моющего раствора, повышает стабильность получаемых при этом суспензий. Силикаты натрия способствуют диспергированию и коагуляции загрязнений твердого характера, предупреждая их осаждение на очищенную поверхность деталей.

Все ПАВ в составе ТМС способствуют понижению поверхностного и межфазового натяжения, улучшению смачивания поверхности, повышают диспергирующий эффект и играют роль пенообразователей. Количество добавляемых ПАВ зависит от их химической природы и состава, режима использования, характера загрязнений и других факторов, которые должны учитываться при подборе конкретных ТМС. Существуют рекомендации по оптимальному их содержанию. Так, наибольший смачивающий эффект ТМС проявляется при концентрации в нем ПАВ в пределах 2...6 г/л, а по моющему эффекту — 4...8 г/л.

Основными требованиями, которым должна удовлетворять моющая композиция, являются: эффективность; экономичность; отсутствие токсичных элементов либо их быстрое разложение.

При очистке от углеводородных загрязнений нефтеналивного оборудования любых форм и размеров раствором моющего средства образуется неустойчивая эмульсия, разрушающаяся на водную и органическую фазы. Органическая фаза утилизируется или идет на вторичное использование, а водный раствор моющего средства используется повторно, что обеспечивает полную очистку.

Технологии, применяемые ОАО "РЖД" и ОАО "Первая грузовая компания", базируются на обработке внутренней поверхности котла вагона цистерны острым паром (120...130 °С), с дальнейшим ополаскиванием горячей водой (85...90 °С), когда все остатки по околорельсовым канавкам удаляются на очистные сооружения с дальнейшей утилизацией. Время подготовки одного котла цистерны 1...3 ч, а сам технологический процесс промывки характеризуют: большая энергоемкость; необходимость очистных сооружений; большая площадь застройки (капитальное строительство); непригодность к дальнейшему использованию собранных остатков; низкое качество подготовки внутренней поверхности котла цистерны; высокая себестоимость; необходимость большого количества технической воды и ее утилизации; в процессе пропарки большие выбросы углеводородов в атмосферу.

Существует линейка производственного оборудования, предназначенного для замкнутого цикла очистки, в частности техника ООО "НПО "БалтЭкоРесурс" (ООО НПК "ПромЭкоТех", Санкт-Петербург) [7], очищающая резервуары водоструйным способом путем гидравлического воздействия на слой нефтепродукта напорной струи посредством моющей машинки-гидромонитора. Давление струи моющего раствора ТМС обеспечивает проникновение в поверхностный слой нефтепродукта без создания брызг. Модульная передвижная установка (МПУ) представляет собой единый технологический блок-модуль, в котором размещается основное технологическое оборудование: система сбора и удаления смытых нефтеостатков; автономная система подогрева моющего раствора; насосные агрегаты; система контроля и управления процессом.

Технологическая схема промывки, реализованная в МПУ-001, отличается полным сбором смытых нефтеостатков; высокой скоростью промывки железнодорожных цистерн, не требующей окончательной промывки чистой водой; минимальными энергозатратами; минимальным количеством моющего раствора; быстрым способом изготовления и ввода в эксплуатацию. Именно для такой замкнутой технологии подойдет рассмотренное ниже ТМС.

2. Практические примеры работы с ТМС

В целях увеличения ассортимента эффективных неионогенных ПАВ, снижения температурных параметров, применяемых в процессе промывки, усиления моющего действия ТМС, проведения очистки без специального дегазационного оборудования, а также возможности повторного использования моющего средства при очистке по замкнутому циклу предложено новое ТМС — "ОРЕОН" (очищающий раствор емкостей от нефтепродуктов), включающее в себя силикат натрия Na_2SiO_3 — 0,75 %, карбонат натрия Na_2Co_3 — 3,75 %, смачиватель ОП-10 — 0,25 %, воду — 95 % и ПАВ — 0,25 %. В качестве основного ПАВ предлагается использовать производные 2-гидрокси-3-фенилэтинилтио(селено)-1,4-хинонов (далее — "ПХМ-1,4-хинонов" (производные 1,4-хинонов моющие)), защищенные патентом РФ [8].

Составляющие ТМС были предварительно выбраны, так как каждая из них выполняет определенную функцию:

— "ПХМ-1,4-хинонов" — хиноны с протяженной цепью сопряжения, благодаря чему обладают ярко выраженными поверхностно-активными свойствами, которые обеспечивают быстрое проникновение в структуру загрязнений, а затем — расслоение смытой эмульсии даже в холодной жесткой воде и последующую регенерацию ПАВ;

— Na_2SiO_3 — силикат натрия необходим как вещество, способное создать сплошную пленку на отмываемой поверхности для исключения повторного загрязнения отмываемой поверхности нефтепродуктами, а также для препятствия процессам коррозии отмываемых поверхностей;

— Na_2CO_3 — карбонат натрия — вещество, используемое в мыловарении, производстве чистящих и стиральных порошков, для обезжиривания металлических поверхностей, уменьшения жесткости воды;

— ОП-10 — раствор ПАВ, хорошо растворимый в воде, который за счет снижения поверхностного натяжения воды обеспечивает высокие смачивающие и эмульгирующие показатели; при взбалтывании с водой обладает хорошим пенообразованием и моющим действием.

Моющее средство "ОРЕОН" готовят путем смешивания гелеобразных и порошкообразных компонентов без их химического взаимодействия, а затем полученную смесь растворяют в воде. Этот 5 %-ный водный раствор при температуре 40 °С имеет щелочной показатель среды pH = 9,5 и плотность 1,03...1,05 г/см^3. Массовая доля нерастворимого осадка составляет 0,1...0,2 %.

Оптимальное процентное соотношение компонентов 5 %-ного раствора подбирали опытным путем исходя из роста эффективности очистки, основывая выбор количества компонентов на опыте применения предыдущих ТМС, достигающих наилучшей моющей способности при 4...8 г/л ПАВ в растворе и наилучшего смачивающего эффекта при ПАВ 2...6 г/л.

Из синтезированных "ПХМ-1,4-хинонов" для эксперимента по выбору оптимального процентного соотношения компонентов был выбран первый в ряду 2,3-дигидро-2-гидрокси-3-фенилэтинилтио-1,4-бензохинон (I). Эксперимент проводили следующим образом: использовали металлические пластины размером 40×40 мм, загрязненные 0,2 г котельного топочного мазута марки М-100, и помещали их в плоскодонную колбу с 200 мл ТМС, подогретыми до температуры 40 °С. После очистки пластины высушивались до установления постоянной массы и взвешивались для определения качества очистки. Результаты приведены в табл. 1.

Полученные данные эффективности 5 %-ного ТМС "ОРЕОН" с различным процентным соотношением активных составляющих ТМС между собой позволили подобрать оптимальное количество каждой из них, в том числе перейти от минимального 0,05 %-ного значения "ПХМ-1,4-хинонов" в ТМС, при котором качество очистки пластинок было недостаточным, к 0,25 %-ному значению, обеспечивающему pH > 9 и качество

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности ТМС в зависимости от концентрации составляющих 5 %-ного водного раствора ТМС "ОРЕОН"

№ п/п	Состав технического моющего средства "ОРЕОН"					Отмытое загрязнение, %	Внешний вид образца
	ПХМ-1,4-хинонов	Na_2SiO_3	Na_2CO_3	ОП-10	H_2O		
1	0,05	0,95	3,75	0,25	95	89,7	Легкая жирность
2	0,05	0,75	3,95	0,25	95	90,0	Легкая жирность
3	0,05	0,75	3,75	0,45	95	91,2	Легкая жирность
4	0,25	0,75	3,75	0,25	95	98,5	Чист
5	0,25	0,95	3,75	0,05	95	98,1	Чист
6	0,25	1,0	3, 5	0,25	95	96,2	Чист
7	0,25	0,75	3, 5	0,5	95	97,0	Чист
8	0,25	0,75	3,95	0,05	95	97,6	Чист
9	0,25	0,5	3,75	0,5	95	98,0	Несплошность пленки Na_2SiO_3
10	0,25	0,5	4,0	0,25	95	98,1	Несплошность пленки Na_2SiO_3
11	0,5	0,5	3,75	0,25	95	99,1	Чист
12	0,5	0,75	3,5	0,25	95	98,8	Чист
13	0,45	0,75	3,75	0,05	95	98,8	Чист

очистки в 98,5 %. Увеличение же количества "ПХМ-1,4-хинонов" более 0,25 % в растворе не приводит к заметному увеличению моющего действия. Минимальное содержание Na_2SiO_3 в растворе приводит к несплошности пленки на отмытой поверхности, что впоследствии может способствовать процессам коррозии и испарению загрязнений, если таковые останутся. В результате эксперимента самым оптимальным вариантом был выбран состав под № 4.

Следующей задачей было установить, все ли из синтезированных ПАВ будут одинаково эффективны, поэтому сравнение проводилось только в рамках ТМС "ОРЕОН", изменялось в его составе только основное ПАВ при очистке пластин, загрязненных модельными загрязнениями аналогично предыдущему опыту. В табл. 2 представлены сравнительные данные качества очистки образцов ТМС "ОРЕОН" при варьировании различных оксидов хинонов.

Данный опыт позволил убедиться, что благодаря схожему строению "ПХМ-1,4-хинонов" вещества II—VI практически также эффективно справляются с загрязнениями в составе ТМС, как и вещество I, поэтому было решено продолжить проводить опыты только с одним из оксидов хинонов.

Был проведен анализ и сравнение моющей способности других ТМС — "БОК", "О-БИС", рекламируемых производителями как пригодные для очистки резервуаров от нефтепродуктов, с "ОРЕОН". Определение моющих способностей ТМС проводилось двумя способами: первый позволяет зафиксировать образование эмульсии и засечь время ее расслоения, по сути регенерации, водной и углеводородной фаз (табл. 3), а второй — определить степень чистоты поверхности после очистки (см. рисунок). Расслоение и регенерация моющих композиций происходит посредством фазового разделения полученной эмульсии на моющее средство и нефтепродукт и гравитационный отстой. Сопоставление качества моющих растворов производится по температуре, количеству растворенных нефтепродуктов, pH ТМС после очистки, видам используемых загрязнений.

Таблица 2

Сравнительный анализ эффективности очистки загрязнений различными видами "ПХМ-1,4-хинононов" в составе ТМС "ОРЕОН"

Виды "ПХМ-1,4-хинонов" в 5 %-ном ТМС "ОРЕОН"	Количество отмытого загрязнения, %, в зависимости от вида загрязнения		
	Мазут	Нефть	Дизельное топливо
I	98,5	98,9	99,2
II	98,5	98,9	99,2
III	98,4	98,7	99,1
IV	98,5	98,7	99,2
V	97,9	98,4	99,0
VI	97,8	98,4	99,0

Таблица 3

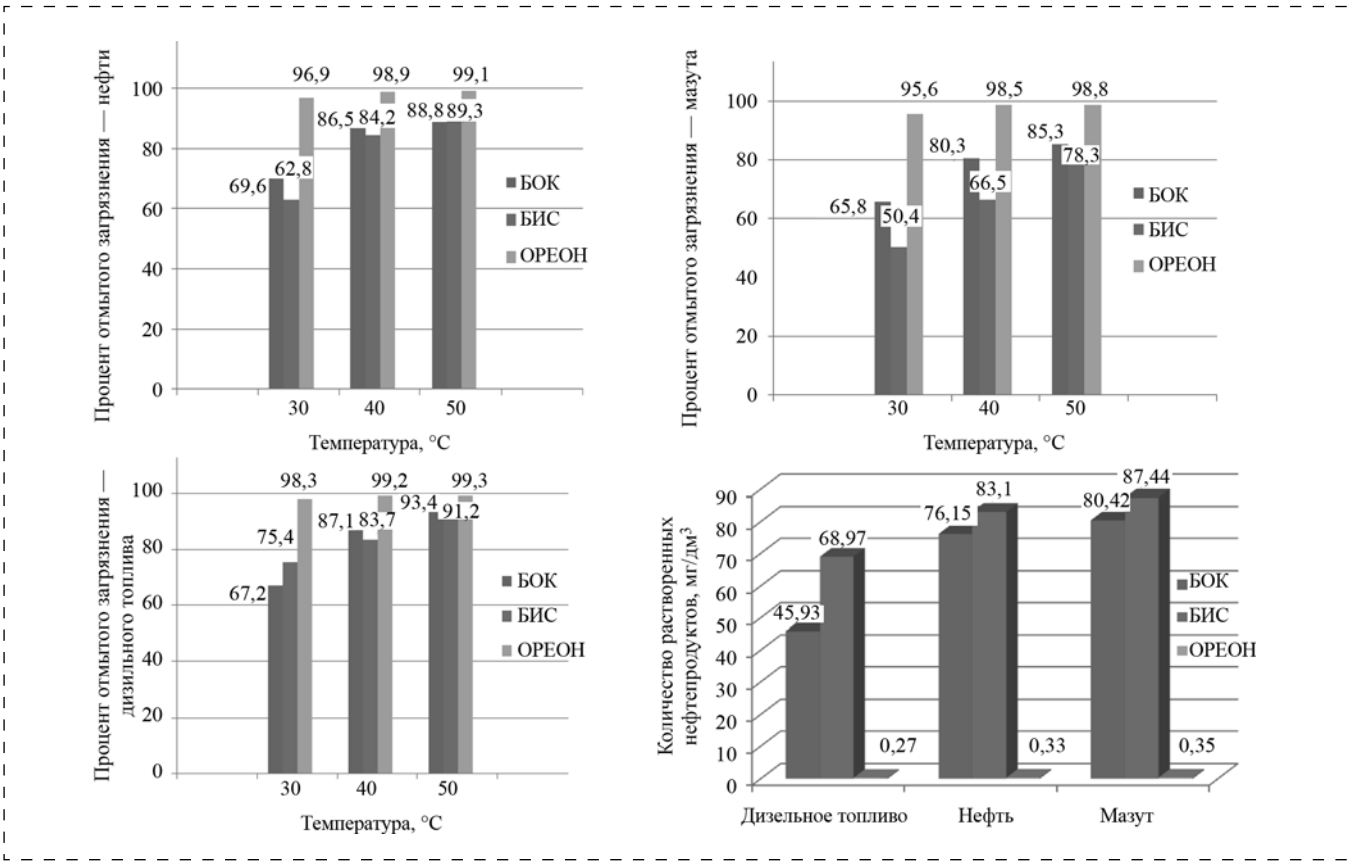
Сравнительные характеристики различных ТМС (ОРЕОН, БОК, О-БИС) по времени расслоения эмульсий с мазутом

Количество мазута, мл	Время расслоения эмульсии с мазутом, мин		
	ОРЕОН	БОК	О-БИС
20 (6:1)*	2	10	15
30 (4:1)	2	11	16
40 (3:1)	2	13	17
60 (2:1)	2	15	20
pH моющего раствора	9,5	11,9	10,9

* Соотношение частей моющего средства и загрязнения

Сравнение ТМС "ОРЕОН" с аналогичными ТМС по времени расслоения эмульсий проводили следующими способами. Первый способ основан на перемешивании раствора посредством механического воздействия с использованием магнитной мешалки. Заранее отмеренный объем — 120 мл 5 %-ного водного раствора ТМС помещается в плоскодонную термостойкую колбу, установленную на электроплитке, с магнитной мешалкой и регулируемым обогревом. Моющий раствор нагревали до температуры +40 °С, включали перемешивание, после чего в колбу помещали заранее отмеренное количество загрязняющего продукта (мазута) в объеме от 20 до 60 мл. Перемешивание полученной эмульсии продолжали в течение 5 мин, по окончании которых эмульсию сливали в делительную воронку для расслаивания, при этом фиксируя расслоение эмульсии и время, за которое оно произошло.

При сравнении различных ТМС вторым способом определяли моющую способность композиций, для чего использовали обезжиренные гладкие металлические пластины с равномерно нанесенным слоем мазута, нефти или дизельного топлива массой 0,2 г. Технологический процесс эксперимента основан на гидродинамическом способе, выражающемся в воздействии струи раствора моющего средства на слой нефтепродукта в течение 5 мин. Качество очистки определяли по массе оставшихся на пластинах загрязнений, определенной весовым методом, pH ТМС, определенному pH-метром-милливольтметром при температуре 20 °С, и количеству растворенных нефтепродуктов с помощью концентратомера нефтепродуктов ИКН-025.



Результаты очистки образцов от загрязнений различными ТМС

На основе данных табл. 3 можно сделать вывод, что ТМС "ОРЕОН" разрушает эмульсию в 5—10 раз быстрее, чем другие ТМС при одинаковых температурах, объемах загрязнения и времени перемешивания. Увеличение количества вносимых в колбы загрязнений в 3 раза не вызывает затруднений с расслоением эмульсии у ТМС "ОРЕОН" — оно все равно происходит почти мгновенно, а для ТМС "БОК" время расслоения увеличивается в 1,5 раза и для ТМС "О-БИС" — в 1,3 раза. Для замкнутого цикла очистки резервуаров в производственных условиях время имеет решающее значение для недопущения вторичного загрязнения стенок и сокращения времени простоя резервуаров под промывочными операциями.

Опыт по сравнению ТМС различных марок позволил установить, что количество отмытых загрязнений в процессе очистки с увеличением температуры растет у всех ТМС при очистке всех типов загрязнений, но именно показатели ТМС "ОРЕОН" достигают требуемых 98...99 %, а количество растворенных нефтепродуктов в отработанном моющем растворе, взятое из его толщи у "ОРЕОНа", в несколько десятков раз меньше, чем у аналогов, что говорит об отсутствии заметного накопления нефтепродуктов в отработанном моющем растворе.

После серии лабораторных экспериментов были проведены опыты по очистке железнодорожных цистерн из-под нефтепродуктов для апробации новой технологии, по исследованию свойств, эффективности, режимов подачи нового ТМС, показавшие положительный результат.

Список литературы

1. **Евтихин В. Ф.** Очистка резервуаров от остатков и отложений нефтепродуктов: тематический обзор. — М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1984. — 63 с.
2. **Харитоненко А. Л., Зачиняев Я. В.** Анализ условий труда промывальщиков-пропарщиков цистерн // Матер. III Междунар. конф. "Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2012)" 21—23 ноября 2012 г. — СПб.: ПГУПС, 2012. — С. 254—257.
3. **Канализация** населенных мест и промышленных предприятий / Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В. Н. Самохина. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1981. — 639 с.
4. **Позднышев Г. Н.** Стабилизация и разрушение эмульсий. — М.: Недра, 1982. — 222 с.
5. **Очистка** нефтеналивных судов и емкостей от нефтепродуктов. — М.: Транспорт, 1976. — 136 с.

6. **Бедрик Б. Г., Чулков П. В., Калашников С. И.** Растворители и составы для очистки машин и механизмов: Справочное издание. — М.: Химия, 1989. — 176 с.
7. **ООО "Научно-производственная компания** "БалтЭкоРесурс". Продукция. — 2018. URL: http://rosecotech.com/index.php?id=8 (дата обращения 11.05.18).
8. **Производные** 2-гидрокси-3-фенилэтинилтио (селено)-1,4-хинонов в качестве поверхностно-активных веществ и моющее средство их содержащее: Патент РФ на изобретение № 2547823: МПК C07C 50/00 C11D 3/08 C11D 3/10 / Я. В. Зачиняев, А. Л. Харитоненко, Ю. В. Сергиенко, Т. С. Титова, А. В. Зачиняева, Л. И. Ковалева; заявитель и патентообладатель Я. В. Зачиняев. 2013152521/04; заявл. 26.11.13; опубл. 10.04.15, Бюл. 2015 № 10. — 8 с.

A. L. Kharitonenko, Senior Lecturer, e-mail: tsar-87@mail.ru, Imperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, **Ya. V. Zachinyaev**, Professor, Russian State Pedagogical University named after A. I. Herzen, Saint-Petersburg

Cleaning of Tanks from Oil Products with the Help Technical Detergents Containing New Surface-Active Substances

The work analyzes the existing technologies and methods for cleaning tanks contaminated with oil and oil products. The urgency of improving the methods for cleaning tanks and cisterns from pollution is substantiated. The shortcomings of the currently used technologies are exemplified by the example of flushing and steaming stations. The ways and methods for the best construction of these processes are outlined. From a practical point of view, a new detergent was proposed, including new surfactants based on quinone oxide derivatives. The choice of its qualitative and quantitative composition is substantiated. Comparison with other technical detergents has been made.

Keywords: *Tank cleaning, railway tanks, pollution, oil residues, detergent composition, technical detergents, flushing and steaming stations, water-oil emulsions, surfactants, quinone oxides and their derivatives, petroleum products, dispersion, modular mobile installations*

References

1. **Evtihin V. F.** Ochistka rezervuarov ot ostatkov i otlozhenij nefteproduktov: tematicheskij obzor. Moscow: CNIITEHneftekhim, 1984. 63 p.
2. **Haritonenko A. L., Zachinyaev Ya. V.** Analiz uslovij truda promyval'shchikov-proparshchikov cistern. *Mater. III Mezhdunar. konf. "Tekhnosfernaya i ehkologicheskaya bezopasnost' na transporte (TEHBTRANS-2012)". 21-23 noyabrya 2012 g.* Ssint-Petersburg: PGUPS. P. 254—257.
3. **Kanalizaciya** naselennyh mest i promyshlennyh predpriyatij. N. I. Lihachev, I. I. Larin, S. A. Haskin i dr.; Pod obshch. red. V. N. Samohina. 2-e izdanie. Moscow: Strojizdat, 1981. 639 p.
4. **Pozdnyshev G. N.** Stabilizaciya i razrushenie ehmul'sij. Moscow: Nedra, 1982. 222 p.
5. **Ochistka** neftenalivnyh sudov i yomkostej ot nefteproduktov. I. L. Rabej i dr. Moscow: Transport, 1976. 136 p.
6. **Bedrik B. G., Chulkov P. V., Kalashnikov S. I.** Rastvoriteli i sostavy dlya ochistki mashin i mekhanizmov: Spravochnoe izdsnie. Moscow: Himiya, 1989. 176 p.
7. **OOO "Nauchno-proizvodstvennaya kompaniya"** BaltEHkoResurs". Produkciya. 2018. URL: http://rosecotech.com/index.php?id=8 (data od access 11.05.18).
8. **Proizvodnye** 2-gidroksi-3-fenilehtiniltio (seleno)-1,4-hinonov v kachestve poverhnostno-aktivnyh veshchestv i moyushchee sredstvo ih soderzhashchee: Patent RF na izobretenie № 2547823: MPK S07S 50/00 C11D 3/08 C11D 3/10 / Ya. V. Zachinyaev, A. L. Haritonenko, Yu. V. Sergienko, T. S. Titova, A. V. Zachinyaeva, L. I. Kovaleva; zayavitel' i patentoobladatel' Ya. V. Zachinyaev. 2013152521/04; zayavleno 26.11.13; opublikovano 10.04.15, Byul. 2015 No. 10. 8 p.

УДК 502/504

А. А. Гаврилова, ассистент, e-mail: alinagavrilova88@gmail.com,
О. И. Копытенкова, проф. кафедры, **Л. А. Андреева,** зав. лабораторией кафедры,
А. В. Фролов, ст. преп. кафедры, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Количественная оценка аккумуляции тяжелых металлов в растениях в зависимости от удаленности автодорог в центре Санкт-Петербурга

Представлены исследования образцов листьев сирени обыкновенной (Syringa vulgaris) на содержание тяжелых металлов, таких как медь, цинк, свинец, марганец, кадмий, отобранных в восьми садово-парковых зонах Санкт-Петербурга. Исследование проводилось методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии, с предварительной подготовкой проб. На основании полученных данных были показаны зависимости концентраций тяжелых металлов в исследуемых образцах от удаленности автомобильной дороги. Полученные результаты количественной оценки аккумуляции тяжелых металлов в растительных пробах были проанализированы и сделаны соответствующие выводы. Рассмотрены некоторые особенности вредного воздействия тяжелых металлов на растительные массы.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, автомобильные дороги, метод пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии, парковые зоны, листья растений, растительные пробы, ОДК, ПДК, экологическое состояние, урбанизированные территории, вредные вещества, почва*

Введение

Увеличение техногенной нагрузки на урбанизированные территории приводит к разрушению природных экосистем. Антропогенные агенты, которые попадают в природную среду и превышают фоновые значения, приводят к загрязнению окружающей среды. Растения крайне чувствительны к качеству окружающей среды и активно реагируют на любые изменения в ней. В городских условиях индикаторами антропогенного воздействия являются растительные массы. Например, загрязнения тяжелыми металлами нарушают фотосинтез и минеральное питание растений, что приводит к их болезням и гибели, а это, в свою очередь, ведет к усугублению экологического состояния территории. В связи с этим все чаще возникает необходимость в комплексной оценке воздействия тяжелых металлов на окружающую среду и на человека.

К тяжелым металлам относят более 40 химических элементов периодической системы Д. И. Менделеева, масса атомов которых составляет свыше 50 а. е. м. [1]. К тяжелым металлам относят Cd, Pb, Zn, Cu, Hg, Mg и др. Часть тяжелых металлов, таких как железо, медь, цинк, марганец, участвуют в биологических процессах и являются необходимыми микроэлементами для нормального функционирования живых организмов. Однако в больших количествах, при накоплении в тканях, они способны вызывать тяжелые заболевания у людей, угнетение и гибель растений. Согласно ГОСТ 17.2.1.02—83 тяжелые металлы подразделены на три класса опасности в зависимости от их воздействия на живые организмы:

1-й класс опасности — высоко опасные: Hg, Cd, Pb, Zn, As, Se, F;

2-й класс опасности — умеренно опасные: Cu, Co, Ni, Mo, Cr, B, Sb;

3-й класс опасности — мало опасные: V, W, Mn, Sr, Ba [2].

Общеизвестно, что источники поступления тяжелых металлов в природную среду делятся на природные и техногенные. Природные источники загрязнения: вулканические и осадочные породы, природные минералы и т. п. Техногенные источники загрязнения: электростанции, выбросы от предприятий, транспорт, удобрения.

Целью исследования являлось проведение качественной оценки аккумуляции тяжелых металлов в листьях кустарников в зависимости от удаленности автодорог на территории с высокой антропогенной нагрузкой в начале вегетационного сезона.

Характеристика мест отбора проб

№ пробы	Место отбора проб	Расстояние от автодороги, м
1	Никольский сад (точка 1)	50
2	Никольский сад (точка 2)	20
3	Никольский сад (точка 3)	100
4	Сад Дворца Юсуповых (точка 1)	10
5	Сад Дворца Юсуповых (точка 2)	100
6	Юсуповский сад (точка 1)	20
7	Юсуповский сад (точка 2)	250
8	Покровский сквер (точка 1)	10
9	Покровский сквер (точка 2)	10
10	Балтийский сквер	20
11	Лопухинский сад (точка 1)	10
12	Лопухинский сад (точка 2)	10
13	Лопухинский сад (точка 3)	100
14	Сад Олимпия (точка 1)	20
15	Сад Олимпия (точка 2)	50
16	Летний сад (точка 1)	10
17	Летний сад (точка 2)	20
18	Летний сад (точка 3)	250
19	Летний сад (точка 4)	100
20	Летний сад (точка 5)	20

Характеристика территории исследования

Для исследования содержания тяжелых металлов в зеленых насаждениях в городских условиях были выбраны восемь садово-парковых зон в центре Санкт-Петербурга. В каждом парке было выделено по несколько точек отбора проб с зеленых насаждений, всего 20 точек. Места исследования подбирались по следующим основным критериям:

— близость автодорог;

— интенсивность движения автотранспорта на прилегающих дорогах;

— доступность для населения.

Для исследования были выбраны кустарники сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris*). Во всех парках данный вид кустарников присутствовал. Все исследуемые территории окружены жилой застройкой и/или граничат с автомобильными дорогами с высокой интенсивностью движения. Места отбора проб находились на разном расстоянии от автодорог. Территории исследования представлены в таблице.

Методика исследования

Отбор проб проводился в начале вегетационного периода растений, в начале июня. Пробы были высушены в естественных условиях и измельчены. Подготовка проб проводилась на основании принятой методики [3]. Анализ содержания тяжелых металлов в листьях сирени обыкновенной проводился методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Результаты исследования на содержание в пробах растений тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu, Mg) приведены ниже.

Анализ полученных результатов

Для проведения анализа точки отбора проб исследуемых территорий ранжировали по удалению от автодорог. Результаты определения тяжелых металлов в растительных пробах отражены в гистограммах (рис. 1—5).

Для анализа полученных результатов необходимо было установить допустимые значения концентраций тяжелых металлов в исследуемых образцах. Предельно и ориентировочно допустимые

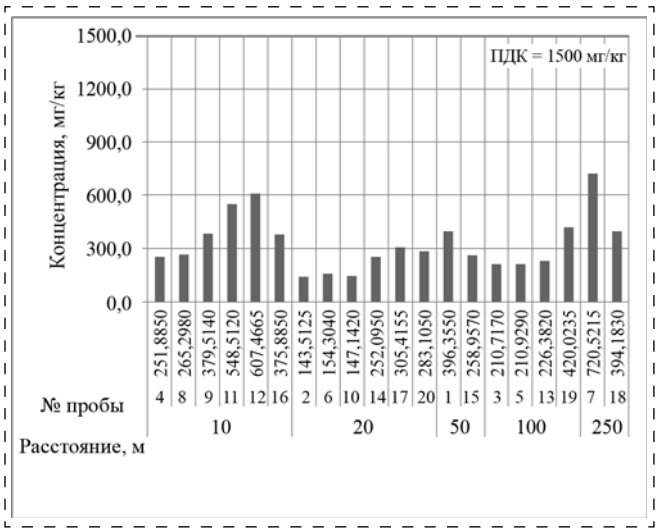


Рис. 1. Концентрация содержания марганца в исследуемых пробах листьев

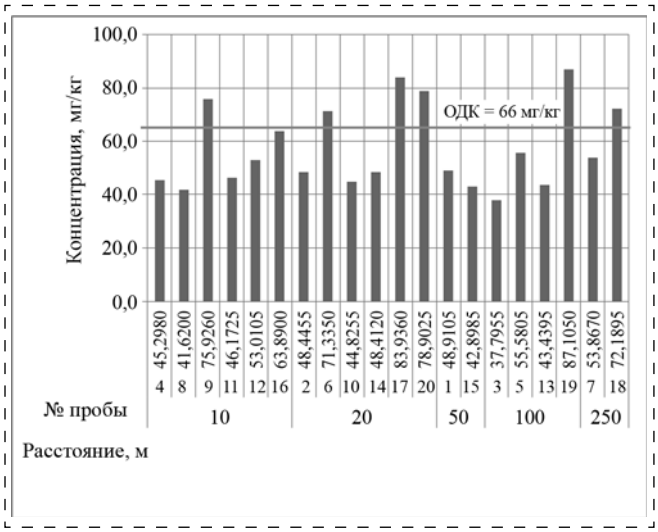


Рис. 2. Концентрация содержания меди в исследуемых пробах листьев

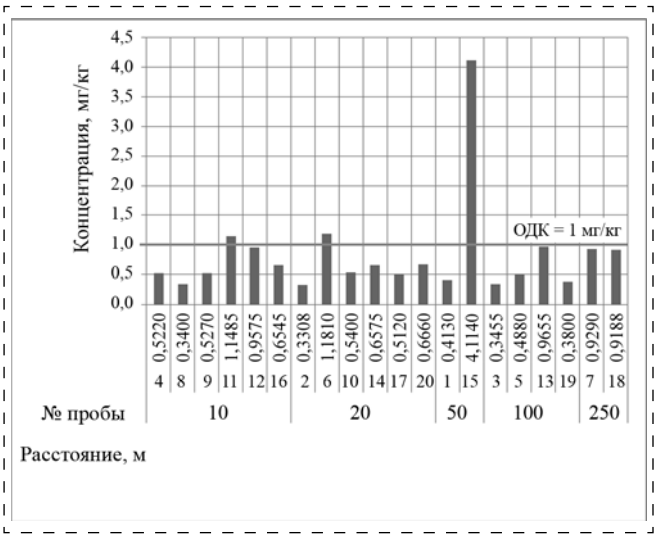


Рис. 3. Концентрация содержания кадмия в исследуемых пробах листьев

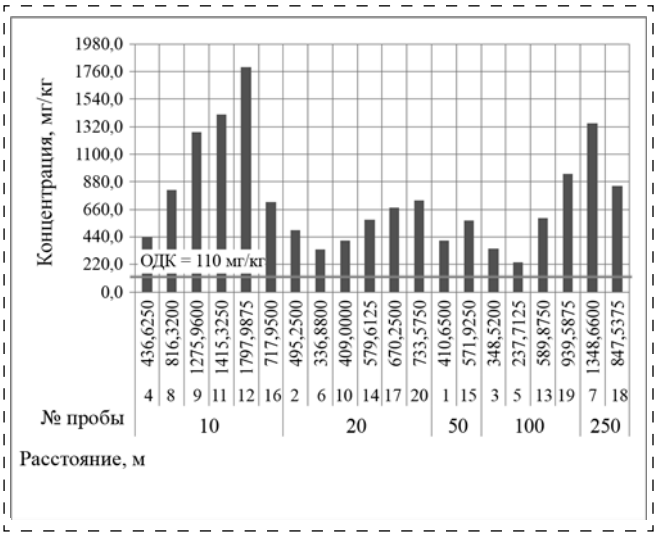


Рис. 4. Концентрация содержания цинка в исследуемых пробах листьев

концентрации (ПДК и ОДК) для растений не установлены. Многие авторы подобных исследований используют косвенную оценку загрязнений тяжелыми металлами растений, используя данные об уровне загрязнения тяжелыми металлами почвы [4]. В данном исследовании для оценки степени загрязнения тяжелыми металлами были использованы ПДК и ОДК для почв [ГН 41, ГН 42]. Основными типами почв на территории Санкт-Петербурга являются подзолистые и суглинки, в большинстве районов это кислые почвы [5]. Согласно ГН 42 ОДК были приняты для кислых почв со значением pH KCl < 5,5.

В результате исследования были выявлены превышения допустимых концентраций следующих тяжелых металлов: медь в 1,27 раза, кадмий

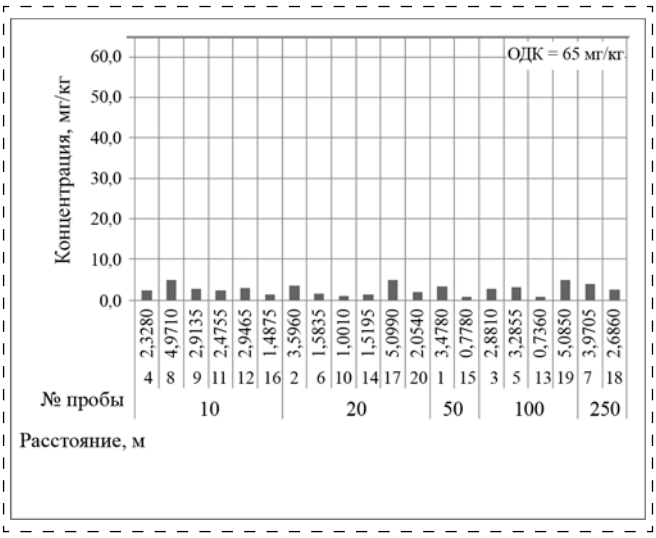


Рис. 5. Концентрация содержания свинца в исследуемых пробах листьев

в 1,81 раза, цинк в 16,35 раза. В пробе 15 превышение ОДК по кадмию составило 4 раза.

Согласно многочисленным исследованиям по мере удаления от источника загрязнения вредные вещества и соединения рассеиваются за счет циркуляционных процессов переноса [6]. Однако, как видно из гистограмм, концентрация тяжелых металлов в пробах зеленых насаждений фактически не зависит от степени удаленности от автодороги, что можно объяснить близким примыканием исследуемых территорий к автодорогам с высокой интенсивностью движения [7], а также плотностью застройки центральной части города, что, в свою очередь, мешает рассеиванию и снижению концентраций вредных веществ в атмосфере.

Заключение

Проведенный анализ содержания тяжелых металлов в растительных пробах показывает, что в условиях плотной городской застройки концентрация вредных веществ плохо поддается рассеиванию. В растительных образцах были обнаружены превышения концентраций некоторых высоко опасных металлов, например цинка и кадмия. Избыток тяжелых металлов в растениях приводит к нарушению фотосинтеза, увеличению плотности листьев и их деформации, раннему опадению, возможности мутации (изменению формы листьев, цветов и плодов). Симптомы избыточного поступления в растения кадмия проявляются в постепенном изменении окраски кончиков листьев и черешков до красновато-бурой и пурпурной. Медь и кадмий приводят к задержке роста растений. Свинец в достаточно высокой концентрации тормозит прорастание семян растений, замедляет рост корней

в длину, а также образование корневых волосков [8]. Токсическое действие на растения высоких концентраций цинка может проявляться в нарушении поступления и распределения других элементов. Цинк вызывает хлороз растений, при этом уменьшается поглощение железа. Так как растения чувствительны к негативным изменениям окружающей среды, их можно использовать в качестве индикаторов экологического благополучия районов.

Список литературы

1. **Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников С. И.** Экология почв. Часть 3. — Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. — 54 с.
2. **ГОСТ 17.4.1.020—83** Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения — М.: Стандартинформ, 2008. — 4 с.
3. **Методические указания** по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства — М.: ЦИАНО, 1992. — 64 с.
4. **Зубова Л. Г., Харламова А. В.** Эдафические условия рекультивированных терриконов. — Киев: Институт агроэкологии и природопользования Национальной академии аграрных наук Украины, 2012. — С. 41—47.
5. **Карта почв:** Учебный географический атлас Ленинградской области и Санкт-Петербурга. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1997. — С. 12—13.
6. **Венцель В. Д., Сердюк В. С., Янчий С. В.** Основы промышленной экологии и природопользования: Учебное пособие. — Омск: Изд-во Ом ГТУ, 2010. — 136 с.
7. **Юферева Л. М., Гаврилова А. А., Юферев М. Ю.** Исследование интенсивности автотранспортных потоков в центре мегаполиса // Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2012): материалы III Международной научно-практической конференции. — СПб.: ПГУПС, 1012. — С. 60—64.
8. **Байсеитова Н. М., Сартаева Х. М.** Фитотоксичное действие тяжелых металлов при техногенном загрязнении окружающей среды // Молодой ученый. — 2014. — № 2. — С. 382—384. URL: https://moluch.ru/archive/61/8882/ (дата обращения 11.06.2018).

A. A. Gavrilova, Assistant, e-mail alinagavrilova88@gmail.com,
O. I. Konytenkova, Professor of Chair, **L. A. Andreeva,** Head of laboratory,
A. V. Frolov, Senior Lecturer, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Quantitative Assessment of the Accumulation of Heavy Metals in Plants, Depending on the Remoteness of Roads in the Center of St. Petersburg

In the article, studies of samples of Syringa vulgaris leaves on the content of heavy metals such as copper, zinc, lead, manganese, cadmium, selected in eight garden and park areas of St. Petersburg are presented. The study was carried out by the method of flame atomic absorption spectrometry, with preliminary preparation of samples. On the basis of the obtained data, the dependences of heavy metal concentrations in the samples under study were shown from the distance of the road. The results of the quantitative evaluation of the accumulation of heavy metals in plant samples were analyzed and conclusions drawn. Some features of the harmful effect of heavy metals on plant matter are considered

Keywords: *heavy metals, car roads, method of flame atomic absorption spectrometry, park areas, leaves of plants, vegetable samples, ecological state, urbanized areas, harmful substances, the soil*

References

1. **Val'kov V. F., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I.** Ehkologiya pochv. Chast' 3. Rostov na Donu: UPL RGU, 2004. 54 p.
2. **GOST 17.4.1.02—83** Okhrana prirody (SSOP). Pochvy. Klassifikatsiya khimicheskikh veshhestv dlya kontrolya zagryazneniya. Moscow: Standartinform, 2008. 4 p.
3. **Metodicheskie ukazaniya** po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodij i produktsii rastenievodstva. Moscow: TSIANO, 1992. 64 p.
4. **Zubova L. G., Kharlamova A. V.** Ehdaficheskie usloviya rekul'tivirovannykh terrikonov. Kiev: Institut agroehkologii i prirodopol'zovaniya Natsional'noj akademii agrarnykh nauk Ukrainy, 2012. P. 41—47.
5. **Karta pochv:** Uchebnyj geograficheskij atlas Leningradskoj oblasti i Sankt-Peterburga. Saint-Petersburg: VSEGEI, 1997. P. 12—13.
6. **Ventsel' V. D., Serdyuk V. S., Yanchij S. V.** Osnovy promyshlennoj ehkologii i prirodopol'zovaniya: Uchebnoe posobie. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2010. 136 p.
7. **Yufereva L. M., Gavrilova A. A., Yuferev M. Yu.** Issledovanie intensivnosti avtotransportnykh potokov v tsentre megapolisa // *Tekhnosfernaya i ehkologicheskaya bezopasnost' na transporte (TEHBTRANS-2012): Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii.* Saint-Petersburg: PGUPS, 1012. P. 60—64.
8. **Bajseitova N. M., Sartaeva Kh. M.** Fitotoksichnoe dejstvie tyazhelykh metallov pri tekhnogennom zagryaznenii okruzhayushhej sredy. *Molodoj uchenyj.* 2014. No. 2. P. 382—384. URL: https://moluch.ru/archive/61/8882/ (date of access 11.06.2018).

УДК 656.085.5

Т. С. Титова, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, проректор,
Р. Г. Ахтямов, канд. техн. наук, доц. кафедры, e-mail: ahtamov_zchs@mail.ru,
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Оценка геоэкологической и пожарной обстановки при разливе нефти на водной поверхности

Дана оценка геоэкологической обстановки при разливе нефти на водной поверхности. Проведено моделирование процесса горения нефти на водной поверхности, а также предложена модель оценки времени горения нефти при разгерметизации подводного перехода магистрального нефтепровода. Дана оценка индивидуального и социального риска при возгорании разлива нефти в результате разгерметизации подводного перехода магистрального нефтепровода.

Ключевые слова: *геоэкология, пожарная безопасность, магистральный нефтепровод, разлив, водная поверхность, пожар, риск*

Магистральный нефтепровод (МН) предназначен для транспортировки товарной нефти и нефтепродуктов из районов их добычи (от промыслов), производства или хранения до мест потребления (нефтебаз, перевалочных баз, пунктов налива в цистерны, нефтеналивных терминалов, отдельных промышленных предприятий и нефтеперерабатывающих заводов). Магистральные нефтепроводы характеризуются высокой пропускной способностью, диаметром трубопровода 219...1400 мм и избыточным давлением 1,2...10 МПа [1].

Магистральные нефтепроводы проходят через различные преграды — автомобильные дороги, железнодорожные переезды, водные преграды. Пересечение водных преград магистральными трубопроводами чаще всего решается путем строительства подводных переходов.

В системе магистральных нефтепроводов России эксплуатируется свыше 2000 подводных трубопроводов, расположенных на 785 переходах через крупные реки и другие водные преграды. Суммарная ширина пересекаемых преград по зеркалу воды составляет 170 км. Суммарная протяженность подводных переходов между береговыми задвижками составляет 1330 км [2].

Оценка геоэкологической обстановки при разливе нефти на водной поверхности

Так как плотность нефти меньше плотности воды, то она всплывает на поверхность. Минимальная скорость всплытия нефтяных частиц определяется по уравнению Стокса:

$$v_{\text{всп}} = \frac{g}{18\mu_{\text{в}}} d_{\text{н}} \left(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}}\right), \qquad (1)$$

где $\mu_{\text{в}}$ — динамический коэффициент вязкости воды, кг/(м·с); $d_{\text{н}}$ — диаметр частиц нефти, м; $\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, кг/м^3; $\rho_{\text{н}}$ — плотность нефти, кг/м^3.

При всплытии нефтяных частиц происходит снос элементарного объема нефти течением реки (рис. 1).

При разливе нефтепродуктов на водной поверхности образуется нефтяное пятно, по форме

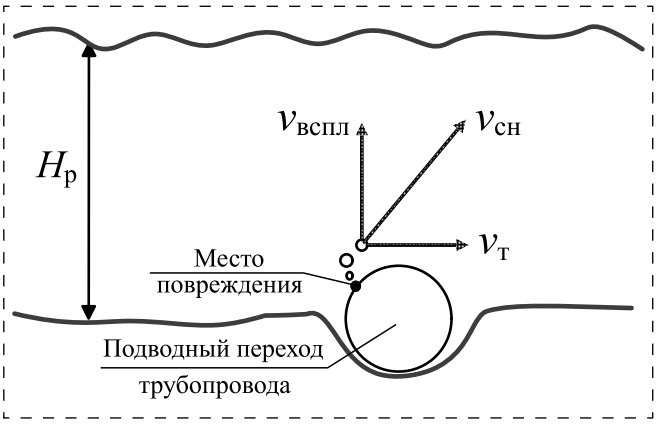


Рис. 1. Определение скорости всплытия нефти:
$H_{\text{р}}$ — глубина реки; $v_{\text{вспл}}$ — скорость всплытия нефти; $v_{\text{сн}}$ — скорость сноса нефти течением реки; $v_{\text{т}}$ — скорость течения реки

напоминающее эллипс, большая полуось которого ориентирована в направлении течения. Распространение нефтяного загрязнения по водной поверхности зависит от скорости ветра и скорости течения реки. Зависимость деформации нефтяного пятна от скорости ветра $v_в$ представлена следующими формулами:

$$W(A) = 1{,}16\exp(0{,}0432v_в); \quad (2)$$

$$W(B) = 0{,}46\exp(-0{,}04325v_в); \quad (3)$$

$$W(C) = 0{,}748\exp(-0{,}03608v_в)\sqrt{\frac{1+W(B)}{1+W(A)}}, \quad (4)$$

где $W(A)$, $W(B)$, $W(C)$ — размеры эллипса, представленного на рис. 2.

Графическая интерпретация результатов расчета деформации и перемещения нефтяного загрязнения для первых 3 с интервала 1 с, 2 с, 3 с при западном ветре представлена на рис. 3. Как видно из рисунка, нефтяное пятно с течением времени 1 с, 2 с, 3 с изменяет свои размеры в зависимости от скорости ветра $v_в$ и перемещается по реке в зависимости от скорости ее течения $v_т$ [2].

В итоге максимальная площадь пятна, м^2, не может превышать полученное по следующей формуле значение:

$$S = 10^5 V^{3/4}, \quad (5)$$

где V — начальный объем разлива, м^3.

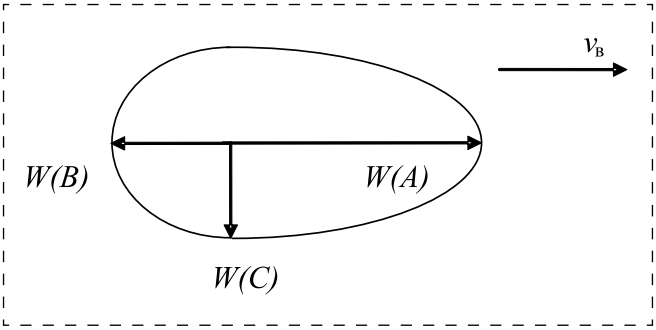


Рис. 2. Деформация нефтяного пятна

При разливе нефти скорость движения нефтяного пятна, м/с, в зависимости от направления ветра определяется по формулам соответственно для $W(A)$, $W(B)$, $W(C)$:

$$v_{рн} = v_т \pm 0{,}035v_в; \quad (6)$$

$$v_{рн} = v_т \pm 0{,}0245v_в; \quad (7)$$

$$v_{рн} = v_т. \quad (8)$$

Моделирование процесса горения нефти на водной поверхности

При разрушении магистральных нефтепроводов создается опасность возникновения пожара пролива транспортируемого горючего. Для того чтобы произошло возгорание разлива нефти, источник зажигания должен обладать достаточной

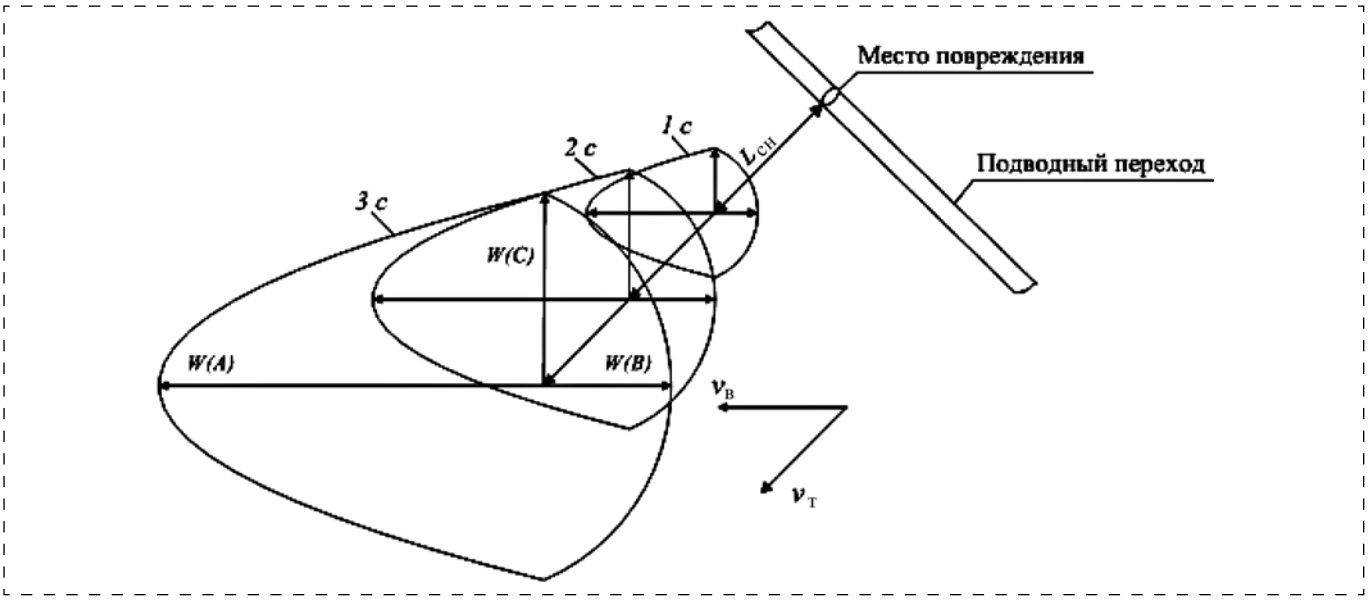


Рис. 3. Схема деформации и перемещения нефтяного загрязнения

энергией, температурой и длительностью воздействия. В зависимости от вида энергии источники зажигания условно делятся на четыре класса [3]:

— термические — открытое пламя, нагретая поверхность, искры, тлеющие материалы, нагретые газы, солнечные лучи;

— механические — поверхности, нагретые трением, сжатием, ударом, прессованием, а также фрикционные искры;

— химические — нагрев вещества за счет жизнедеятельности микроорганизмов, химического взаимодействия с несовместимыми веществами;

— электрические — разряд атмосферного электричества, разряд статического электричества, газовый разряд, короткое замыкание.

На рис. 4 представлена развернутая схема процесса горения нефтяной пленки на водной поверхности. Как видно из рисунка, процесс горения нефтяной пленки на поверхности воды ограничен некоторыми условиями. Так, скорость и направление ветра оказывают влияние на скорость распространения фронта пламени: при встречном ветре со скоростью 1,25 м/с огонь практически не распространится по пленке нефти, перемещаемой по реке со скоростью течения воды 0,8 м/с. По мере испарения легких фракций нефти условия воспламенения пленки также затрудняются. На воспламенение горючей жидкости оказывает влияние и толщина ее пленки на поверхности воды. При толщине пленки нефти менее 3 мм (бензина менее 0,6 мм) поджечь ее без применения специальных средств (порошков, древесных опилок, стеклянных шариков и т. п.) не удается.

Практика ликвидации ЧС показывает [1], что паровоздушные смеси взрывоопасной концентрации при взрывах на открытой поверхности образуются в небольшом слое, непосредственно над зеркалом разлива, и могут служить лишь для инициирования воспламенения разлитой нефти при наличии источника воспламенения. Поэтому взрыв паровоздушной смеси, как фактор поражения при ЧС на линейной части магистральных нефтепроводов, рассматривается как маловероятное событие.

Оценив обстановку при возгорании пролива нефти на водной поверхности, можно сделать вывод, что после образования гильотинного разрыва подводного перехода происходит возгорание разлива нефти.

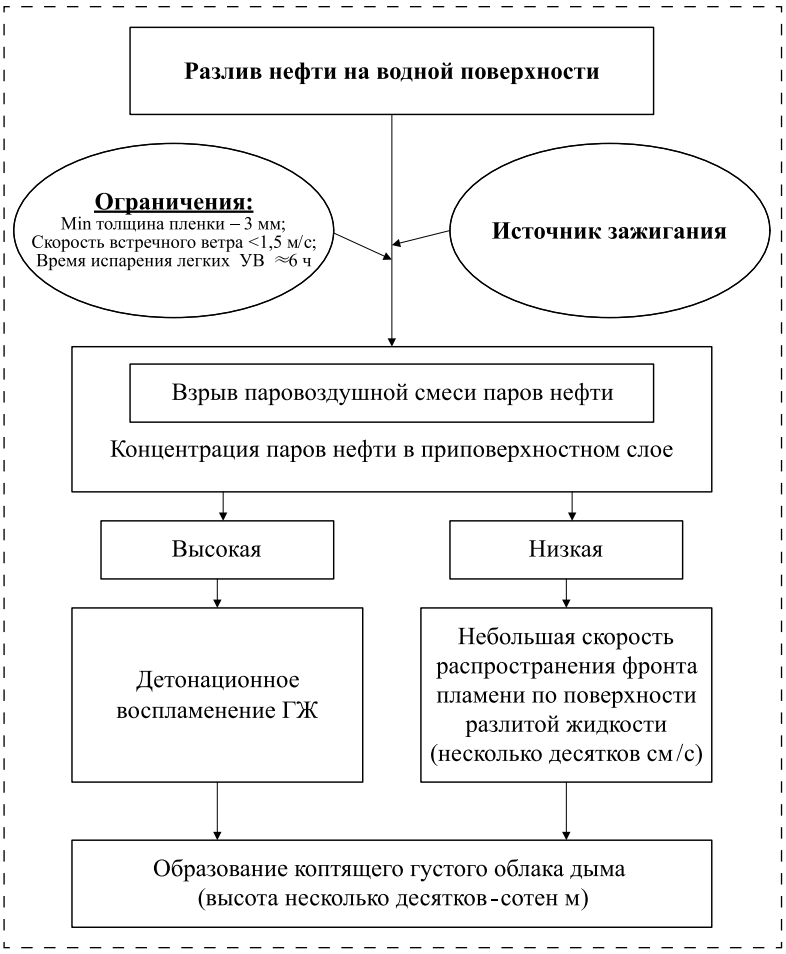


Рис. 4. Схема процесса горения нефтяной пленки на поверхности воды

Определение размеров зоны, ограниченной нижним концентрационным пределом распространения пламени паров нефти

Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) — минимальное содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при которой возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания [4].

Размеры зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени паров нефти, определяют по методике [5] в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 5.

Нефть является веществом, неоднородным по своему составу, и представляет собой сложную смесь взаиморастворимых углеводородных жидкостей. Поэтому определяется по зависимости, в которой используются рабочая температура жидкости и температура вспышки паров углеводородных жидкостей в закрытом тигле.

Интенсивность испарения разлива нефти определяется исходя из величины коэффициента, зависящего от скорости

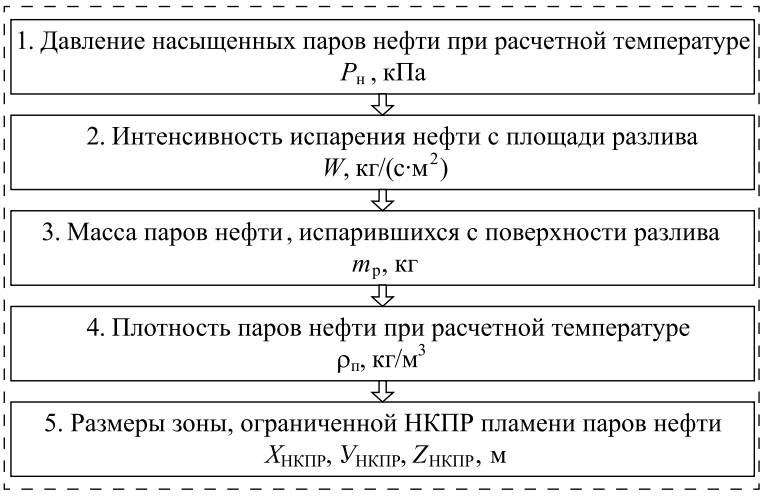


Рис. 5. Алгоритм расчета размеров зоны, ограниченной НКПР пламени паров нефти

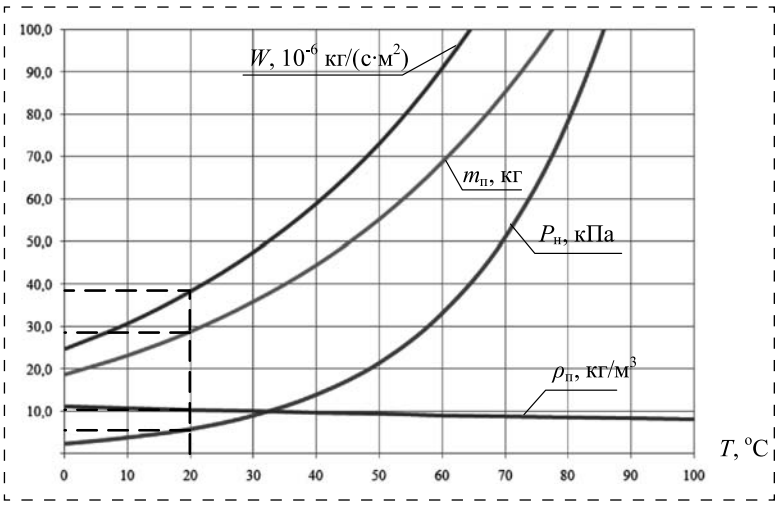


Рис. 6. Зависимость давления насыщенных паров $P_н$, интенсивности испарения W, массы $m_п$ и плотности $\rho_п$ паров нефти от температуры нефти T

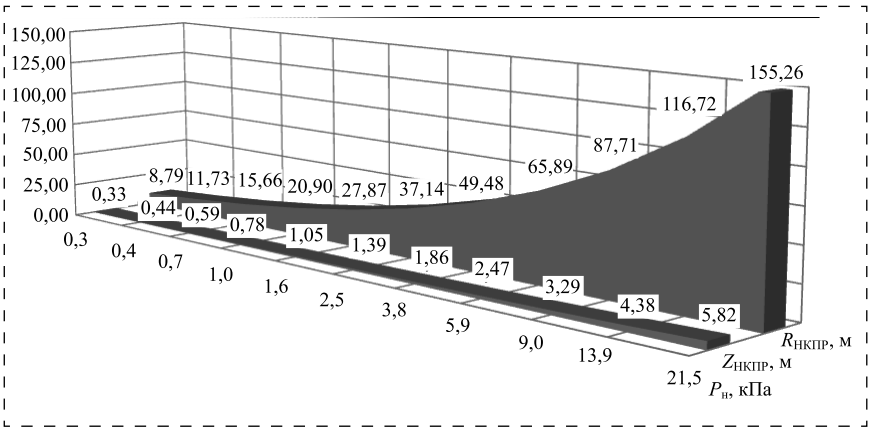


Рис. 7. Зависимость размеров зоны $R_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$, ограниченной НКПР пламени, от давления насыщенных паров нефти $P_н$

испарения и температуры воздушного потока над поверхностью испарения, молярной массы нефти и давления насыщенных паров. Масса паров нефти, поступивших в пространство, определяется исходя из интенсивности испарения нефти, площади и времени испарения. Плотность паров нефти определяется исходя из молярной массы нефти, мольного объема и температуры паров.

На рис. 6 представлены графики зависимости давления насыщенных паров нефти, интенсивности испарения разлива нефти, массы и плотности паров нефти от температуры нефти. Как видно из рисунка, с увеличением температуры нефти давление насыщенных паров, интенсивность испарения разлива нефти и масса нефти увеличиваются, а плотность паров нефти уменьшается.

Радиус $R_{НКПР}$ (м) и высота $Z_{НКПР}$ (м) зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени, определяются в соответствии с Методикой [5].

Зависимость $R_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$ от массы паров нефти, испарившихся с площади разлива, в зависимости от давления насыщенных паров нефти, представлена на рис. 7. Как видно из рисунка, высота зоны, ограниченной НКПР, незначительна по сравнению с радиусом.

Определение интенсивности теплового излучения при пожаре пролива нефти

При пожаре пролива нефти на водной поверхности возникает опасность воздействия теплового излучения на населенные пункты, расположенные в прибрежной полосе, транспортные суда, находящиеся во время пожара в воде, и людей, находящихся на берегу. Интенсивность теплового излучения при пожаре пролива нефти рассчитывается по алгоритму, представленному на рис. 8.

Эффективный диаметр пролива (d, м), среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени (E_f, кВт/м^2), высота пламени (H, м), а также параметр h определяются в соответствии с Методикой [5].

Зависимость параметров S, A, B (промежуточные результаты расчета из Методики [5]) от расстояния

Рис. 8. Последовательность расчета интенсивности теплового излучения при пожаре пролива нефти

от геометрического центра пролива до облучаемого объекта представлена на рис. 9. Как видно из рисунка, при увеличении R параметр S увеличивается прямо пропорционально, а параметры B и A уменьшаются. По рисунку можно также определить область применимости формул для расчета параметров A и B, для которых необходимым условием является условие $S > 1$, что выполняется при расстоянии, превышающем 366 м (при эффективном диаметре пролива 730 м).

Зависимость изменения параметров F_v, $F_н$ (промежуточные результаты расчета из методики [5]) и углового коэффициента облученности F_q от расстояния от геометрического центра пролива до облучаемого объекта представлена на рис. 10. Как видно из рисунка, значения параметров F_v,

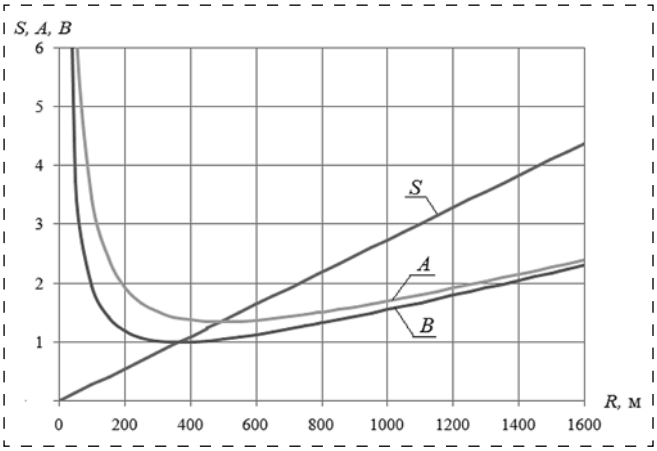


Рис. 9. Зависимость параметров *S*, *A*, *B* от расстояния *R* от геометрического центра пролива до облучаемого объекта

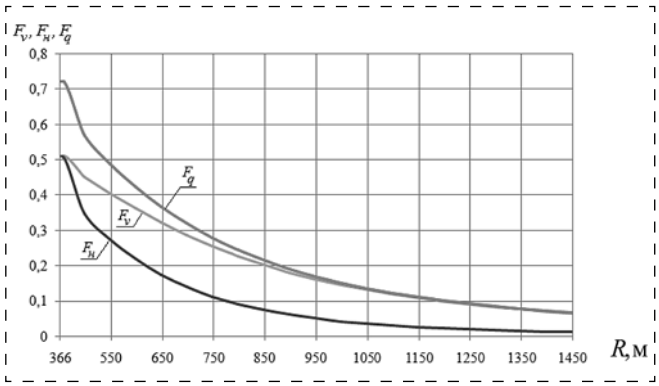


Рис. 10. Зависимость параметров F_v и $F_н$ и углового коэффициента облученности F_q от расстояния *R* от геометрического центра пролива до облучаемого объекта

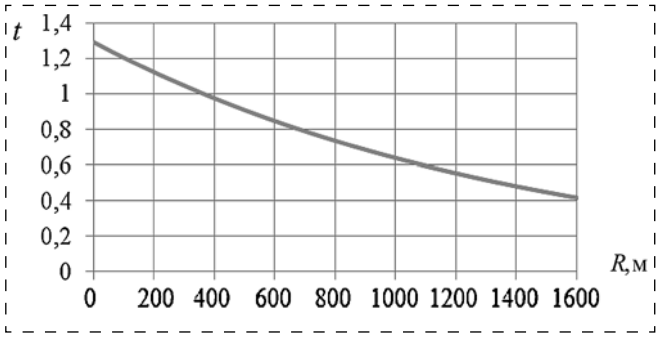


Рис. 11. Зависимость коэффициента пропускания атмосферы *t* от расстояния *R* от геометрического центра пролива до облучаемого объекта

Предельно допустимая интенсивность теплового излучения *q* пожаров проливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей

Индекс зоны	Степень поражения	*q*, кВт/м^2
А	Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4
Б	Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2
В	Непереносимая боль через 3...5 с Ожог 1-й степени через 6...8 с Ожог 2-й степени через 12...16 с Воспламенение хлопка-волокна через 15 мин	7,0
Г	Непереносимая боль через 20...30 с Ожог 1-й степени через 15...20 с Ожог 2-й степени через 30...40 с	10,5
Д	Воспламенение древесины с шероховатой поверхностью (влажность 12 %) при длительности облучения 15 мин	12,9
Е	Воспламенение древесины, окрашенной масляной краской по строганой поверхности, воспламенение фанеры	17,0

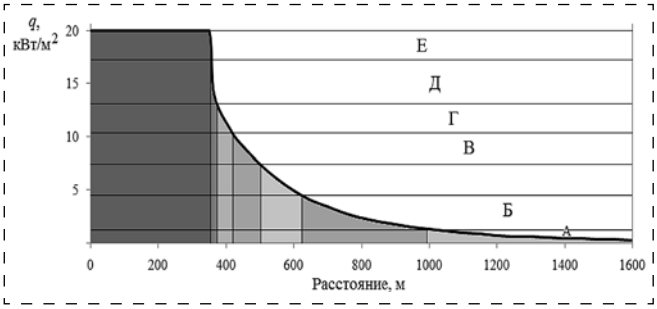


Рис. 12. Зависимость интенсивности теплового излучения при возгорании разлива нефти при разгерметизации подводного перехода МН от расстояния до облучаемого объекта

$F_н$ и F_q уменьшаются при увеличении расстояния от геометрического центра пролива.

Зависимость коэффициента пропускания атмосферы t [5] от расстояния от геометрического центра пролива до облучаемого объекта представлена на рис. 11.

В таблице приведена информация о предельно допустимой интенсивности теплового излучения пожаров проливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей [4, 5].

Зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до облучаемого объекта представлена на рис. 12. Как видно из рисунка, на расстоянии 980 м интенсивность теплового излучения пожара не имеет негативных последствий, а расстояние до 650 м представляет опасность для человека.

Оценка времени горения нефти при ЧС, вызванной возгоранием разлива нефти при разгерметизации подводного перехода магистрального нефтепровода

В этом случае процесс горения нефти разбивается на две стадии [2]:

1-я стадия — формирование очага пожара;

2-я стадия — догорание нефти и нефтепродуктов.

При разливе нефти на водной поверхности образуется нефтяное пятно, по форме напоминающее эллипс, большая полуось которого ориентирована в направлении ветра. Поэтому площадь горения S, м^2, представляет собой площадь эллипса:

$$S = \pi ab, \quad \frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \qquad (9)$$

где x и y — координаты контура нефтяного пожара; $a = \frac{1}{2}(\omega_A + \omega_B)t_г$, $b = \omega_C t_г$ — большая и малая полуоси эллипса; $x_0 = \frac{1}{2}(\omega_A - \omega_B)t_г$, $y = 0$ —

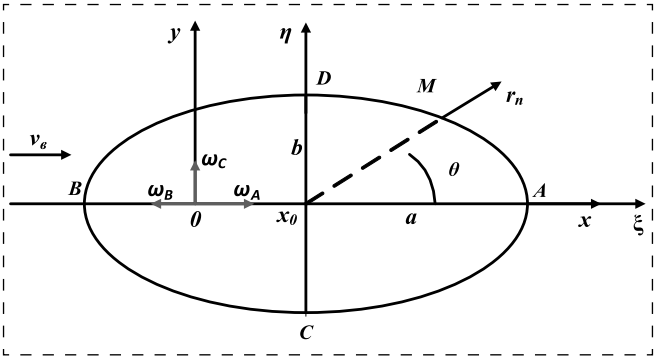


Рис. 13. Вид контура, ограничивающего площадь горения нефти, разлитой на водной поверхности:
0 — точка, где произошло зажигание нефти; x, y — координаты контура нефтяного пожара; ξ, η — подвижная система координат, связанная с центром эллипса (x, 0); A, B, C, D — характерные точки контура нефтяного пожара; M — нормаль к контуру нефтяного пожара

координаты центра эллипса; ω_A — скорость распространения фронта горения по направлению ветра, м/с; ω_B — скорость распространения фронта пожара против скорости ветра, м/с; ω_C — скорость распространения горения перпендикулярно скорости ветра, м/с; $t_г$ — время после начала горения разлива нефти на поверхности воды, с.

Вид эллипса, ограничивающего площадь горения, представлен на рис. 13. Зависимость скоростей распространения фронта горения, м/с, скорости ветра можно представить следующими формулами:

$$\omega_A = 1{,}16\exp(0{,}0432 v_в); \qquad (10)$$

$$\omega_B = 0{,}46\exp(-0{,}04325 v_в); \qquad (11)$$

$$\omega_C = 0{,}748\exp(-0{,}03608 v_в)\sqrt{\frac{1+\omega_B}{1+\omega_A}}. \qquad (12)$$

График зависимости скоростей распространения фронта горения от скорости ветра примет вид, представленный на рис. 14. Как видно из рисунка, скорости распространения пламени против ветра B и перпендикулярно ветру C уменьшаются при увеличении скорости ветра. Таким образом, чем больше скорость ветра, тем более вытянут эллипс, представляющий собой контур распространения пожара на водной поверхности.

При скорости ветра 1,2 м/с ω_A = 1,222, ω_B = 0,437 м/с, ω_C = 0,576 м/с.

Скорость распространения пламени по нормали к контуру нефтяного пожара $\omega_п$, м/с, для нефти определяется по формуле:

$$\omega_п = \omega_0 + (\omega_\infty - \omega_0)\left[1 - \exp(-\beta v_в \cos\theta)\right], \qquad (13)$$

где ω_0 = 0,025 м/с, ω_∞ = 0,61 м/с, β = 0,045 — эмпирические постоянные; θ — угол между скоростью

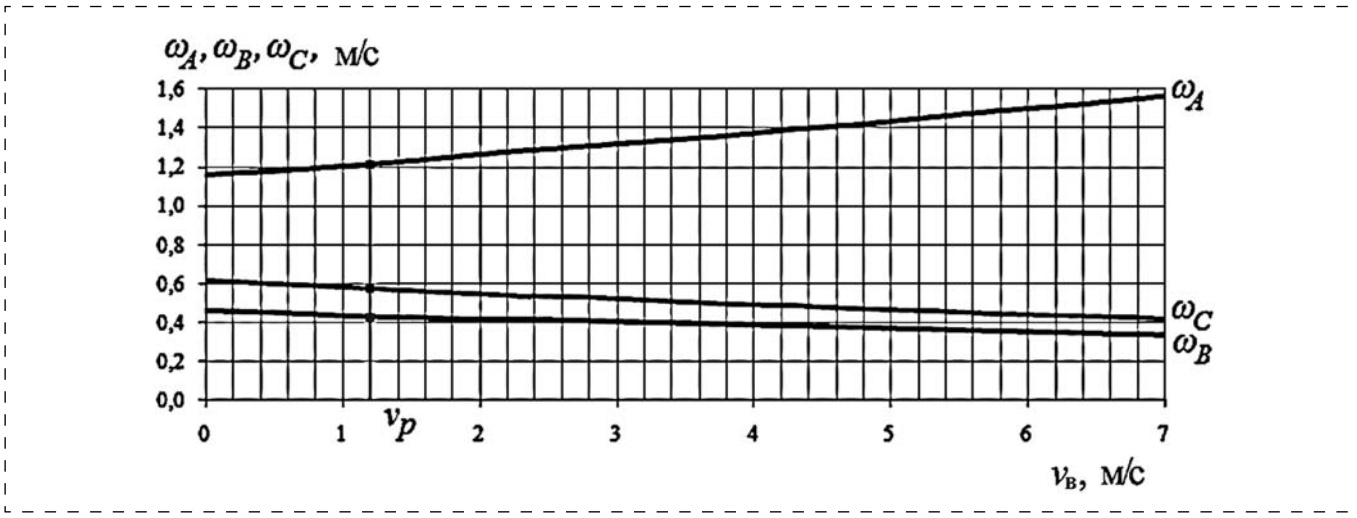


Рис. 14. Зависимость скоростей распространения фронта горения от скорости ветра ($v_р$ — скорость течения реки, равная 1,2 м/с)

распространения пламени по нормали к контуру и направлением ветра.

Зависимость скорости распространения пламени по нормали к контуру нефтяного пожара при $\theta = 0$ от скорости ветра представлена на рис. 15. Из рисунка видно, что с увеличением скорости ветра скорость распространения пламени по нормали к контуру пожара увеличивается. При скорости ветра, равной 1,2 м/с, величина $\omega_п = 0{,}056$ м/с.

Линейная скорость послойного сгорания нефти ω_z, м/с, рассчитывается по формуле:

$$\omega_z = \omega_{z0} + \left(\omega_{z\infty} - \omega_{z0}\right)\left[1 - \exp\left(-\beta_z v_в\right)\right], \qquad (14)$$

где $\omega_{z0} = 0{,}0000475$ м/с и $\omega_{z\infty} = 0{,}0001762$ м/с — линейные скорости послойного сгорания нефти при нулевой и предельно большой скорости ветра; $\beta_z = 0{,}1$ — эмпирическая постоянная.

Как видно из формулы (14), зависимость линейной скорости послойного сгорания нефти от

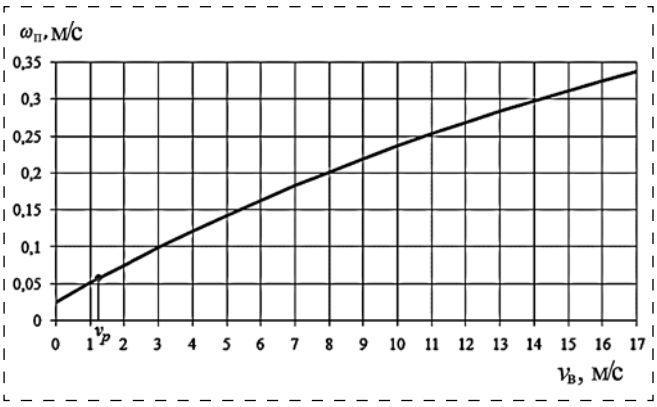


Рис. 15. Зависимость скорости распространения пламени по нормали к контуру пожара от скорости ветра

скорости ветра аналогична зависимости, представленной на рис. 15.

Результаты расчета $\omega_п$ и ω_z показывают, что скорость распространения нефтяного пожара $\omega_п$ по площади разлива значительно превышает скорость послойного сгорания ω_z нефти.

1. Время распространения пламени по поверхности разлитой нефти

Значение времени t_1, с, при котором пламя охватывает всю площадь разлитой нефти (420 000 м^2), определяется по формуле:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2F}{\pi\left(\omega_A + \omega_B\right)\omega_C}}, \qquad (15)$$

где F — площадь разлива нефти, м^2.

При значениях скорости ветра 1,2 м/с и площади разлива 0,42 км^2 значение времени

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 420\,000}{\pi\left(1{,}222 + 0{,}437\right) \cdot 0{,}576}} = 530 \text{ с или } \approx 8{,}8 \text{ мин.}$$

Таким образом, время распространения пламени по всей площади разлива нефти на водной поверхности равно 8,8 мин.

2. Время догорания нефтяной пленки на поверхности воды

При времени $t_г > t_1$ распространение фронта нефтяного пожара прекращается и начинается догорание нефтяной пленки со скоростью послойного сгорания ω_z.

Масса несгоревшего горючего, кг,

$$M^* = \rho_н h^* F, \qquad (16)$$

где h^* — толщина слоя нефти, мм.

Примем, что на момент возгорания разлива нефти (30 мин после разлива нефти) разливается 940 м^3 нефти на площади $F^* = 0{,}420$ км^2, при этом толщина слоя нефти составляет 2,2 мм. Тогда масса несгоревшей нефти в результате разлива при разгерметизации подводного перехода составляет $M^* = 799{,}3$ т.

Массу нефти, сгоревшей к моменту времени t_1, находят по формуле:

$$M_г(t_1) = \frac{1}{3}\rho_н \omega_z t_1 F. \qquad (17)$$

При времени $t_1 = 530$ с (8,8 мин) масса сгоревшей нефти $M_г = 355{,}6$ т.

Время, в течение которого длится второй период горения, определяется по формуле:

$$t_2 = \frac{M_0 - M_г(t_1) - M^*}{\rho_н \omega_z F^*}, \qquad (18)$$

где M_0 — масса нефти, разлитой на поверхности в результате разгерметизации подводного перехода МН, т; $M_0 = 1961$ т; $\rho_н = 0{,}865$ кг/м^3.

Тогда время, в течение которого происходит догорание нефтяной пленки, будет равно:

$$t_2 = \frac{1961 - 355{,}6 - 799{,}3}{0{,}865 \cdot 5{,}54 \cdot 10^{-6} \cdot 420\ 000} = 400 \text{ с или } 6{,}7 \text{ мин.}$$

Полное время горения определяется по формуле:

$$t^* = t_1 + t_2, \qquad (19)$$

Таким образом, при ЧС, вызванной возгоранием разлива нефти при разгерметизации подводного перехода, время горения нефти, разлитой по поверхности воды, составит 15,5 мин.

Оценка индивидуального и социального риска при возгорании разлива нефти в результате разгерметизации подводного перехода магистрального нефтепровода

Наиболее приемлемым критерием оценки степени опасности для жизни людей может служить индивидуальный риск, определяемый как вероятность смертельного исхода (термического поражения) за год в процессе ЧС на объектах нефтепроводной системы или в зоне ее влияния. Этот показатель включает сочетание частоты ЧС и их последствий.

Вероятность присутствия персонала в месте и в момент возникновения аварии оценивается по формуле:

$$P_п = \frac{\lambda K_о n_{чис} t_п}{365 \cdot 24}, \qquad (20)$$

где λ — частота возникновения аварий, равная 0,265 ав/км/год [5]; $K_о$ — число осмотров трассы нефтепровода персоналом аварийно-восстановительной бригады (АВБ) в год; $t_п$ — время пребывания АВБ на каждом километре, ч; $n_{чис}$ — число членов АВБ, участвующих в осмотре, 2 человека.

Осмотр трассы нефтепровода персоналом АВБ проводится 2 раза в месяц, т. е. 24 раза в год. Тогда вероятность присутствия персонала в месте и в момент возникновения аварии будет:

$$P_п = \frac{0{,}265 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 0{,}25}{365 \cdot 24} = 3{,}6 \cdot 10^{-4}.$$

Термическое поражение персонала может произойти при грубых нарушениях техники безопасности и пожаробезопасности.

Алгоритм оценки индивидуального и социального риска при ЧС, вызванной возгоранием разлива нефти в результате разгерметизации подводного перехода МН, представлен на рис. 16.

При оценке пожарного риска расчеты производились при условии гильотинного разрыва подводного трубопровода, так как, несмотря на наименьшую частоту возникновения этого типа

Рис. 16. Алгоритм оценки индивидуального и социального риска при ЧС, вызванной возгоранием разлива нефти в результате разгерметизации подводного перехода МН

разгерметизации, уровни воздействия поражающих факторов вследствие наибольшего объема разлива нефти будут максимальны и внесут основной вклад в величину пожарного риска.

Таким образом, при прогнозировании чрезвычайной ситуации разработана модель распространения нефтяного пятна по водной поверхности водотока, которая учитывает скорость ветра и скорость течения реки. Также проведен расчет параметров ЧС при пожароопасном развитии событий.

Список литературы

1. **Сооружение** подводных переходов магистральных трубопроводов: Курс лекций / В. А. Иванов, С. В. Кузьмин и др. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. — 217 с.
2. **Оценка** влияния скорости ветра на распространение пожара при горении нефти на водной поверхности / А. Н. Елизарьев, Р. Г. Ахтямов, Э. С. Хаертдинова, Г. Г. Сафуганова // Нефтегазовое дело. — 2012. — Т. 10. — № 1. — С. 90—93.
3. **Повзик Я. С.** Пожарная тактика. — М.: ЗАО "Спецтехника", 2004. — 416 с.
4. **ГОСТ Р 12.3.047—2012** ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
5. **Методика** определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Утв. приказом МЧС России № 404 от 10.07.2009 г.
6. **Методика** расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов: Утв. приказом Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 05.03.1997 № 90. — М., 1997. — 40 с.

T. S. Titova, Head of Chair, Pro-rector, **R. G. Ahtyamov,** Associate Professor, e-mail: ahtamov_zchs@mail.ru, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Assessment of the Geo-Ecological and Fire Situation During Oil Spills on the Water Surface

The paper gives an assessment of the geoecological situation in the case of oil spills on the water surface. Modeling of the process of oil burning on the water surface was carried out, and a model for estimating the time of burning of oil in case of depressurization of the underwater transition of the oil pipeline was proposed. The estimation of individual and social risk in case of fire of oil spill as a result of depressurization of underwater passage of the main oil pipeline is given.

Keywords: *geoecology, fire safety, oil pipeline, spill, water surface, fire, risk*

References

1. **Sooruzhenie** podvodnyh perekhodov magistral'nyh truboprovodov: Kurs lekcij. V. A. Ivanov, S. V. Kuz'min i dr. Tyumen': TyumGNGU, 2003. 217 p.
2. **Ocenka** vliyaniya skorosti vetra na rasprostranenie pozhara pri gorenii nefti na vodnoj poverhnosti. A. N. Elizar'ev, R. G. Ahtyamov, Eh. S. Haertdinova, G. G. Safuganova. *Neftegazovoe delo.* 2012. Vol. 10. No. 1. P. 90—93.
3. **Povzik Ya. S.** Pozharnaya taktika. Moscow: ZAO "Spectekhnika", 2004. 416 p.
4. **GOST R 12.3.047—2012** SSBT. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskih processov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya.
5. **Metodika** opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: Utv. prikazom MCHS Rossii No. 404 ot 10.07.2009 g.
6. **Metodika** rascheta vybrosov ot istochnikov goreniya pri razlive nefti i nefteproduktov: Utv. prikazom Gosudarstvennogo komiteta Rossijskoj Federacii po ohrane okruzhayushchej sredy ot 05.03.1997 No. 90.

УДК 691.32

Н. А. Бабак, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры, e-mail: babak.ru@inbox.ru,
Л. Л. Масленникова, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры,
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Геоэкологический резерв промышленных минеральных отходов

Представлены некоторые разработанные технологии утилизации промышленных минеральных отходов. Показан геоэкологический резерв их использования.

Ключевые слова: *промышленные отходы, геоэкологический резерв, утилизация отходов, окружающая среда*

Введение

Одна из основных экологических проблем современного общества — утилизация промышленных отходов. Техногенные отходы, складируемые под открытым небом, представляют собой хронический источник загрязнения окружающей среды различными видами соединений, которые отрицательно влияют на биоэкологическую структуру экосистем.

На протяжении тысячелетий человеческая деятельность была направлена на изъятие природных ресурсов для обеспечения возрастающих материальных потребностей. Во второй половине XX века возникло понимание того, что природные ресурсы не бесконечны, а загрязнение окружающей среды из-за непрерывно расширяющейся производственной деятельности превышает допустимые нормы.

Запасы любого элемента с позиции истории человечества остаются неизменными, они претерпевают качественные изменения как в силу геологических процессов, так и в результате деятельности человека. Месторождения с высоким содержанием полезного ископаемого в доступных глубинах земной коры истощаются и будут встречаться все реже.

Кроме того, промышленности требуются редкие и рассеянные элементы, например алюминий, магний, литий и др., что приводит к необходимости перерабатывать большое количество полиминеральных горных пород. Объем извлекаемой из недр горной массы в нашей стране составляет свыше 15 млрд т/год. В хозяйственный оборот вовлекается около трети всего минерального сырья, а на производство готовой продукции расходуется менее 7 % добытых полезных ископаемых. Около 70 % затрат в промышленности стран СНГ приходится на сырье, материалы, топливо и энергию. И в то же время от 10 до 99 % исходного сырья превращается в отходы, выбрасываемые в атмосферу и водоемы, загрязняющие землю [1].

Для складирования отходов отчуждаются огромные площади земельных угодий. Отвалами промышленных предприятий заняты сотни тысяч гектаров земель, пригодных для сельскохозяйственного использования. Транспортирование и складирование отходов отвлекают значительные средства от основного производства.

В настоящее время на предприятиях горнодобывающей, металлургической, химической, деревообрабатывающей, энергетической, строительных материалов и других отраслей промышленности Российской Федерации ежегодно образуется около 7 млрд т отходов. Используется лишь около 2 млрд т, или 28 % общего объема. В отвалах и шламохранилищах страны накоплено около 80 млрд т только твердых отходов. Под полигоны для их хранения ежегодно отчуждается около 10 тыс. га пригодных для сельского хозяйства земель [1]. Очевидно, что нельзя без конца наращивать и без того колоссальные потоки отходов и попутных продуктов.

Проблемы разработки малоотходных и безотходных технологий

По аналогии с природными экологическими системами безотходные технологии базируются на техногенном круговороте веществ и энергии. Безотходные технологии должны осуществляться по оптимальным технологическим схемам с замкнутыми

(рециркуляционными) материальными и энергетическими потоками, не иметь сточных вод, газовых выбросов в атмосферу и твердых отходов (безотвальные производства). Термин "безотходные технологии" носит условный характер, так как в реальных условиях из-за несовершенства современных технологий невозможно полностью исключить все отходы и воздействие производства на окружающую среду. При безотходных технологиях наиболее рационально используются природные и вторичные сырьевые ресурсы и энергия с минимальным ущербом для окружающей среды.

Согласно представлениям Д. И. Менделеева (1885 г.), мерой совершенства производства является количество отходов. С развитием науки и техники каждое производство должно все более приближаться к безотходному. На данном этапе к безотходным технологиям относятся, по существу, малоотходные производства, в которых только небольшая часть сырья превращается в отходы. Последние подвергают захоронению, обезвреживанию или направляют на длительное хранение с целью их утилизации в перспективе.

Эффективное решение проблемы промышленных отходов — это внедрение безотходной технологии. При комплексном использовании сырьевых материалов промышленные отходы или побочные продукты одних производств являются исходными материалами других. Подобное использование сырья логически обусловлено потребностями развития народного хозяйства на современном этапе. Важность комплексного использования сырьевых материалов можно рассматривать в нескольких аспектах.

Во-первых, утилизация отходов позволяет решать задачи по охране окружающей среды, освобождать ценные земельные угодья, отчуждаемые под отвалы и шламохранилища, устранять вредные выбросы в окружающую среду.

Во-вторых, отходы промышленности в значительной степени покрывают потребность ряда перерабатывающих отраслей в сырье, причем во многих случаях высококачественном, подвергнутом в процессе производства первичной технологической обработке (измельчению, обжигу и т. д.).

В-третьих, при комплексном использовании сырья снижаются удельные капитальные затраты на единицу продукции и уменьшается срок их окупаемости; снижаются также непроизводительные расходы основного производства, связанные со складированием отходов, строительством и эксплуатацией хранилищ для них; уменьшаются затраты, расход теплоты и электроэнергии на новую продукцию за счет технологической подготовленности отходов; увеличивается производительность оборудования.

Из отраслей — потребителей промышленных отходов, являющихся побочными продуктами различных производств, наиболее емкой является производство строительных материалов. Учитывая, что затраты на материальные ресурсы в сметной стоимости производства большинства строительных материалов составляют более 55 %, можно утверждать, что применение промышленных минеральных отходов — это один из путей повышения эффективности производства строительных материалов и улучшения качества окружающей среды.

Строительство и окружающая природная среда

Строительное производство потребляет большое количество камня, щебня, песка, глины, извести и других ископаемых сырьевых ресурсов, извлекаемых из недр открытым способом (из 7,2 тыс. карьеров в нашей стране 90 % приходится на строительные карьеры). Предприятия промышленности строительных материалов добывают свыше 20 видов полезных ископаемых, занимая ежегодно 15 тыс. га земли. При открытой добыче разрушаются и уничтожаются почвенный и растительный покровы, изменяется водный режим, загрязняются воздух, вода и почва (особенно при буровзрывных работах); уходят с территории животные и птицы, исключаются из сельскохозяйственного производства большие площади земли, используемые непосредственно под карьеры, подъездные пути к ним и под отвалы вскрышной породы.

Обычно строительству сопутствует большой объем строительных отходов, часть которых вывозят на расположенные вокруг населенных пунктов свалки и сжигают, часть сжигают непосредственно на стройке или закапывают в грунт. Атмосферные осадки растворяют часть отходов, в результате загрязняется почва (не только в местах свалок, но и на прилегающих территориях) продуктами выщелачивания.

Вместе со строительным мусором ежегодно в строительстве уходят в отходы свыше 1 млн т металла, 1/3 используемого стекла, до 15 % цемента и огромное количество каменных материалов. До 17 % кирпича превращается в бой и идет в отходы, причем 40 % оставшегося кирпича тоже имеют те или иные повреждения. Кроме экономических потерь, вывоз этих материалов ведет и к экологическим потерям. Талые и ливневые воды с территории строек, где, как правило, уничтожен растительный покров, смывают рыхлые грунты и отходы в реки и водоемы, загрязняя их.

Вода широко используется в строительных процессах: в качестве компонента для растворов,

бетонов, красок; как теплоноситель в тепловых сетях; при разработке грунтов гидромониторами и земснарядами и т. д. Во многих случаях после использования вода сбрасывается и загрязняет грунтовые воды и почвы.

Существует много рекомендаций по снижению воздействия на окружающую природную среду различных неблагоприятных факторов, связанных с добычей ископаемых, их переработкой, производством тех или иных материалов, их транспортировкой и монтажом. Значительно сложней обстоит дело с воздействием на природу отходов производства и объектов строительства — зданий, сооружений и их комплексов.

Утилизация отходов металлургического производства

В процессе металлургического производства рудные минералы, а затем и металлы последовательно отделяются от химически с ними связанными пустой породой и вредными примесями.

В отвалах металлургических предприятий накоплено огромное количество твердых технологических отходов, в особенности пылей, шламов, шлаков, являющихся потенциальным сырьем для получения цветных и редких металлов, строительных материалов, другой продукции производственно-технического назначения. Так, при выплавке 1 т металла образуется 270 кг доменных, 121 кг конвертерных и 145 кг электросталеплавильных шлаков, а также 13...18 кг пылей. Только на территории СНГ накоплено свыше 200 млн т отходов, в том числе пригодных для использования в металлургических переделах — 26 млн т. [2]. Металлургические шлаки являются наиболее массовым отходом, выход которого сопоставим с выплавкой металлов.

В настоящее время утилизируется около 80 % железосодержащих отходов крупных предприятий черной металлургии. Практически полностью в агломерационном производстве используют колошниковую пыль, отсевы агломерата и окатышей, осваиваются технологии производства сталеплавильного агломерата из конвертерных шламов. Степень переработки высокодисперсных отходов доменного и сталеплавильного переделов составляет 53 %, и полное их вовлечение является одной из проблем ресурсосбережения. Утилизация этих материалов ведется в двух основных направлениях: в цементной промышленности и при производстве безобжиговых окатышей.

При малых объемах утилизируемых шламов, содержащих цветные металлы, эффективной представляется их попутная переработка в крупнотоннажных процессах цветной металлургии, при производстве цемента и строительных материалов происходит процесс остекловывания, что позволяет переводить тяжелые металлы в экологически безопасные продукты. Известковую пыль от обжига известняка передают цементной промышленности и для известкования кислых почв в сельском хозяйстве. Бой огнеупоров, образующихся при ремонте печей, пригоден в качестве сырья для получения заполнителей бетона.

Высокоосновные шлаки доменных и сталеплавильных производств находят применение в качестве удобрений в сельском хозяйстве, а высокоосновные конвертерные шлаки используют как железофлюс при доменной плавке, как десульфуратор при внепечной обработке стали. Ферросплавные шлаки пригодны как красители в стекольной промышленности, в качестве шлакообразующих при выплавке стали, для ее раскисления и легирования, получения синтетических шлаков. В цветной металлургии складировано более 300 млн т шлаков, утилизируется лишь 34 % образующихся шлаков.

Помимо твердых отходов, в металлургии используют отходящие технологические газы и их тепло. В частности, обжиговые и конвертерные газы медеплавильных заводов, содержащие сернистый ангидрид, перерабатываются в серную кислоту и элементарную серу.

Вместе с газами уносится значительное количество тепла, которое во многих случаях можно использовать в качестве вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). Их суммарный выход в черной металлургии России оценивается в 30 млн т условного топлива (пригодны для использования 21 млн т), утилизируется всего 4,2 млн т, т. е. менее 15 %.

Фундаментальные научные основы геоэкологического резерва

Под геоэкологическим резервом подразумеваются все показатели, связанные с предотвращением загрязнения окружающей среды, т. е. процессы, методы, материалы или продукция, которые позволяют избегать загрязнения, уменьшать его или бороться с ним и которые могут включать рециклинг, очистку, изменения процесса, эффективное использование ресурсов и замену материалов. Оценка геоэкологического резерва производилась на основе фундаментальных научных представлений о строении вещества.

Основными научными положениями являются следующие: промышленный минеральный отход (ПМО) может быть использован в обжиговых технологиях, если выполняются следующие условия: отход в результате образования прошел

высокотемпературную обработку или не содержит соединений, загрязняющих окружающую среду в процессе обжига; минеральный отход способен образовывать контакт с алюмосиликатной матрицей по границе фаз либо участвовать в образовании более сложных экологически устойчивых фаз.

Рассматривая керамику как композиционный материал, можно сказать, что процесс формирования керамического материала происходит на уровне образования контакта по границе фаз отход — глиносодержащая матрица в процессе обжига до температуры 1000 °С, характерной для получения строительной керамики в Северо-Западном регионе.

Образование контакта предлагается рассматривать с позиций донорно-акцепторного взаимодействия основной фазы минерального отхода и глиносодержащей матрицы, причем особенность такого взаимодействия будет зависеть от электронного строения элемента основной фазы отхода и его положения в таблице Д. И. Менделеева с учетом радиального распределения электронной плотности орбиталей, на которых находятся валентные электроны.

Следовательно, прочность донорно-акцепторного взаимодействия между глиняной матрицей, представленной неподеленной парой электронов кислорода и вакантной орбиталью катиона отхода, будет расти в ряду *s-, p-, d*-валентных электронов катиона основной фазы [1—11]. В этом же ряду будут снижаться затраты энергии на образование связи и, как следствие, количество энергии, необходимой для реализации процесса, что приведет к уменьшению выбросов парниковых газов в атмосферу.

Основываясь на научной гипотезе, можно предположить, что использование промышленных минеральных отходов имеет огромный потенциал с точки зрения как получения качественной продукции, так и улучшения экологической ситуации в стране и мире.

Геоэкологический резерв технологии получения лицевого кирпича

Для расширения цветовой гаммы лицевого кирпича используют как объемное окрашивание с вводом различных оксидов в шихту, так и ангобирование или двухслойное прессование. Для объемного окрашивания был использован осадок, образующийся при мойке железнодорожного транспорта, содержащий в основном оксиды железа. Этот отход использовался в качестве упрочняющей и окрашивающей добавки в керамический кирпич.

Для решения задачи оптимизации состава керамической шихты с использованием стабилизированного осадка был проведен регрессионный анализ: найден оптимальный состав, при котором достигаются наилучшие технические характеристики керамического материала и утилизируется максимальное количество отходов. Окончательное уравнение регрессии имеет вид:

$$g = -1235,45x_1 - 3001,61x_3 + 11,77x_1x_3 + 90\ 193,52,$$

где x_1 — содержание песка; x_3 — содержание добавки осадка.

В результате оптимизации состава керамической шихты содержание добавки составило 8 %, при этом значение прочности при изгибе увеличилось [1, 8]. Это позволяет сэкономить 6 % глины и 2 % песка. На 10 млн шт. кирпича (годовой выпуск небольшого завода) весом 30 000 т это составит 1800 т глины и 600 т песка. При обжиге 1 т глины в атмосферу попадает 2,6 кг сернистого газа. Соответственно, изъятие из обжига 1800 т глины позволит уменьшить выброс этого газа, приводящего к образованию кислотных осадков, на 4,68 т.

Геоэкологический резерв технологий получения офактуренного кирпича

Для придания стойкости к внешним воздействиям, водонепроницаемости и определенного декоративного вида поверхность некоторых керамических изделий покрывают глазурью или ангобом с толщиной покрытия до 0,3 мм. Также используют двухслойное прессование, где толщина второго слоя составляет 2...3 мм. Однако при эксплуатации такого кирпича часто наблюдается отслаивание второго слоя или ангоба. Согласно научной гипотезе ввод *3d*-катионов в фактурный слой должен упрочнить граничный контакт.

Рассмотрим вопрос подбора покрытия для керамических масс с учетом согласования их коэффициентов термического расширения. Керамическое покрытие — это слой материала, нанесенный на поверхность матрицы и прочно связанный с ней. Покрытия должны обладать плотностью и сплошностью, предотвращая проникновение агрессивных сред к поверхности защищаемого материала основы, равномерностью по толщине и высокой чистотой поверхности; прочной связью (адгезией) с поверхностью защищаемого материала; механической, термической и химической совместимостью с материалом основы; технологичностью и безвредностью процесса их нанесения.

Качество покрытия оценивают по прочности сцепления, механической прочности, химической устойчивости и т. п. В процессе формирования покрытий различными методами в нанесенном покрытии возникают остаточные напряжения сжатия или растяжения, которые могут привести к растрескиванию, отслоению покрытия от материала основы.

Когда термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР) наносимого материала равен или больше ТКЛР материала основы, в нанесенном покрытии возникают остаточные напряжения растяжения. В противном случае в покрытии возникают напряжения сжатия.

Прочность покрытия и его сцепление с основой зависят от многих факторов, например от толщины покрытия, с увеличением которой накапливаются остаточные напряжения и вследствие этого снижается прочность. Поэтому с уменьшением толщины покрытия прочность повышается.

Как известно, влияние на поведение покрытия оказывает промежуточный слой, образующийся на границе покрытие — керамика в результате некоторого взаимодействия их составляющих и процессов диффузии и растворения. Этот слой создает естественный переход от покрытия к керамике и содействует выравниванию напряжений, предотвращая образование дефектов.

Основное внимание при разработке составов покрытий следует уделять обеспечению технологической и эксплуатационной "совместимости" их с керамическим черепком. Составы основного слоя и покрытия необходимо подбирать таким образом, чтобы максимально сблизить их усадки и коэффициенты термического расширения (допускается разница в коэффициентах не более 10 %) [7].

Выпускают ангобированный и глазурованный кирпич.

Ангобированный кирпич. Ангоб изготовляют из белой или цветной глины и наносят тонким слоем на поверхность сырцового изделия. В отличие от глазури ангоб не дает при обжиге расплава, т. е. не образует стекловидного слоя, и поэтому цветная поверхность получается матовой. По свойствам ангоб должен быть близок к основному черепку.

К числу эффективных плавней, которые способствуют появлению в керамической массе жидкой фазы при более низких температурах, можно отнести мартеновскую пыль металлургического завода "Петросталь". Для более точного согласования термических коэффициентов расширения покрытия и керамического черепка были использованы два метода определения термического коэффициента линейного расширения: расчетный и экспериментальный.

Расчет ТКЛР выполнен по методу Винкельмана и Шотта, основанному на аддитивной зависимости термического коэффициента линейного расширения покрытия и черепка от их химического состава, мас. %

$$\alpha = \Sigma P_i x_i,$$

где P_i — содержание оксидов в покрытии и керамической массе, масс. %; x_i — эмпирические числовые факторы, характеризующие расширение оксидов.

Основное тело кирпича состоит из кембрийской глины и песка. Кембрийская глина — легкоплавкая, полукислая, низкодисперсная, с низким содержанием крупнозернистых включений, насыпная плотность 1450 кг/м^3, интервал спекания 50...100 °С. Латненская глина относится к огнеупорным глинам, отличается повышенным содержанием плавней и высокой степенью измельчения частиц, часть которых имеет коллоидальный характер. Данные химического анализа глин представлены в табл. 1.

Пересчитаем состав кембрийской глины на прокаленную массу, т. е. учтем процент после прокаливания п.п.п. = 4,26 % (см. табл. 1).

SiO_2 62,83 : 0,9574 = 65,62;
MgO 2,73 : 0,9574 = 2,85;

Al_2O_3 15,29 : 0,9574 = 15,97;
K_2O 4,5 : 0,9574 = 4,70;

Fe_2O_3 6,64 : 0,9574 = 6,93;
SO_3 0,54 : 0,9574 = 0,56;

CaO 1,24 : 0,9574 = 1,29;
TiO_2 2,0 : 0,9574 = 2,09.

Эмпирические числовые факторы, характеризующие расширение оксидов по Винкельману и Шотту, следующие:

SiO_2 – $0{,}027 \cdot 10^{-6}$;
MgO – $0{,}003 \cdot 10^{-6}$;
Al_2O_3 – $0{,}167 \cdot 10^{-6}$;
K_2O – $0{,}283 \cdot 10^{-6}$;
Fe_2O_3 – $0{,}039 \cdot 10^{-6}$;
CaO – $0{,}167 \cdot 10^{-6}$.

Основное тело кирпича состоит из 80 % кембрийской глины и 20 % песка. Прежде чем приступить к расчету термического коэффициента линейного расширения основного слоя, нужно определить его химический состав по методу Аппена. Для этого необходимо определить химический состав исходных компонентов, так как

Таблица 1

Химический состав кембрийской и латненской глин, мас. %

Глина	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	TiO_2	SO_3	п.п.п.
Кембрийская	62,83	15,29	6,64	1,24	2,73	4,5	2	0,54	4,26
Латненская	47,4	36,7	0,9	0,4	0,04	0,04	—	—	11,5

Таблица 2

Химический состав основного тела кирпича, мас. %

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	TiO_2
72,5	12,776	5,544	1,032	2,28	3,76	1,672

ТКЛР является линейной функцией процентного содержания отдельных компонентов, входящих в состав керамики. Содержание оксидов, входящих в состав основного тела кирпича, приведено в табл. 2.

ТКЛР керамического черепка составит

$$7{,}22\cdot10^{-6} = 72{,}5\cdot0{,}027\cdot10^{-6} + 12{,}776\cdot0{,}167\cdot10^{-6} + 5{,}544\cdot0{,}039\cdot10^{-6} + 1{,}032\cdot0{,}167\cdot10^{-6} + 2{,}28\cdot0{,}003\cdot10^{-6} + 3{,}76\cdot0{,}283\cdot10^{-6} + 1{,}672.$$

За счет ввода определенного процента доменной пыли можно регулировать цвет обожженного черепка. Выяснено, что цвет ангоба зависит от количества доменной пыли и температуры обжига. Для получения темно-коричневого цвета был определен состав ангоба, мас. %: кембрийская глина — 70 %, мартеновская пыль — 30 %, NaCl — 0,5 % сверх 100 %. Для стабилизации шликера применялась поваренная соль.

Железосодержащая пыль мартеновского производства имеет химический состав, приведенный в табл. 3.

ТКЛР ангоба составляет $7{,}975\cdot10^{-6}$.

Разница термических коэффициентов линейного расширения ангоба и керамического черепка составляет 9,5 %.

На ЗАО "Петрокерамика" была выпущена опытно-промышленная партия лицевого кирпича с нанесенным ангобом темно-коричневого цвета с использованием мартеновской пыли. Физико-механические характеристики ангобированных поверхностей соответствуют требованиям ГОСТ 530—2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.

На 1000 шт. кирпичей в среднем расходуется 8,5 кг ангоба. Следовательно, на 10 млн шт. кирпичей необходимо 85 т ангоба, который содержит до 30 % мартеновской пыли, т. е. 25,5 т. Это позволяет сэкономить природные минеральные ресурсы и снизить затраты на захоронение отходов.

Глазурованный кирпич. Глазурный шликер получают путем помола фритты и пигмента с добавлением воды. Для придания шликеру устойчивости к расслаиванию его подкисляют. Самым дорогостоящим компонентом глазури является пигмент. Следовательно, замена части пигмента на отход, содержащий катионы хромофоры, т. е. *3d*-катионы, будет рациональна. Перспективным отходом в этом случае может быть кислый отход гальванического производства. К тому же, согласно научной гипотезе, ввод 1*s*-катиона (водорода) увеличит прочность контакта глазурь — основное тело кирпича.

Совместное присутствие в отходе водного раствора HCl с ионами Cr^{+3}, Fe^{+3}, Cu^{+2}, глины и фритты оказывает коагулирующее действие на глазурный шликер и каталитическое действие на реакционную способность компонентов, что способствует снижению температуры созревания глазурного покрытия. Оптимальное содержание кислых стоков в глазурном шликере составило 5...10 %. Состав глазури запатентован [12]. Физико-механические испытания показали, что глазурное покрытие с содержанием в качестве пигмента железосодержащего продукта имеет темно-коричневый цвет, обладает повышенной термостойкостью, ударостойкостью и имеет температуру созревания на 40° ниже [13].

Замена дорогостоящих компонентов при производстве глазури на отходы позволяет экономить не только сырье, но и до 50 % воды.

Удельный расход глазури на 1 $м^2$ продукции — 1,1 кг. Следовательно, при размере кирпича 250×65 см на 10 млн шт. кирпичей необходимо 177,4 т глазури, которая содержит в среднем 7,5 % кислых стоков гальванического производства. Содержание кислых стоков составит 13,3 т. Таким образом, утилизируется отход 2-го класса опасности, который содержит тяжелые металлы, способные к миграции в окружающей среде. В результате обжига эта способность теряется, т.е. уменьшается опасная нагрузка на окружающую среду.

Таблица 3

Химический состав мартеновской пыли

Содержание, мас. %											
SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_3O_4	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	п.п.п
1,4	0,10	0,28	62,5	3,00	1,8	0,89	0,82	8,9	5,0	0,51	12,5
В пересчете на прокаленную массу, мас. %											
1,6	0,11	0,32	71,4	3,43	2,06	1,02	0,94	10,17	5,71	—	—

Таблица 4

Вымываемость ионов тяжелых металлов из образцов через 30 дней

Исследуемый материал	Определяемый компонент	Водная вытяжка, мг/л	Вытяжка ацетатно-аммонийного буфера, мг/л	$ПДК_{пв}$, мг/л
Кирпич (отощитель купершлак)	Железо Медь	0,15 <0,01	0,25 0,01	0,30 1,00
Ангобированный кирпич	Железо Марганец	<0,10 <0,01	0,10 <0,01	0,30 0,10
Глазурованный кирпич	Железо Хром	<0,10 <0,02	<0,10 <0,02	0,30 0,05

Известно, что на 1000 шт. условного кирпича расходуется 150 кг условного топлива, значит, на 10 млн шт. кирпичей необходимо 1500 т топлива. Применение кислых стоков позволяет снизить температуру обжига при производстве кирпича на 50 ^{0}С и сэкономить 15 % топлива. Экономия топлива составит 225 т. В результате этого снизится и количество выбросов углекислого (парникового) газа в атмосферу на 618 т.

Прочность связывания тяжелых металлов в различных строительных материалах была оценена по вымываемости их из образцов. Анализ был произведен атомно-абсорбционным методом согласно МУ 2.1.674—97 "Методические указания санитарно-гигиеническая оценка стройматериалов с добавлением промотходов". Данные анализа представлены в табл. 4. Как видно из таблицы, миграция ионов тяжелых металлов не происходит.

Заключение

В связи с современным динамическим изменением экологической ситуации в стране, ростом глобальных проблем, увеличением техногенных катастроф, наряду с уже имеющейся концепцией улучшения качества окружающей среды, необходим системный анализ сложных процессов. Выявление геоэкологического резерва промышленных минеральных отходов позволит существенно расширить возможности их практического применения, улучшить качество окружающей среды и оценить экологическую и экономическую эффективность природоохранных технологий.

Список литературы

1. **Бабак Н. А.** Минимизация негативного воздействия на окружающую среду строительной деятельности и ЖКХ системой превентивных методов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. — СПб., 2011. — 298 с.
2. **Масленникова Л. Л.** Разработка и внедрение керамических материалов с прогнозируемыми свойствами и учетом особенностей природы водимого техногенного сырья. Диссертация на соискание учен. степени доктора тех. наук. — СПб., 2000. — 311 с.
3. **Термодинамический** и электронный аспекты свойств композиционных материалов для строительства и экозащиты / Под ред. Л. Б. Сватовской. — СПб.: Издательство Стройиздат СПб., 2004. — 176 с.
4. **Масленникова Л. Л.** Взаимосвязь особенностей электронного строения катионов техногенных фаз и эксплуатационных характеристик керамических материалов на их основе // Современные естественнонаучные основы в материаловедении и экологии: Сб. науч. трудов. — СПб., 2000. — С. 15—24.
5. **Бабак Н. А.** Улучшение свойств керамических строительных материалов введением техногенного сырья определенной природы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2001. — 22 с.
6. **Масленникова Л. Л., Бабак Н. А., Славина А. М.** Геоэкологические решения по созданию эффективной строительной керамики на базе техногенного силикатного сырья // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2010. — Вып. 2 (23). — С. 220—230.
7. **Бабак Н. А.** Подбор фактурного слоя на основе отходов металлургической промышленности для керамического кирпича // Новые исследования в материаловедении и экологии: Сб. науч. статей. — СПб., 2010. — Вып. 10. — С. 60—65.
8. **Современные подходы** к эко- и геоэкологической оценке состояния окружающей среды (с учетом воздействия на нее строительной деятельности и ЖКХ) / Л. Б. Сватовская, Л. Л. Масленникова, Н. А. Бабак, В. А. Чернаков и др. — СПб.: Изд-во ПГУПС, 2012. — 76 с.
9. **Babak N. A.** Transport construction negative impact on the environment // Proceeding Engineering. — 2017. — No. 189. P. 867—873. URL: https://doi.org/10.10.16/j.-proeng.2017.05.135 (дата обращения 15.06.2018).
10. **Новые методы** геоэкозащиты природно-техногенных систем строительной деятельности в интересах устойчивого развития / Л. Б. Сватовская, М. М. Байдарашвили, М. В. Шершнева и др. — СПб.: Изд.-во ПГУПС, 2014. — 73 с.
11. **Титова Т. С., Потапов А. И.** Пути решения экологических проблем железнодорожного транспорта: Научное, методическое, справочное пособие. — СПб., 2010. — 832 с.
12. **Патент № 2191763** Российская Федерация МПК С04В 41/86 Глазурный шликер / Д. Л. Зубер, Л. Б. Сватовская, Л. Л. Масленникова, Н. А. Бабак, Н. П. Чибисов, Ю. И. Жеско, И. В. Семеникова, патентозаявитель и патентообладатель АОО "Научно-производственная фирма по внедрению научных и инженерно-технических инноваций", ПГУПС. № 2001126212/03; заявл. 18.10.2000; опубл. 27.10.2002, Бюл. № 30. — 4 с.
13. **Масленникова Л. Л., Бабак Н. А.** Утилизация гальванических осадков при получении обжиговых материалов улучшенного качества // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. — 2008. — Т. 2. —№ 3. — С. 62—65.

N. A. Babak, Professor of Chair, e-mail: babak.ru@inbox.ru,
L. L. Maslennikova, Professor of Chair, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Geoecological Rezerve of Industrial Mineral Wastes

For the decreasing of negative impact on the environment the main attention was paid to use mineral technogenic raw materials in the manufacturing of clay bricks. The choice of technogenic raw materials instead of mineral raw can affect various structural material properties. We propose to consider the industrial waste in terms of their geoecological reserve. We say that an object has a geoecological reserve if it can improve any of the indicators related to the prevention of environmental pollution. This may be processes, methods, materials which decrease the environmental pollution. The geoecological reserve may include recycling, emission of treatment, and efficient use of mineral resources or replacement materials

Keywords: *industrial wastes, geoecological reserve, recycling, environment*

References

1. **Babak N. A.** Minimizaciya negativnogo vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu stroitel'noj deyatel'nosti i ZHKKH sistemoj preventivnyh metodov. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskih nauk. Saint-Petersburg, 2011. 298 p.
2. **Maslennikova L. L.** Razrabotka i vnedrenie keramicheskih materialov s prognoziruemymi svojstvami i uchetom osobennostej prirody vodimogo tekhnogennogo syr'ya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhicheskih nauk. Saint-Petersburg, 2000. 311 p.
3. **Termodinamicheskij** i ehlektronnyj aspekty svojstv kompozicionnyh materialov dlya stroitel'stva i ehkozashchity. Pod redakciej L. B. Svatovskoj. Saint-Petersburg: OAO "Izdatel'stvo Strojizdat SPb.", 2004. 176 p.
4. **Maslennikova L. L.** Vzaimosvyaz' osobennostej ehlektronnogo stroeniya kationov tekhnogennyh faz i ehkspluatacionnyh harakteristik keramicheskih materialov na ih osnove. *Sovremennye estestvennonauchnye osnovy v materialovedenii i ehkologii*: Sbornik nauchnyh trudov. Saint-Petersburg, 2000. P. 15—24.
5. **Babak N. A.** Uluchshenie svojstv keramicheskih stroitel'nyh materialov vvedeniem tekhnogennogo syr'ya opredelennoj prirody: avtoref. dis....kand. tekhn. nauk. Saint-Petersburg, 2001. 22 p.
6. **Maslennikova L. L., Babak N. A., Slavina A. M.** Geoehkologicheskie resheniya po sozdaniyu ehffektivnoj stroitel'noj keramiki na baze tekhnogennogo silikatnogo syr'ya. *Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. Saint-Petersburg: PGUPS, 2010. Vol. 2 (23). P. 220—230.
7. **Babak N. A.** Podbor fakturnogo sloya na osnove othodov metallurgicheskoj promyshlennosti dlya keramicheskogo kirpicha. *Novye issledovaniya v materialovedenii i ehkologii*. Sbornik nauchnyh statej. 2010,Vol. 10. Saint-Petersburg, 2010. P. 60—65.
8. **Sovremennye** podhody k ehko- i geoehkologicheskoj ocenke sostoyaniya okruzhayushchej sredy (s uchetom vozdejstviya na nee stroitel'noj deyatel'nosti i ZHKKH). L. B. Svatovskaya, L. L. Maslennikova, N. A. Babak, V. A. i dr. Saint-Petersburg: Izd-vo PGUPS, 2012. 76 p.
9. **Babak N. A.** Transport construction negative impact on the environment. *Proceeding Engineering*. 2017. No. 189. P. 867—873. URL: https://doi.org/10.10.16/j.-proeng.2017.05.135 (date of access 15.06.2018).
10. **Novye metody** geoehkozashchity prirodno-tekhnogennyh sistem stroitel'noj deyatel'nosti v interesah ustojchivogo razvitiya. L. B. Svatovskaya, M. M. Bajdarashvili, M. V. Shershneva i dr. Saint-Petersburg: Izd-voPGUPS, 2014, 73 p.
11. **Titova T. S., Potapov A. I.** Puti resheniya ehkologicheskih problem zheleznodorozhnogo transporta: Nauchnoe, metodicheskoe, spravochnoe posobie. Saint-Petersburg, 2010. 832 p.
12. **Patent № 2191763** Rossijskaya Federaciya MPK S04V 41/86 Glazurnyj shliker. D. L. Zuber, L. B. Svatovskaya, L. L. Maslennikova, N. A. Babak, N. P. Chibisov, Yu. I. Zhesko, I. V. Semenikova, patentozayavitel' i patentoobladatel' AOO "Nauchno-proizvodstvennaya firma po vnedreniyu nauchnyh i inzhenerno-tekhnicheskih innovacij", PGUPS. — № 2001126212/03; zayavl. 18.10.2000; publ. 27.10.2002, Byul. No. 30. 4 p.
13. **Maslennikova L. L., Babak N. A.** Utilizaciya gal'vanicheskih osadkov pri poluchenii obzhigovyh materialov uluchshennogo kachestva. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo*. 2008. Vol. 2. No. 3. P. 62—65.

Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"
ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Телефон редакции журнала (499) 269-5397, (499) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, http://novtex.ru/bjd
Телефон главного редактора (812) 670-9376(55), e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *З. В. Наумова*
Сдано в набор 02.08.18. Подписано в печать 21.09.18. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ BG1018.
Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.
Оригинал-макет ООО "Адвансед солюшнз".
Отпечатано в ООО "Адвансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**