



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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.
 ЧЕРЕШИНЕВ 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.
 ФРИДЛАНД С. В., д.х.н., проф.
 ШВАРЦБУРГ Л. Э., д.т.н., проф.

8(212)
2018

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ТРУДА

Русаков О. Н. Об основах управления безопасностью деятельности	3
Таваров С. Ш., Сидоров А. И., Кудряшов А. В., Калинина А. С. Мероприятия по защите линейного персонала от воздействия электрических полей с учетом условий Республики Таджикистан	9
Глебова Е. В., Волохина А. Т., Иванова М. В., Коробов А. В. Снижение производственного травматизма на предприятиях топливно-энергетического комплекса путем проведения поведенческого аудита безопасности	13

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Гарипова Р. В., Берхеева З. М. Анализ профессиональной заболеваемости работников литейного завода ПАО "КАМАЗ"	18
Плахова Л. В., Вишневская Н. Л., Черный К. А. Влияние факторов производственной среды на работоспособность операторов	22

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Федосов В. В., Федосова А. В. Алгоритм оптимизации трансграничных загрязнений от выбросов источников в промышленных зонах	29
Саяпов Л. Р., Сивкова Г. А. Определение фракционного состава нефти отдельных месторождений Ханты-Мансийского автономного округа России	36

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Рубцов Д. Н., Егоров А. Н. Обоснование необходимого и достаточного диаметра модельного резервуара типа "стакан в стакане" для выполнения огневых испытаний защитной стенки	41
Клаптюк И. В., Чешко И. Д., Шаранов С. В., Ловчиков В. А. Применение твердофазной экстракции гидрофобными полимерными сорбентами при обнаружении следов нефтепродуктов на местах возникновения чрезвычайных ситуаций	48

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Двуреченский В. Г., Благодатнова А. Г. Мониторинг экологического состояния рекреационных объектов города Новосибирска	58
---	----

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).



LIFE SAFETY

BEZOPASNOST' ŽIZNEDATEL'NOSTI

The journal published since
January 2001

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.)
ZABOROVSKIY 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.)
FRIDLAND S. V., Dr. Sci. (Chem.)
SHVARTSBURG L. E.,
Dr. Sci. (Tech.)

8(212)
2018

CONTENTS

LABOUR PROTECTION

- Rusak O. N.** About the Basics of Safety Management of Activities 3
Tavarov S. Sh., Sidorov A. I., Kudryashov A. V., Kalinina A. S. Actions on Protection of Linear Personnel Against Influence of Electric Fields Taking into Account Conditions of the Area of the Republic of Tajikistan 9
Glebova E. V., Volokhina A. T., Ivanova M. V., Korobov V. A. Reduction of Industrial Injuries at the Enterprises of Fuel and Energy Complex Due to Behavioral Safety Audit 13

POPULATION HEALTH PROTECTION

- Garipova R. V., Berkheeva Z. M.** Analysis of Occupational Morbidity of Workers Foundry Plant Public Joint-Stock Company "Kamaz" 18
Plakhova L. V., Vishnevskaya N. L., Chernyi K. A. Influence of Workplace Factors on the Working Capacity of Operators 22

ENVIRONMENT PROTECTION

- Fedosov V. V., Fedosova A. V.** Algorithm for Optimization of Transboundary Pollution from Emissions of Sources in Industrial Zones 29
Sayapov L. R., Sivkova G. A. Determination of Fractional Composition of Oil in Separate Deposits of Khanty-Mansiysk Autonomous District of Russia. 36

FIRE SAFETY

- Rubtsov D. N., Egorov A. N.** Justification of Necessary and Sufficient Diameter Model Tank Type "Glass in Glass" for Performing Fire Tests of Protective Wall 41
Klapyuk I. V., Cheshko I. D., Sharapov S. V., Lovchikov V. A. Application of Solid-Phase Extraction by Hydrophobic Polymeric Sorbents at Detection of Traces of Oil Products on Places of Emergence of Emergency Situations 48

REGIONAL PROBLEMS OF SAFETY

- Dvurechensky V. G., Blagodatnova A. G.** Monitoring of Ecological Condition of Recreational Objects of the Novosibirsk City 58

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

УДК 331.45

О. Н. Русак, д-р техн. наук, проф. кафедры, e-mail: rusak-maneb@mail.ru,
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С. М. Кирова

Об основах управления безопасностью деятельности

Рассмотрены некоторые аспекты управления безопасностью, неоднозначно трактуемые специалистами. Предложены адекватные термины и определения, рекомендуемые для применения в системах управления безопасностью. Показан приоритет отечественных разработок в области управления охраной труда. Предложены теоретические и методические подходы к анализу безопасности объектов и способам их реализации. Дан критический анализ модернизации контрольно-надзорной системы. Показано несоответствие информационной базы в сфере безопасности объективным требованиям управления.

Ключевые слова: деятельность, потенциальная опасность, причины, опасные события, управление, идентификация, контроль, безопасность

Вводные определения

Терминология в вопросах безопасности носит неустановившийся и противоречивый характер. Имеющиеся руководства и стандарты, содержащие к тому же необязательные требования, усугубляют понятийно-терминологическую неопределенность, например ГОСТ 12.0.002—14 ССБТ. Термины и определения. Приведем некоторые понятия, используемые в данной работе.

Под деятельностью понимаются все виды полезной активности человека, например труд, творчество, наука, спорт, быт, отдых, игры, туризм, искусство и др. Деятельность включает в себя цель, средства, результат и сам процесс, т. е. человека [1]. Психологами доказано, что деятельность свойственна только человеку [2]. В работе основоположника теории деятельности А. Н. Леонтьева (1903—1979) показано, что деятельность носит осознанный и целенаправленный характер [3].

Советский ученый Л. Н. Гумилев (1912—1992), создавший учение об этносах, объяснял присущее человеку непреодолимое внутреннее стремление (осознанное или, чаще неосознанное) к деятельности пассионарностью (лат. — *passio* — страсть)

Пассионарность по Л. Н. Гумилеву — это внутреннее качество, свойственное только *Homo sapiens* и направленное на достижение какой-либо цели (нередко иллюзорной).

Пассионарность — это внутренняя причина деятельности. Поэтому человек не может не действовать. Стремление к деятельности бывает иногда настолько сильным, что заставляет жертвовать собой [4].

Деятельность как унифицированная форма обозначения активности человека является системообразующим элементом всей научной базы безопасности. Деятельность является реальной движущей силой общества, прогресса и условием существования самого человечества. Давно замечено, что в процессе деятельности происходят нежелательные случаи, в результате которых страдают и гибнут люди. Такие явления называются опасными событиями, происхождение которых обусловлено потенциальными опасностями. Потенциальные опасности — это все то, что при определенных условиях может причинить ущерб здоровью человека. Со временем пришло понимание того, что все виды деятельности потенциально (лат. *potentialis* — возможность) опасны. Носителями потенциальных опасностей являются материальные тела, энергия, информация, биологические объекты и люди. Это утверждение приобрело статус аксиомы и используется в научных исследованиях и в учебном процессе с 1980-х годов [5].

Аксиома о потенциальной опасности всех видов деятельности имеет практическое, методическое и эвристическое (греч. *heurisko* — нахожу) значение. Аксиома является отправной позицией в анализе и синтезе факторов, формирующих условия безопасности. Факторы (лат. *factor* — делающий, производящий) имеют природное, искусственное и социальное происхождение. В общем случае под фактором понимается движущая сила, причина какого-либо процесса, определяющая его характер или особенные черты. В данном случае под факторами понимаются все воздействия, влияющие на условия деятельности и человека.



В процессе деятельности следует различать два вида факторов: потенциальные опасности и причины, под влиянием которых потенциальные опасности реализуются, порождая опасные события (пожары, взрывы, несчастные случаи и т. д.). Каждое опасное событие — результат сложного взаимодействия нескольких факторов, образующих цепь причинно-следственных связей. Опасное событие — это результат системного взаимодействия потенциальной опасности и совокупности причин. В общественном сознании опасные события воспринимаются как предотвращаемые явления, что служит теоретической предпосылкой управления безопасностью.

Управление безопасностью деятельности

Под управлением понимается элементарная функция систем различной природы, обеспечивающая поддержание режима их деятельности. Применительно к системам безопасности управление сводится к реализации программ, цель которых состоит в том, чтобы исключить причинение вреда жизни и здоровью людей, т. е. обеспечить безопасность. В свою очередь, программы состоят из взаимосвязанных необходимых и достаточных элементов, ориентированных на достижение указанной цели.

Управление безопасностью — системный процесс, вектор которого направлен в сторону совершенствования: от существующего исходного состояния к более безопасному. В основе процесс управления безопасностью предельно прост: надо идентифицировать, т. е. выявить и оценить опасности и разработать профилактические меры. Однако практическая реализация указанных действий превращается в довольно сложную задачу. Дело в том, что опасности носят потенциальный (читай — скрытый) характер. Наряду с параметрическими, т. е. измеряемыми и количественно оцениваемыми опасностями существуют так называемые стохастические опасности, идентификация которых существенно затруднена.

К сказанному добавляются проблемы, связанные с отношением человека и общества к безопасности. Большинство людей ошибочно полагают, что опасности их не коснутся. Несмотря на провозглашенные приоритеты защиты жизни и здоровья людей на практике экономические, материальные стимулы нередко берут верх. Система (гр. *systema* — целое, состоящее из частей) — совокупность взаимосвязанных элементов. Анализ (гр. *analysis*) — научное исследование путем мысленного расчленения целого на составные части. Синтез (гр. *synthesis* — соединение, сочетание) — метод научного исследования, состоящий в изучении явления как единого целого в единстве и

взаимной связи его частей на основе результатов анализа.

Системы управления должны учитывать определенные принципы и им соответствовать.

1. Система должна быть простой и конкретной, с четкими терминами и определениями, не требующей дополнительного разъясняющего документа или инструкции по применению.

2. Работники должны принимать непосредственное участие в управлении, а их мнение должно учитываться при принятии решений. Недопустимо предлагать работнику оставить свою подпись под результатами, которые получены без его участия.

3. Приоритет в управлении принадлежит органолептическим методам анализа. Метрологические приемы несут вспомогательный, уточняющий характер.

4. Измерения должны выполняться с учетом метрологических требований, обеспечивающих заданные интервалы достоверности и вероятности.

5. Результаты измерений должны воспроизводиться при контроле, при повторных замерах, экспертизе. В противном случае они являются недостоверными.

6. В системах управления основное, приоритетное внимание должно уделяться средствам коллективной защиты (СКЗ). Средства индивидуальной защиты (СИЗ) имеют вспомогательное значение.

7. Как и любая разумная деятельность, управленческий процесс должен оцениваться посредством четко определенных показателей. Система лишена смысла, если в ней нет механизма определения эффективности. Этим принципам соответствовал утвержденный Госстандартом СССР и ВЦСПС в 1983 г. документ под названием "Рекомендации. Управление охраной труда. Основные положения". Эти рекомендации носили обязательный характер и распространялись на все отрасли народного хозяйства. В них использовались простые количественные показатели. В работе по управлению принимали участие все работающие на данном объекте, контроль осуществлялся систематически и непрерывно, выполнение плановых работ постоянно контролировалось. Этот документ был очень лаконичен и прост, но в нем были по умолчанию реализованы основные принципы управления охраной труда. Много лет спустя появились современные документы по управлению безопасностью, которые перечислены ниже.

Документы по управлению безопасностью

1. Руководство по управлению системами профессиональной безопасности и здоровья

Международной организации труда (МОТ—СУОТ 2001).

2. OHSAS 18001—2007 Системы управления охраной труда и безопасностью персонала.

3. OHSAS 18002—2008 Руководство по внедрению OHSAS 18001—2007.

4. ГОСТ 12.0.230—2007 Межгосударственный стандарт. ССБТ. Система управления охраной труда. Общие требования (введен в действие с 1 июля 2009 г.).

5. ГОСТ 12.0.230.1 — 2015 Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Руководство по применению ГОСТ 12.0.230—2007 (введен с 1 марта 2017 г.).

6. ГОСТ 12.0.230.2—2015 Межгосударственный стандарт. ССБТ. Системы управления охраной труда. Оценка соответствия. Требования (введен с 1 марта 2017 г.).

7. ГОСТ Р 12.0.009—2007 ССБТ. Системы управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию (введен с 1 июля 2010 г.).

8. ГОСТ Р 12.0.009—2009 ССБТ. Система управления охраной труда на малых предприятиях. Требования и рекомендации по применению (дата введения 01.07.2010).

9. ГОСТ Р 54934—2012 Национальный стандарт РФ. Системы менеджмента безопасности и охраны здоровья. Требования (введен с 1 января 2013 г.).

10. Приказ Минтруда России от 19.08.2016 № 438н "Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда".

Анализ перечисленных руководств, положений и стандартов позволяет отметить следующие имеющиеся в них недостатки.

1. В указанных источниках нет теоретических и методических основ управления, требования носят рекомендательный характер.

2. Имеет место цитирование и заимствование зарубежных изданий. Например, ГОСТ 12.0.230 — 2007 идентичен документу Международной организации труда; ГОСТ Р 54934—2012 идентичен OHSAS 18001—2007. К переписанному из зарубежных источников ГОСТ 12.0.230—2007 разработаны дополнительные поясняющие документы ГОСТ 12.0.230.1—2015 и ГОСТ 12.0.230.2—2015, что противоречит общепринятым требованиям, предъявляемым к руководствам.

3. В документах не определены основные понятия, которые обязательны для процесса управления (цель управления, опасности, опасные события, причины).

В целом приведенный перечень стандартов и руководств представляет механический набор наставлений, в которых даются методические указания, говорится, что делать, но не указывается

как. Тексты многословны, пояснения тривиальны. Все это создает неудобства для пользователей и делает документы неактуальными, так как вводит в заблуждение работодателей и работников.

Идентификация опасностей, причин и опасных событий

Начальной стадией управления безопасностью деятельности является процесс идентификации (лат. *identificare* — отождествлять) потенциальных опасностей, причин и опасных событий. Практическая задача заключается в установлении наименований и пространственно-временных характеристик координат элементов указанной триады факторов.

Существует два подхода к анализу безопасности — априорный (до нежелательного события) и апостериорный (после нежелательного случившегося события). При априорном анализе выбирают потенциально возможное опасное событие и составляют набор причин, которые могут привести к его появлению. Апостериорный анализ выполняется в том случае, когда нежелательные события уже произошли.

В обоих случаях может быть прямой и обратный порядок анализа. Прямой порядок состоит в изучении причин, чтобы предвидеть последствия. При обратном порядке анализируются последствия с целью определения причин [6].

Методы анализа опасностей делятся в общем случае на феноменологические, детерминистские и вероятностные.

Феноменологический метод основан на определении возможности или невозможности возникновения опасности, исходя из анализа необходимых и достаточных условий, основанных на законах природы.

Детерминистский метод предусматривает изучение опасных событий начиная от исходного состояния через последовательные предполагаемые стадии до установившегося конечного состояния события. Детерминистский подход обеспечивает наглядность и психологическую приемлемость.

Вероятностный метод анализа опасностей предполагает как оценку вероятности появления опасности, так и расчет вероятности того или иного варианта развития опасного процесса. Это наиболее перспективный метод. Методы оценки опасностей делятся на качественные, количественные и комбинированные (полуколичественные).

В промышленно развитых странах получили широкое распространение такие методы идентификации, как дерево событий; метод контрольных листов; "что будет, если"; анализ отказов и последствий; анализ ошибок персонала; экспертные оценки (метод Делфи); система Элмера и др. [7].



Одним из наиболее простых является метод "дерево опасностей и причин" (ДОП). По идее и методической тональности метод ДОП напоминает стихи английского поэта Д. Р. Киплинга (1865—1936). У него находим такие поэтические, по-философски деловые слова-рекомендации:

"Есть у меня шестерка слуг
Проворных, удалых.
И все, что вижу я вокруг,
Все знаю я от них.
Они по знаку моему
Являются в нужде.
Зовут их: Как и Почему,
Кто, Что, Когда и Где..."

Ниже перечислены источники информации об опасностях.

1. Физические объекты окружающей и производственной среды (сырье, оборудование, технологические процессы, продукция, отходы производства, здания, сооружения, различные виды энергии и т. п.).

2. Бумажные и электронные ресурсы (акты о несчастных случаях, правила, инструкции, стандарты, результаты расследования аварий и др.).

3. Статистические данные о заболеваниях и травмах.

4. Персонал (работники, управленцы, инспекторы).

5. Ареалы (arealis — место, пространство) опасностей (космос, биосфера, техносфера, социум, инфосфера и др.).

Методы получения информации можно объединить в несколько групп.

1. Органолептические методы, основанные на использовании органов чувств человека.

2. Метрологические методы, основанные на измерениях факторов при помощи специальных приборов.

3. Расчетные методы, основанные на использовании имеющихся зависимостей.

4. Социальные методы, основанные на социологических исследованиях и обработке анкетных данных специальными приемами.

5. Методы интервью, проводимые в форме беседы с одним или несколькими лицами.

6. Экспертные методы, основанные на привлечении специалистов по изучаемой проблеме.

7. Мониторинг, контроль, аудит, проверка и другие методы, организуемые с конкретными целями.

Источники информации и применяемые методы должны обеспечить получение достоверных данных для оценки состояния безопасности и разработки профилактических и защитных мер.

По результатам идентификации составляется триединая номенклатура (перечень)

потенциальных опасностей, причин и опасных событий с указанием их пространственно-временных координат и других характеристик, необходимых для управления безопасностью. Через определенные промежутки времени номенклатура подвергается итерациям и корректировкам.

Цели управления безопасностью

Естественная стратегическая цель управления — достижение абсолютной безопасности, т. е. такого состояния условий деятельности, при котором исключены причины, реализующие потенциальные опасности. Такая цель соответствует гуманистической идеологии деятельности. Стратегическая цель достигается поэтапно последовательными тактическими действиями. Тактические цели должны устанавливаться количественно на основе расчетов на определенный период времени.

Проблема целей в определенном смысле носит условный характер, так как безопасность является функцией времени. О возможности достижения абсолютной безопасности свидетельствует опыт многих предприятий и зарубежные проекты нулевого травматизма. Опасность альтернативного метода в форме приемлемых рисков заключается в возможности спекулятивных подходов при выборе средств и методов профилактики и защиты.

Риск — это оценка опасных событий, сочетающая частоту или вероятность и тяжесть последствий. Риски нередко ошибочно отождествляют с опасностями, рассматривая их как синонимы. Это неверно потому, что опасность имеет физическую природу, риск — понятие виртуальное, условное, придуманное. Несмотря на это, риск позволяет анализировать стохастические опасности и находить адекватные оценки потенциальных ситуаций. Определяемые риски имеют приближенный характер, что обусловлено природой этого показателя. Ценность риска заключается в процедуре его получения, а не в точности результата. Объективных методов определения рисков будущих опасных событий нет.

При определении целей управления безопасностью необходимо учитывать продолжительность действия опасностей и количество людей, находящихся под их воздействием. Важно отметить, что цели управления должны быть измеримыми и количественно определенными.

Контроль как элемент управления безопасностью

В 1947 г. Международная организация труда (МОТ) приняла Конвенцию № 81 "Об инспекции труда в промышленности и торговле". Приведем некоторые положения из этого документа.

— Инспектора имеют право беспрепятственно проходить без предварительного уведомления и в любое время суток на любое предприятие (ст. 12).

— Предприятия инспектируются так часто и так тщательно, как это необходимо для обеспечения эффективного применения соответствующих законодательных положений (ст. 16). Лица, нарушающие законодательные положения, которые контролируются инспекторами труда, немедленно подвергаются судебному преследованию (ст. 17).

Конвенция № 81 МОТ ратифицирована Россией в 1995 г. Согласно этой Конвенции контроль носит перманентный (непрерывный) характер, что соответствует требованиям безопасности и процессу управления ею.

В России деятельность контролирующих органов законодательно ограничена в целях защиты работодателя (не "кошмарить" бизнес!). Намечается дальнейшее снижение и ослабление контроля.

Приведем высказывания должностных лиц по поводу надзорно-контрольных органов, взятые из общественно-политической "Российской газеты" (далее — РГ):

— контрольно-надзорная деятельность в РФ коррумпирована и малопродуктивна (РГ, 20.10.2016);

— по сути мы должны обновить идеологию работы всей системы контроля и надзора в нашем государстве (РГ, 22.12.2016).

Изменение и совершенствование контрольно-надзорной деятельности необходимы. Но какие, в чем суть модернизации? Суть предполагаемых обновлений сводится к созданию дискретной системы надзора, что противоречит непрерывной системе, установленной международными договорами (Конвенция № 81 МОТ).

Так, Роструд разделил подведомственные объекты контроля на несколько уровней опасности: высокий, значительный, средний, умеренный, низкий. При этом плановые проверки будут проводиться в зависимости от уровня опасности один раз в 2, 3, 5 и 6 лет соответственно четырем первым уровням.

Объекты с низким уровнем опасности проверкам не подлежат вообще. Необходимо отметить, что критерии отнесения объектов к уровням опасности носят субъективный, научно не обоснованный характер.

Риск-ориентированный подход к реорганизации контроля сокращает расходы на содержание инспекций, но повышает опасность в связи с дискретной схемой контроля. По понятным причинам ведомства приступили к реализации сомнительных положений риск-ориентированного подхода и сокращению проверок.

"За три года МЧС России в три раза сократило количество надзорных проверок. Более 700 тысяч объектов низкой категории риска вообще выведены

из сферы государственного надзора. Новый подход в ведомстве окрестили риск-ориентированным. Это когда из-под лишних проверок выводятся объекты, не представляющие интереса с точки зрения безопасности" (РГ, 16.02.2017).

"МЧС почти наполовину сократило число внеплановых проверок бизнеса. До конца 2018 г. действует мораторий на проведение плановых проверок малого и среднего бизнеса" (РГ, 19.07.2017).

"Приоритетная программа "Реформа контрольной и надзорной деятельности" будет реализовываться с декабря этого года и по 2025 г. включительно. Ее цель — снижение в 2 раза административной нагрузки на организации и граждан, осуществляющих предпринимательскую деятельность. К 2018 г. за счет внедрения риск-ориентированного подхода число плановых проверок должно сократиться на 30 %, а в следующем государственные органы перестанут осуществлять не менее 15 % видов контроля и надзора" (РГ, 22.12.2016).

Следует заметить, что так называемый риск-ориентированный контроль лишен элементарного научного обоснования. Несмотря на это, приняты постановления Правительства РФ (№ 806 от 17 августа 2016 г. и др.) о применении риск-ориентированного подхода к контролю. После трагедии в Кемерово в Думу представлен законопроект о риск-ориентированном подходе к контролю (РГ, 12.04.18). Анализ позволяет утверждать, что намеченные изменения системы контроля приведут к ее ослаблению и отрицательно отразятся на состоянии безопасности в стране, на жизни и здоровье людей. Похоже, сейчас реализуется политика "кошмара" надзорно-контрольной системы.

Об информационной базе управления безопасностью

Законодательство РФ в последние годы подвергается многочисленным изменениям. При этом наблюдаемые тенденции направлены на защиту интересов работодателей в ущерб работникам. Так, аттестацию рабочих мест заменили специальной оценкой условий труда согласно Федеральному закону № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 г. При этом число показателей, подлежащих учету, сократили почти в два раза, а травматизм как фактор не учитывается совсем. В результате работники лишились ряда гарантий и компенсаций. Такая "модернизация" дала бумажный эффект, реальные условия труда стали еще хуже. Серьезную социальную опасность представляет такое явление, как сокрытие несчастных случаев. О фактах сокрытия неоднократно сообщалось в печати. Так, в 2016 г. было расследовано 726 сокрытых несчастных случаев, включая 213 случаев



с летальным исходом. Если несчастный случай скрыт, то его причины и обстоятельства не будут учтены в процессе управления безопасностью. Соккрытие несчастных случаев представляет нарушение Конституции РФ (ст. 41.3).

Существенным статистическим изъяном для процесса управления безопасностью является выборочный учет производственного травматизма. Это положение также противоречит Конституции РФ, где сказано, что каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности (ст. 37.3), и достоверную информацию (ст. 42) без какой бы то не было дискриминации. Соккрытие в России несчастных случаев подтверждает МОТ.

Очевидную опасность представляют постановления Правительства РФ от 17 августа 2016 г. № 806 "О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесение изменений в некоторые акты Правительства РФ" и от 16.02.2017 № 197 "О внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ". Суть этих постановлений состоит в том, что вводится дискретный контроль или объекты совсем исключаются из системы государственного контроля.

Так называемый риск-ориентированный подход к контролю в научном отношении не обоснован. Критерии отнесения объектов к определенным категориям опасности необъективны.

Примерно половина экономически активного населения трудится в условиях, не соответствующих требованиям безопасности. Однако выявляемость профессиональных заболеваний самая низкая.

Эффективное управление безопасностью возможно только на основании достоверных статистических данных. Сейчас это условие не соблюдается. Выход заключается в создании объективной информационной базы на основе системных исследований с широким привлечением независимой научной общественности. В некоторых странах, например, эффективно используется система добровольных конфиденциальных (доверительных) сообщений (РГ, 13.12.2017).

Для научного сопровождения государственной политики в области охраны труда нужны государственные бюджетные институты охраны труда. Государственное управление охраной труда не может осуществляться на основе деятельности частных организаций, стремящихся любыми способами к получению прибыли. Информация, размещаемая в электронных средствах, свидетельствует о спекулятивной направленности деятельности негосударственных организаций.

Список литературы

1. **Советский** энциклопедический словарь. — М., 1980. — 136 с.
2. **Деятельность:** теория, методология, проблемы. — Политиздат, 1990. — 365 с.
3. **Леонтьев А. Н.** Деятельность. Сознание. Личность. — М.: Политиздат, 1975. — 304 с.
4. **Гумилев Л. Н.** Конец и вновь начало. — М.: Издательство "Институт ДИ-ДИК", 2001. — 71 с.
5. **Русак О. Н.** Введение в охрану труда: Лекции. — Л.: ЛТА, 1982. — 8 с.
6. **Энциклопедия** по безопасности и гигиене труда. — М.: Профиздат, 1985. Том 1. — 117 с.
7. **Русак О. Н.** Управление безопасностью труда: Монография. — СПб.: Издательство "Стратегия будущего", 2011. — 180 с.

O. N. Rusak, Professor, e-mail: rusak-maneb@mail.ru, Saint-Petersburg Forest Technical University name after S. M. Kirov

About the Basics of Safety Management of Activities

Some aspects of safety management that are ambiguous interpreted by specialists are examined. Appropriate terms and definitions recommended for use in security management systems are suggested. The article shows the priority of domestic developments in the field of labor protection management. Theoretical and methodological approaches to the analysis of the safety of objects and to the methods of their implementation are proposed. Critical analysis of the modernization of the control and supervisory system is given. The discrepancy of the information base in the sphere of security to objective requirements to the management processes is shown.

Keywords: activity, potential danger, reason, danger event, management, identification, control, safety

References

1. **Sovetskij** e'nciklopedicheskij slovar'. Moskow, 1980. 136 p.
2. **Deyatel'nost':** teoriya, metodologiya, problemy. Moscow: Politizdat, 1990. 365 p.
3. **Leont'ev A. N.** Deyatel'nost'. Soznanie. Lichnost'. Moskow: Politizdat. 1975. 304 p.

4. **Gumilev L. N.** Konecz i vnov' nachalo. Moskow: Izdatel'stvo "Institut DI-DIK", 2001. 71 p.
5. **Rusak O. N.** Vvedenie v oxranu truda. Lekcii. Leningrad, LTA, 1982. 8 p.
6. **E'nciklopediya** po bezopasnosti i gigiene truda. Moskow: Profizdat, 1985. Tom 1. 117 p.
7. **Rusak O. N.** Upravlenie bezopasnost'yu truda. Monografiya. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo "Strategiya budushhego", 2011. 180 p.

С. Ш. Таваров, канд. техн. наук, ст. преп., Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими, Душанбе, **А. И. Сидоров**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, e-mail: bgd-susu@mail.ru, **А. В. Кудряшов**, канд. техн. наук, доц. кафедры, **А. С. Калинина**, канд. техн. наук, доц. кафедры, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

Мероприятия по защите линейного персонала от воздействия электрических полей с учетом условий Республики Таджикистан

Приведена краткая характеристика воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ и трасс прохождения этих линий. Предлагается план организации работ по защите линейного персонала при обслуживании и эксплуатации данных линий, позволяющий уменьшить отрицательный результат воздействия электрических полей путем уменьшения времени нахождения в зонах влияния электрического поля.

Ключевые слова: электрическое поле, напряженность, линия электропередачи, линейный персонал

Введение

Линии электропередачи сверхвысокого напряжения (330 кВ и более) являются системообразующими, т. е. позволяющими с минимальными потерями обеспечить электроэнергией соответствующих потребителей. Эксплуатация таких линий включает периодические осмотры, в том числе и пешие в труднодоступных районах, а также расчистку трасс, по которым проходят линии, от кустарников и иной растительности, находящихся в охранной зоне этих линий (ширина охранной зоны определяется напряжением линии электропередачи). Расчистка трасс, где это возможно, проводится бульдозерами. Однако, где рельеф местности сложный (перепад высот, трудности доставки тяжелой техники и т. п.), это мероприятие осуществляется с помощью механизированного инструмента. В этом случае линейный персонал, проводящий подобные работы, оказывается в зоне действия электрического поля — пространстве, где напряженность электрического поля на уровне 1,8 м от поверхности превышает 5 кВ/м [1]. Возникает необходимость в защите линейного персонала от негативного действия электрического поля промышленной частоты. Эта задача может быть решена различными способами. В статье рассматривается один из них, по мнению авторов, наиболее экономичный.

Краткая характеристика воздушных линий электропередачи, проходящих по территории Республики Таджикистан

В Республике Таджикистан имеются четыре обособленные энергетические системы (ОЭС):

Южная (Душанбе — Вахшская) энергосистема; Северная энергосистема; Пенджикентские электрические сети в Согдийской области и электрические сети Горно-Бадахшанской автономной области. Южная энергосистема Душанбе — Вахш соединяется с Северным электрическим узлом Согдийской области через электрические сети Узбекистана. Прямое соединение между ними было запланировано путем строительства ЛЭП — 500 кВ, официальное начало которого было положено в сентябре 2006 г. Единственным собственным источником электроснабжения в Согдийской области является Кайраккумская ГЭС со среднегодовой выработкой электроэнергии 650 млн кВт·ч.

В табл. 1 приведена информация о существующих в Республике Таджикистан ЛЭП-500 кВ с указанием рельефа местности, марки и сечения фазных проводов, длины линий, температуры воздуха и пропускных способностей этих линий.

Увеличение потребности в электроэнергии и большой потенциал гидроэнергетики Республики Таджикистан год за годом приводит к увеличению установленной мощности строительством новых гидроэлектростанций. Для передачи электроэнергии из существующих на данный момент сверхвысоких линий электропередачи напряжением 500 кВ согласно совместному проекту Киргизстан — Таджикистан — Афганистан — Пакистан CASA-1000 продолжается строительство новой линии, соединяющей северную часть Республики Таджикистан с Республикой Киргизстан, а южную часть — через территорию Афганистана с Пакистаном. Основным источником энергии в Республике является гидроэнергетика. Увеличение



Таблица 1

Характеристика воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ Республики Таджикистан

Наименование линии	Марка—сечение проводов, мм ²	Длина, км	$I_{\text{ном}}$ по проводу, А	Пропускная способность, МВт	Место прохождения линий 500 кВ	Рельеф местности	Температура, °С
Л — 505	3×АСО — 400 2×АСУС — 500	114,9 1,25	2475	1515	п/ст Нурек — п/ст Регар — 500	Смешанный (пересеченный-горный)	+0,3...+45
Л — 506	3×АСО — 400 2×АСУС — 500	114,9 1,25	2475	1515	п/ст Нурек — п/ст Регар — 500	Смешанный (пересеченный-горный)	+0,3...+45
Л — 507	3×АСО — 300	255	2070	1150	п/ст Регар — 500 — п/ст Гузар Республики Узбекистан	Равнинный	+0,3 ...+45
Л — 508	3×АСО — 300	162,3	2190	1150	п/ст Регар — 500 — п/ст Сурхан, Республики Узбекистан	Равнинный	+0,3...+45
Л — 517	3×АСО — 400	49,98	2475	935	п/ст Регар — 500 — п/ст Душанбе — 500	Горный	-27...+30
Л — 518	3×АСО — 400	213,5	2475	935	п/ст Душанбе — 500 — п/ст Сугд — 500	Горный	-27...+30

потребления электроэнергии приводит к тому, что правительство страны ставит задачу строительства новых гидроэлектростанций. Одним из грандиозных проектов является достройка Рогунской ГЭС, строительство которой начато еще в советские времена. Передача электроэнергии будет также осуществляться по воздушным линиям напряжением 500 кВ.

Организация работ при обслуживании линий электропередачи напряжением 500 кВ с учетом условий Республики Таджикистан

Учитывая климатические условия Республики Таджикистан и рельеф местности, следует отметить, что максимальная напряженность электрического поля в зоне возможной деятельности человека наблюдается летом (начиная с конца июня до конца августа) в середине дня, когда температура воздуха максимальна, а следовательно, максимальны стрела провеса и напряженность электрического поля под линией. Работы по расчистке трасс вдоль воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ, согласно данным Компании "Барки Точик" Республики Таджикистан, проводятся только в летний период времени.

Рассмотрим организацию работ по обслуживанию воздушных линий электропередач (ВЛЭП) на примере характерных по рельефу (ровный, пересеченный, подъем в гору) пролетов ВЛЭП 500 кВ.

Время пребывания линейного персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью электрического поля промышленной

частоты, так называемое приведенное время, вычисляется по формуле [1—4]:

$$T_{\text{пр}} = 8 \left(\frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_{En}}{T_{En}} \right), \quad (1)$$

где $t_{E1}, t_{E2}, \dots, t_{En}$ — время пребывания в контролируемых зонах, ч, с напряженностью E_1, E_2, \dots, E_n ; $T_{E1}, T_{E2}, \dots, T_{En}$ — допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон, ч.

По данным, полученным от Компании "Барки Точик", на расчистку трасс и осмотр одного пролета тратится до 60 мин. Надо отметить и тот фактор, что вдоль ВЛЭП 500 кВ, проходящих по юго-западной части Республики Таджикистан, распространены полукустарниковые, кустарниковые и травянистые массивы (до 70 %), такие как:

- субальпийские разнотравные степи с высотами: горичвет — 10...20 см, котовник — 25 см, полынь эстрагон — до 1 м, мятлик — до 60 см, тонгонок — 30...40 см (в западной части);
- низкотравные с высотами: трищетинник — до 50 см, эгилопс — до 45 см, асрагал — до 40 см (в южной части).

Таким образом, при ведении работ вдоль ВЛЭП 500 кВ линейный персонал не экранируется растительными массивами, так как растения могут способствовать уменьшению напряженности электрического поля промышленной частоты в 3—3,5 раза, если они превышают рост человека [5, 6].

Разбив характерные по рельефу пролеты ВЛЭП 500 кВ, где персонал будет подвергаться воздействию электрического поля ($E > 5$ кВ/м), и

учитывая скорость перемещения персонала, рассчитаем приведенное время для расчистки каждого из этих пролетов при различной температуре воздуха.

Отметим, что расчеты напряженности электрического поля проводились согласно данным работ [7, 8] с помощью вычислительного кластера "СКИФ Аврора ЮУрГУ". Сопоставление расчетных значений напряженности электрического поля с результатами экспериментальных измерений в этом же пролете показали, что относительная погрешность по всей длине пролета не превышает 10 % [3]. Результаты расчетов приведены в табл. 2–4.

Согласно данным табл. 2 (ровный рельеф местности) при температуре окружающего воздуха +45 °С приведенное время пребывания линейного персонала в зоне действия ЭП ПЧ превышает допустимые 8 ч. Лишь при пересеченном рельефе местности (см. табл. 2) значение приведенного времени находится в допустимых пределах.

Согласно табл. 3, 4 приведенное время пребывания линейного персонала в зонах действия ЭП ПЧ при температурах окружающего воздуха равных +27 °С и +33 °С, не превышает

Таблица 2

Фактическое время пребывания t_E и расчетное приведенное время пребывания $T_{пр}$ линейного персонала в зонах действия электрических полей (ЭП) промышленной частоты (ПЧ) при температуре +45 °С

Характеристика местности	Время t_E и $T_{пр}$, ч, в зонах действия ЭП ПЧ, кВ/м				
		5...10	10...15	15...20	20...25
Ровный рельеф	t_E	0,17	0,25	0,08	0
	$T_{пр}$	9,28			
Пересеченный рельеф	t_E	0,23	0,05	0	0
	$T_{пр}$	2,77			

Таблица 3

Фактическое время пребывания t_E и расчетное приведенное время пребывания $T_{пр}$ линейного персонала в зонах действия электрических полей (ЭП) промышленной частоты (ПЧ) при температуре +33 °С

Характеристика местности	Время t_E и $T_{пр}$, ч, в зонах действия ЭП ПЧ, кВ/м				
		5...10	10...15	15...20	20...25
Ровный рельеф	t_E	0,2	0,22	0	0
	$T_{пр}$	6,5			
Пересеченный рельеф	t_E	0,4	0,05	0,05	—
	$T_{пр}$	7,69			

Фактическое время пребывания t_E и расчетное приведенное время пребывания $T_{пр}$ линейного персонала в зонах действия электрических полей (ЭП) промышленной частоты (ПЧ) при температуре +27 °С

Характеристика местности	Время t_E и $T_{пр}$, ч, в зонах действия ЭП ПЧ, кВ/м				
		5...10	10...15	15...20	20...25
Ровный рельеф	t_E	0,17	0,25	0	0
	$T_{пр}$	2,82			
Пересеченный рельеф	t_E	0,2	0,067	0	0
	$T_{пр}$	3			

8 ч. Однако при температуре окружающего воздуха +27 °С приведенное время пребывания линейного персонала в зонах действия ЭП ПЧ относительно температуры +33 °С в среднем в 2,5 раза меньше.

С учетом сказанного работу по расчистке трасс от кустарников, имеющих в юго-западной части территории Республики Таджикистан, предлагается проводить с начала сентября до середины октября, так как в эти месяцы температура окружающего воздуха в местах прохождения ВЛЭП 500 кВ не превышает +27 °С. При ведении работ вдоль ВЛЭП 500 кВ при температуре окружающего воздуха, равной +27 °С, один линейный электромонтер за день может расчистить до трех пролетов с суммарным приведенным временем пребывания в зоне действия ЭП ПЧ не более 8 ч.

Благоприятный период для ведения работы при температуре окружающего воздуха +27 °С составляет 32 дня (с сентября до середины октября, без учета выходных) или 256 часов рабочего времени. Для расчистки трассы (533 пролета) от кустарников для бригады, состоящей из 10 линейных электромонтеров, необходимо 18 рабочих дней (с учетом того, что за день данная группа может расчистить 30 пролетов) [9].

Вывод

Для уменьшения приведенного времени пребывания линейного персонала в зоне действия электрических полей промышленной частоты подобран благоприятный период для ведения работы (с начала сентября до середины октября) с температурой окружающего воздуха, не превышающей +27 °С, при которой один линейный электромонтер может расчищать до трех пролетов с суммарным приведенным временем пребывания в зоне действия электрического поля промышленной частоты не более 8 ч.



Список литературы

1. СанПиН 2.2.4.1191—03. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. — М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2003. — 24 с.
2. **Окраинская И. С.** Оценка профессионального риска по фактору "Электрическое поле промышленной частоты" // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика" — 2013. — Т. 13. — № 2. — С. 32—35.
3. **Скуртова И. В.** Опасные и вредные производственные факторы, характеризующие работы на линиях электропередачи сверхвысокого напряжения // Наука — производство — технологии — экология: Сб. материалов Всероссийской научно-технической конференции. — Киров: ВятГУ, 2006. — Т. 4. — С. 117—122.
4. **Шаврина Н. А.** Электромагнитная обстановка вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения: дис. ... канд. тех. наук. — Челябинск, 2007. — 128 с.
5. **Александров Г. Н.** Воздушные линии электропередачи повышенной пропускной способности // Электричество. — 1981. — № 7. — С. 1—6.
6. **Сидоров А. И., Окраинская И. С.** Электромагнитные поля вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения: Монография. — Челябинск: Изд-во: ЮУрГУ, 2008. — С. 58—70.
7. **РД-1М-001—2014.** "Построение карт распределения напряженности электрического поля промышленной частоты вдоль воздушной линии электропередачи напряжением 500 кВ". Введ. 2014—12—01. Душанбе, ОАХК "Барки Точик", 2014. 18 с.
8. **Сидоров А. И., Окраинская И. С., Таваров С. Ш.** Построение карт распределения напряженности электрического поля вдоль ВЛЭП 500 кВ Республики Таджикистан // Вестник Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими. Серия "Энергетика". — 2014. — № 1 (25). — С. 56—59
9. **Таваров С. Ш.** Защита линейного персонала, обслуживающего линии электропередачи напряжением 500 кВ в Республике Таджикистан: дис. ... канд. техн. наук. — Челябинск, 2014. — 115 с.

S. Sh. Tavarov, Senior Teacher, Tajik Technical University of the Academician
M. S. Osimi, Dushanbe, **A. I. Sidorov**, Professor, Head of Chair, e-mail: bgd-susu@mail.ru,
A. V. Kudryashov, Associate Professor, **A. S. Kalinina**, Associate Professor, South Ural
State University, Chelyabinsk

Actions on Protection of Linear Personnel against Influence of Electric Fields Taking into Account Conditions of the Area of the Republic of Tajikistan

In article will be provided the short characteristic of air-lines of an electricity transmission voltage of 500 kV with the route of network of passing of these lines. The project of the organization work on protection of linear personnel at service and operation of these lines, allowing to reduce the negative result of electric fields influence by decreasing the time of stay in the zones of influence of the electric field.

Keywords: electric field, voltage, power line, linear personnel

References

1. СанПиН 2.2.4.1191—03. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. Moscow: Ministerstvo zdravooxraneniya Rossijskoj Federacii, 2003. 24 p.
2. **Окраинская И. С.** Оценка профессионального риска по фактору "Электрическое поле промышленной частоты". *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Energetika"*. 2013. Vol. 13. No. 2. P. 32—35.
3. **Skurtova I. V.** Opasnye i vrednye proizvodstvennye faktory, harakterizujushie raboty na liniyah e'lektroperedachi sverhvyssokogo naprjazhenija. *Nauka — proizvodstvo — tehnologii — e'kologija: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii*. Kirov: VjatGU, 2006. Vol. 4. P. 117—122.
4. **Shavrina N. A.** E'lektromagnitnaja obstanovka vblizi e'lektrostanovok sverhvyssokogo naprjazhenija: dis. ... kand. teh. nauk. Chelyabinsk, 2007. 128 p.
5. **Aleksandrov G. N.** Vozdushnye linii e'lektroperedachi povyshennoj propusknoj sposobnosti. *Elektrichestvo*. 1981. No. 7. P. 1—6.
6. **Sidorov A. I., Okrainskaya I. S.** E'lektromagnitnye polya vblizi e'lektrostanovok sverhvyssokogo napryazhenija: Monografiya. Chelyabinsk: Izdatel'stvo: YuUrGU, 2008. P. 58—70.
7. **RD-1M-001—2014.** "Postroenie kart raspredeleniya napryazhennosti e'lektricheskogo polya promyshlennoj chastoty vdol' vozdushnoj linij e'lektroperedachi napryazheniem 500 kV". Vvedeno 2014.12.01. Dushanbe, OAXK "Barki Tochik", 2014. 18 p.
8. **Sidorov A. I., Okrainskaya I. S., Tavarov S. Sh.** Postroenie kart raspredeleniya napryazhennosti e'lektricheskogo polya vdol' VLEP 500 kV Respubliki Tadzhiqistan. *Vestnik Tadzhiqskogo texnicheskogo universiteta imeni akademika M. S. Osimi. Seriya "Energetika"*. 2014. No. 1 (25). P. 56—59.
9. **Tavarov S. Sh.** Zashhita linejnogo personala, obsluzhivajushhego linii e'lektroperedachi naprjazheniem 500 kV v Respublike Tadzhiqistan: dis. ... kand. tehn. nauk. Chelyabinsk, 2014. 115 p.

Е. В. Глебова, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, **А. Т. Волохина**, канд. техн. наук, доц. кафедры, **М. В. Иванова**, канд. техн. наук, доц. кафедры, e-mail: mariyivanova@yandex.ru, **А. В. Коробов**, канд. техн. наук, ст. преп. кафедры, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва

Снижение производственного травматизма на предприятиях топливно-энергетического комплекса путем проведения поведенческого аудита безопасности

Приведены основные причины производственного травматизма на предприятиях топливно-энергетического комплекса. Предложен новый подход к организации обеспечения безопасности. Приведены примеры опасных действий работников различных профессий. На основе анализа опубликованных данных сформулированы шесть категорий наблюдения, для каждой из которых разработаны критерии оценки. Предложен расчет индекса опасного поведения, позволяющего количественно оценить действия работника на его рабочем месте.

Ключевые слова: производственный травматизм, опасное действие, категория наблюдения, поведенческий аудит безопасности

По данным Федеральной службы по труду и занятости, доминирующими причинами несчастных случаев на предприятиях ТЭК являются типичные причины организационного характера, такие как: нарушение технологического процесса самим пострадавшим, нарушение трудовой и производственной дисциплины, неприменение работником средств индивидуальной защиты и т. д. [1]. Следовательно, основная причина производственного травматизма обусловлена не опасными условиями труда, а опасными действиями работников. Однако основное внимание руководства, служб охраны труда и надзорных органов привлечено именно к опасным условиям, а не к опасному поведению работников.

Качественно иным уровнем организации обеспечения безопасности, основанным на использовании механизмов предупреждения и выявления потенциально опасных ситуаций (действий и условий), является поведенческий аудит безопасности (ПАБ) [2]. Поведенческий аудит безопасности — это интерактивный систематический и документированный процесс, который основывается на наблюдении за действиями работника во время выполнения им производственного задания, его рабочим участком (местом), и последующей беседе между работником и аудитором [3].

Используя накопленный опыт проведения ПАБ в различных компаниях [4–7], в 2016 г. были проведены исследования по оценке безопасного поведения работников ООО "Газпром трансгаз Самара" следующих профессий:

- линейный трубопроводчик;

- электрогазосварщик;
- электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования.

На первом этапе исследования были сформулированы шесть категорий наблюдения:

- реакция работника, заметившего на объекте лицо, осуществляющее поведенческий аудит;
- правильность и безопасность действий при обслуживании производственного оборудования;
- правильное применение спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты;
- состояние инструментов и оборудования;
- выполнение требований инструкций, правил и процедур;
- порядок и условия труда на рабочем месте.

Для каждой из приведенных категорий наблюдения были разработаны критерии оценки в соответствии со спецификой производственной деятельности. Так, для категории "правильность и безопасность действий при обслуживании производственного оборудования" были выявлены возможные ошибочные действия, которые могут привести к внештатным ситуациям. В табл. 1, 2 и 3 приведены примеры опасных действий при производственной деятельности работников трех рассматриваемых профессий.

В табл. 4 представлены категории наблюдения и критерии оценки (балл от 0 до 3) на примере профессии электрогазосварщика.

Каждый поведенческий аудит безопасности должен быть оформлен документально. С этой целью была разработана карточка наблюдения за



Таблица 1

Примеры опасных действий при производственной деятельности электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования

Профессия	Опасное действие
Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования	<p>Применение средств защиты от поражения электрическим током осуществляется с нарушениями требований инструкции по применению и испытанию средств защиты (дополнительные средства защиты в электроустановках выше 1000 В применяются как основные, средства защиты применяются не на свой класс напряжения и т. д.)</p> <p>Перед применением средств защиты от поражения электрическим током не осуществляется их предварительный осмотр и проверка исправности</p> <p>При выборе инструментов, приспособлений и устройств не учитываются условия их применения (наличие взрывоопасной среды, источников электричества)</p> <p>Наличие загрязнений на электроинструменте</p> <p>Работы в электроустановках осуществляются без снятия напряжения с токоведущих частей (замена ламп освещения, коммутационной аппаратуры, техобслуживание электроустановки и т. д.)</p> <p>Работы в электроустановках осуществляет не бригада, а один работник (кроме работы, связанной с уборкой помещения)</p> <p>Осмотр электроустановок осуществляет персонал, которому не предоставлено данное право распорядительным документом</p> <p>Работы в электроустановках выполняются без оформления их нарядом-допуском, распоряжением или по перечню работ в порядке текущей эксплуатации</p> <p>Электромонтер или бригада самостоятельно расширяют зону проведения работы, оговоренную нарядом или распоряжением</p>

поведением работника. В табл. 5 представлен пример карточки наблюдения за поведением электрогазосварщика.

На втором этапе исследования была проведена оценка поведения работников и разработаны рекомендации по снижению потенциала травматизма.

Внедрение поведенческого аудита безопасности предполагает обязательное проведение анализа результативности с целью оценки показателей безопасности, тенденций их изменения и эффективности корректирующих мер.

Для анализа поведения работника предложен индекс опасного поведения работника $I_{оп}$, который рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{оп} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{\sum_{i=1}^n N_i}, \quad (1)$$

где K_i — количество набранных баллов по каждой категории наблюдения; N_i — максимальное

Таблица 2

Примеры опасных действий при производственной деятельности электрогазосварщика

Профессия	Опасное действие
Электрогазосварщик	<p>На рабочем месте допущено загромождение, использованы для складирования материалов проезды, подъезды к средствам пожаротушения, а также противопожарные разрывы</p> <p>При выполнении работы вблизи других работающих технологических установок или оборудования не ограждены места электрогазосварки передвижными щитами</p> <p>Сварка проводится на расстоянии менее 10 м от легковоспламеняющихся или взрывоопасных материалов (бочек с горючим, баллонов, ацетиленовых газогенераторов)</p> <p>Незнание устройства различной электросварочной и газорезательной аппаратуры, особенностей сварки и электродугового строгания на переменном и постоянном токе</p> <p>Отсутствие владения техникой ручной, дуговой сварки сложных и ответственных конструкций во всех пространственных положениях сварного шва, владения техникой дуговой резки металла</p> <p>Во время работы не знает принципов подбора режима сварки по приборам</p> <p>Отсутствие навыков владения техникой плазменной резки металла сложных и ответственных конструкций во всех пространственных положениях сварного шва</p> <p>Прокладывание сварочного кабеля совместно с кислородными, пропановыми рукавами и трубопроводами, находящимися под давлением или при высокой температуре, а также вблизи кислородных баллонов и ацетиленовых агрегатов</p> <p>Не освобождена тара от огарков электродов после проведения работ</p> <p>Сварочные кабели находятся в загрязненном состоянии</p> <p>Отсутствует бирка о проверке изоляции на сварочном аппарате</p> <p>Кислородные баллоны в стойке без защитной цепи</p>



Таблица 3

Примеры опасных действий при производственной деятельности линейного трубопроводчика

Профессия	Опасное действие
Линейный трубопроводчик	<p>При выполнении своих обязанностей не знает технологию продувки и испытания газопроводов</p> <p>Отсутствует личная подпись работника в наряде-допуске</p> <p>Перед работой в котловане не проверяет устойчивость его откосов и крепления стенок, не убирает от бровки котлована обрезки труб и другие предметы, которые могут упасть и нанести травму</p> <p>При проведении ревизии и ремонте задвижек и кранов, набивке и подтяжке сальников у задвижек, опрессовке запорной арматуры, узлов и отдельных участков трубопровода допускается использование инструментов и приспособлений без внешнего осмотра на соответствие испытаний, подтвержденных клеймами, бирками, табличками или другими средствами</p> <p>Несоблюдение технологического процесса при проведении работ по центровке, гнутью, зачистке кромок труб и обработке после газовой резки и сварки</p> <p>Подготовка, приготовление грунтовки, битумной мастики, антикоррозионной изоляции и нанесение ее на трубы проводятся с нарушениями</p> <p>Затяжка болтов фланцевых соединений и сальников проводится при наличии давления в газопроводе</p> <p>Производит самовольное переключение кранов</p> <p>Осуществляет переход в неустановленных местах через трубопроводы, подлезает под них, заходит без разрешения руководителя объекта или работ за ограждения опасных зон</p>

Таблица 4

Категории наблюдения для профессии электрогазосварщика (сокращенный вариант)

Категория наблюдения	Критерии оценки
1. Реакция работника, заметившего на объекте лицо, осуществляющее поведенческий аудит	0 — не меняет реакции; 1 — изменяет положение; 2 — меняет инструмент; 3 — прекращает работу
2. Правильность и безопасность действий при обслуживании производственного оборудования	0 — работа производится безопасными методами и с соблюдением требований всех инструкций; 1 — не отключена штепсельная вилка электроинструмента после окончания работ; 2 — недостаточный уровень охлаждающей жидкости в емкости для охлаждения изделий; 3 — отсутствие знаков безопасности при проведении огневых работ
3. Правильное применение спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты	0 — спецодежда и СИЗ полностью соответствуют характеру выполняемых работ, находятся в хорошем состоянии и используются работником; 1 — не осуществляется надлежащий уход за выданным комплектом спецодежды и СИЗ; 2 — спецодежда и СИЗ не соответствуют характеру выполняемых работ; 3 — спецодежда и СИЗ не используются работником
4. Состояние инструментов и оборудования	0 — оборудование и инструменты находятся полностью в исправном состоянии; 1 — имеется оборудование, которое используется не в соответствии с правилами эксплуатации; 2 — использование кустарного, самодельного инструмента; 3 — использование неисправного оборудования
5. Выполнение требований инструкций, правил и процедур	0 — работник знает и соблюдает все инструкции и правила; 1 — инструкции и правила отсутствуют на рабочем месте, но работник с ними ознакомлен и соблюдает требования; 2 — нарушены сроки периодичности проведения плановых инструктажей и обучения; 3 — работник не знает и не соблюдает правила и инструкции
6. Порядок и условия труда на рабочем месте	0 — на рабочем месте поддерживается порядок; 1 — не обеспечено рациональное размещение инструментов, деталей, оборудования; 2 — на рабочем месте не поддерживается порядок; 3 — допущено сильное загромождение, не убраны неиспользуемые инструменты



Пример карточки наблюдения за поведением электрогазосварщика

Карточка наблюдения за поведением работников при выполнении ими трудовой функции № _____ (наименование филиала Компании)			
Структурное подразделение филиала Компании	Должность, фамилия, инициалы лица, проводившего наблюдение	Выполняемая функция (вид работ) работника, за которым проводилось наблюдение	Дата наблюдения
Категория наблюдения	Возможные варианты ответа	Выбранный вариант ответа (0, 1, 2, 3)	Краткое описание нарушения
Реакция работника, заметившего на объекте лицо, осуществляющее поведенческий аудит	Не меняет реакции		0 — работник продолжает работу в прежнем режиме
	Меняет положение, перестраивает работу, прячется, прекращает работу		1 — работник не знает или не уверен в том, что он работает правильно
	Надевает или приводит в порядок средства индивидуальной защиты, меняет или прячет инструмент		2 — работник работал без надлежащих средств защиты, что может привести к потенциальной травме
	Подсоединяет или устанавливает необходимые защитные устройства или ограждения, другие средства коллективной защиты		3 — работник нарушает инструкции по охране труда

Таблица 6

Фрагмент результатов оценки индекса опасного поведения работника

№ п/п	Значение индекса $I_{оп}$		
	Электрогазосварщик	Электромонтер	Линейный трубопроводчик
1	0	0,17	0,11
2	0	0	0,11
3	0,11	0	0
4	0	0,11	0
5	0	0,17	0
6	0,17	0	0
7	0	0	0

Таблица 7

Шкала анализа поведения работника

Значение $I_{оп}$	Характеристика поведения работника
$< 0,17$	"Условно" безопасное поведение работника
$\geq 0,17 < 0,28$	"Потенциально" опасное поведение работника
$\geq 0,28$	Опасное поведение работника

количество баллов, которое работник может набрать при аудите; i — номер категории наблюдения ($i = 1...6$).

В табл. 6 представлены результаты расчета индекса опасного поведения работника для трех профессий.

На основе экспертной оценки была предложена шкала анализа поведения работников (табл. 7).

Анализируя результаты проведенного поведенческого аудита безопасности, был отмечен достаточно высокий уровень безопасности, тем не менее отдельными работниками были допущены некоторые нарушения. По результатам проведенного аудита были выявлены причины опасного поведения:

- отсутствие привычки соблюдения требований охраны труда и промышленной безопасности в целях сокращения времени работы;
- отсутствие надлежащего контроля непосредственным руководителем;
- отсутствие необходимого инвентаря, приспособлений, мест хранения.

Для устранения указанных причин были предложены корректирующие действия:

- проведение дополнительного обучения в области охраны труда и промышленной безопасности;

- проверка распределения ответственности за оборудование, приспособления и инструмент;
- проведение дополнительных проверок по выявлению несоответствий требованиям охраны труда и промышленной безопасности.

При повторном проведении аудита опасные действия выявлены не были.

Таким образом, проведение поведенческого аудита безопасности позволило разработать мероприятия, направленные на устранение опасного поведения работников при выполнении ими производственных задач.

Принципиальное отличие предлагаемой разработки от ранее выполненных работ аналогичной направленности в других отраслях промышленности РФ и зарубежных компаниях состоит в выявлении, идентификации и классификации специфических нарушений требований безопасности на рабочих местах ООО "Газпром трансгаз Самара". Помимо этого, была разработана процедура обработки, анализа результатов поведенческого аудита безопасности, определения критичности уровня культуры безопасности, порядка планирования мероприятий по повышению уровня культуры безопасности. Внедрение указанной разработки будет способствовать

предотвращению несчастных случаев и аварий, вызванных небезопасным поведением и действиями работников.

Список литературы

1. **Официальный сайт** Федеральной службы по труду и занятости. <https://www.rostrud.ru/> (дата обращения 29.07.2017).
2. **Хайруллина Л. И., Чижова М. А.** Системные действия в управлении охраной труда: поведенческий аудит и его практическая реализация // Вестник технологического университета. — 2017. — Т. 20. — № 11. — С. 121—124.
3. **ГОСТ Р 12.0.008—2009.** Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда в организациях. Проверка (аудит).
4. **Методические рекомендации** по процессу поведенческих аудитов безопасности в ОАО "РЖД". — М., 2011. — 24 с. URL: http://oac.rgotups.ru/misc/files/mr_po_proc_pab.pdf (дата обращения 29.07.2017).
5. **Гершгорин В. С., Петухова Л. П.** Человеческий фактор и культура безопасности в производственной деятельности: Монография. М-во образования и науки Рос. Федерации, Кемеров. гос. ун-т, Новокузнец. Ин-т (фил.). — Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2016. — 447 с.
6. **Поведенческий аудит безопасности в ЕВРАЗе** // Телевидение Новокузнецка "ТВН". 09.04.2014. URL: <http://www.tvn-tv.ru> (дата обращения 29.04.2014).
7. **Рябов А. А.** ОАО "Северсталь": промышленная безопасность и охрана труда в приоритете № 1 // Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 7. — С. 4—11.

E. V. Glebova, Professor, Head of the Chair, **A. T. Volokhina**, Associate Professor, **M. V. Ivanova**, Associate Professor, e-mail: mariyivanova@yandex.ru, **V. A. Korobov**, Senior Lecturer, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I. M. Gubkin, Moscow

Reduction of Industrial Injuries at the Enterprises of Fuel and Energy Complex Due to Behavioral Safety Audit

The main causes of industrial injuries at the enterprises of fuel and energy complex are given. A new approach to security management is proposed. Examples of dangerous actions of workers of different professions are given. Based on the analysis of literature data, six categories of observation are formulated, for each of which evaluation criteria are developed. The calculation of the index of dangerous behavior, allowing to quantify the actions of the employee in his workplace.

Keywords: occupational injuries, dangerous action, surveillance category, behavioral safety audit

References

1. **Official website** of the Federal service for labour and employment. <https://www.rostrud.ru/> (date of access 29.07.2017).
2. **Khairullina L. I., Chizhova M. A.** Systemic effects in the occupational safety management: a behavioural audit and its practical implementation. *Bulletin of Technology University*. 2017. Vol. 20. No. 11. P. 121—124.
3. **ГОСТ Р 12.0.008—2009.** System of occupational safety standards. Control system of labor protection in the organizations. Verification (audit).
4. **Methodological recommendations** on the process of behavioural safety audits in JSC "RZD". Moscow, 2011, 24 p.

- URL: http://oac.rgotups.ru/misc/files/mr_po_proc_pab.pdf (date of access 29.07.2017).
5. **Gershgorin V. S., Petukhov L. P.** The human factor and safety culture in industrial activity: monograph. Ministry of education and science Russian Federations, Kemerovskij State University, Novokuznetsk. Institut (Philisl). Novokuznetsk: NFI KemGU, 2016. 447 p.
6. **Behavioral security audit** in Eurasia. *TV Novokuznetsk "TVN"*. 09.04.2014. URL: <http://www.tvn-tv.ru> (date of access 29.04.2014).
7. **Ryabov A. A.** OJSC Severstal: industrial safety and labor protection in priority № 1. *Occupational safety in industry*. 2013. No. 7. C. 4—11.

УДК: 613.6.027:613.62

Р. В. Гарипова, д-р мед. наук, доц. кафедры, e-mail: railyagaripova@mail.ru,
З. М. Берхеева, канд. мед. наук, доц. кафедры, Казанский государственный
медицинский университет Минздрава России

Анализ профессиональной заболеваемости работников Литейного завода ПАО "КАМАЗ"

Проведено изучение профессиональной заболеваемости, основных нозологических форм профессиональных заболеваний работников Литейного завода ПАО "КАМАЗ" с 2014 по 2016 г. Отмечено, что наиболее распространенными оказались заболевания верхних дыхательных путей, связанные с воздействием аэрозолей химических веществ сложного состава в виде хронического субатрофического ринофаринголарингита. Зарегистрировано увеличение случаев первичного направления на освидетельствование в бюро медико-социальной экспертизы среди лиц с впервые установленной связью заболевания с профессией с 20,6 % до 38,6 %, что указывает на их позднюю диагностику.

Ключевые слова: профессиональная заболеваемость, профессиональные заболевания, условия труда, литейный завод, периодические медицинские осмотры

Введение

Ведущей отраслью промышленности Республики Татарстан (РТ) является машиностроение. К числу самых крупных машиностроительных предприятий республиканского значения относится ПАО "КАМАЗ". По данным Государственного доклада [1] удельный вес объектов 3-й группы санитарно-эпидемиологического благополучия (крайне неудовлетворительных) при производстве автотранспортных средств составил в 2016 г. 14,2 %.

В РТ с 2014 по 2016 г. было зарегистрировано 663 случая профессиональных заболеваний (ПЗ) и отравлений у 500 работников [2]. В ПАО "КАМАЗ" за анализируемый период связь заболевания с профессией была установлена у 183 человек, составив 36,6 %, т. е. каждый третий пациент с диагностированным ПЗ в РТ является работником этого предприятия. По данным санитарно-гигиенических характеристик условий труда, основными вредными производственными факторами, приводящими к развитию ПЗ у работающих в ПАО "КАМАЗ", оказались: промышленные аэрозоли, химические вещества, шум, вибрация, физические перегрузки в виде подъема и перемещения груза вручную, а также в виде физической, динамической и статической нагрузок.

Из 183 больных с ПАО "КАМАЗ" 119 оказались работниками Литейного завода (ЛЗ), составив 65 % общего числа пациентов ПАО "КАМАЗ" и 23,8 % общего числа лиц с установленной связью заболевания с профессией за 2014—2016 гг. в РТ.

Цель исследования: изучение и выявление основных тенденций профессиональной заболеваемости на Литейном заводе ПАО "КАМАЗ".

Материалы и методы. Исследование выполнено на основе данных регистра Республиканского центра профпатологии (РЦПП) РТ с применением ретроспективного анализа случаев ПЗ по данным РЦПП РТ и Управления федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по РТ.

Результаты и их обсуждение

ПАО "КАМАЗ", относясь к предприятиям машиностроения, по видам экономической деятельности входит в раздел Д "Обрабатывающие производства". Профессиональная заболеваемость в РТ по данному разделу экономической деятельности занимает второе место, уступая только разделу А "Сельское хозяйство". Причем уровень профессиональной заболеваемости по разделу Д за последние годы выше, чем по Российской Федерации (РФ) в целом (табл. 1) [3].

Наиболее высокие показатели профессиональной заболеваемости на 10 000 работников регистрировались на Литейном, Прессово-рамном, Кузнечном и Автомобильном заводах ПАО "КАМАЗ" (табл. 2). Из 183 больных с впервые установленной связью заболевания с профессией в 2014—2016 гг. 119 являются работниками Литейного завода, 22 — Автомобильного, 14 — Прессово-рамного, 11 — Кузнечного заводов, остальные трудились на заводе двигателей и Ремонтно-инструментальном заводе.

Показатели профессиональной заболеваемости по видам экономической деятельности (выборочные данные) в Республике Татарстан и Российской Федерации за 2014–2016 гг. (на 10 000 работников)

Раздел видов экономической деятельности	2014 г.		2015 г.		2016 г.	
	РФ	РТ	РФ	РТ	РФ	РТ
РАЗДЕЛ А "Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство"	2,67	7,2	2,32	8,1	1,66	5,22
Раздел D "Обрабатывающие производства"	3,51	5,2	3,23	5,3	2,61	4,56
В целом	1,74	1,82	1,65	1,8	1,47	1,3

Таблица 2

Показатели профессиональной заболеваемости на предприятиях ПАО "КАМАЗ" за 2014–2016 гг. (на 10 000 работников)

Наименование предприятия ПАО "КАМАЗ"	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Литейный завод	63,7	67	58,4
Прессово-рамный завод	10,7	4,2	12,5
Кузнечный завод	13,5	25,5	9,8
Автомобильный завод	14,3	9,3	8,0
Республика Татарстан	1,82	1,8	1,3

Таким образом, показатели профессиональной заболеваемости на Литейном заводе ПАО "КАМАЗ" за анализируемый период оказались выше республиканских в 35–45 раз.

Профессиональные заболевания (ПЗ) регистрировались у представителей 25 профессий Литейного завода: обрубщиков, стерженщиков, плавильщиков, слесарей-ремонтников, слесарей-инструментальщиков, термистов, наждачников, формовщиков, электрогазосварщиков, литейщиков, огнеупорщиков, машинистов крана, наладчиков и др. Чаще всего связь заболевания с профессией устанавливалась у обрубщиков — 21 %.

Профессиональная патология чаще диагностировалась у мужчин — 78,2 %. По возрасту преобладали лица 50–59 лет — 74 % и 60 лет и более — 21 %. Ранжирование по профессиональному стажу показало, что наибольшее число ПЗ регистрировалось у работников со стажем работы более 25 лет — 53,8 % (см. рисунок).

Всего за анализируемый период диагностировано 149 ПЗ у 119 работников, таким образом, у 20 % пациентов было одновременно зарегистрировано 2 ПЗ и более, что свидетельствует о несвоевременном направлении больных в Республиканский центр профпатологии. Среди нозологических форм ПЗ у работников Литейного завода на первом месте стоят заболевания органов дыхания, составляющие 59,1 %, на втором — заболевания

от воздействия физических факторов — 36,9 %, заболевания от физических перегрузок и функционального перенапряжения составили 4 %.

Заболевания органов дыхания были представлены тремя формами:

- тотальные дистрофические заболевания верхних дыхательных путей (ВДП) — ринофаринголарингит;
- патология бронхиального дерева — профессиональный бронхит и профессиональная обструктивная болезнь легких (ХОБЛ);
- интерстициальные заболевания легких — пневмокониозы, представленные силикозом и пневмокониозами от смешанной пыли.

Из заболеваний от воздействия физических факторов диагностировались вибрационная болезнь и двусторонняя нейросенсорная тугоухость; а заболевания от физических перегрузок и функционального перенапряжения — в виде полинейропатии верхних конечностей, мышечно-тонического синдрома шейного уровня и плечелопаточного периартроза.

Если сравнить накопленную профессиональную заболеваемость [4] по Республике Татарстан

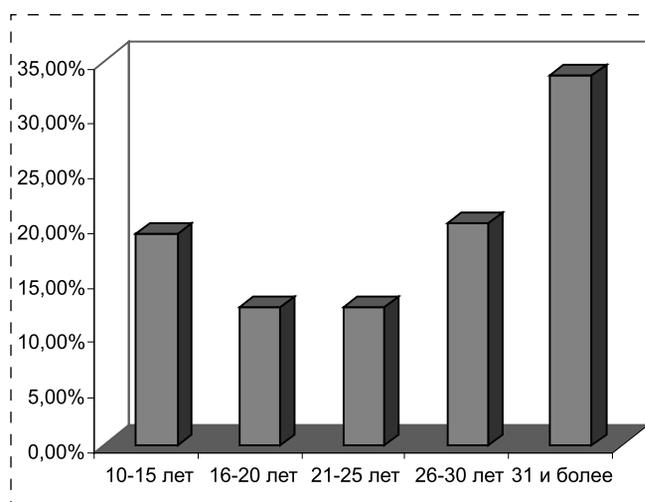

Распределение больных по профессиональному стажу



Таблица 3

Структура профессиональной заболеваемости по нозологическим формам на Литейном заводе ПАО "КАМАЗ" за 2014–2016 гг. и накопленной профессиональной заболеваемости по Республике Татарстан

Нозологическая форма	ЛЗ (%)	РТ (%)
Болезни верхних дыхательных путей	27,5	2,9
Вибрационная болезнь	18,8	28,4
Нейросенсорная тугоухость	18,1	31,9
Хронический бронхит, ХОБЛ	18,1	8,4
Пневмокониозы	13,4	5,2
Заболевания от физических перегрузок и функционального перенапряжения: Мышечно-тонический синдром шейного уровня Полинейропатия верхних конечностей Плечелопаточный периартроз и др.	4	16

Таблица 4

Удельный вес лиц с утратой профессиональной трудоспособности по Республике Татарстан и Литейному заводу ПАО "КАМАЗ" за 2014–2016 гг. (%)

Показатель	2014 г.		2015 г.		2016 г.	
	РТ	ЛЗ	РТ	ЛЗ	РТ	ЛЗ
Удельный вес лиц с утратой профессиональной трудоспособности	10,4	22,8	11,6	38,6	35,0	38,6

(без г. Набережные Челны) и заболеваемость трудящихся на Литейном заводе ПАО "КАМАЗ" за три изучаемых года, обращает внимание преобладание профессиональной респираторной патологии, причем заболевания ВДП на Литейном заводе регистрировались в 9,5 раза, хронический бронхит и ХОБЛ в 2,2 раза, а пневмокониозы — в 2,5 раза чаще, чем на других предприятиях РТ (табл. 3).

Заболевания от воздействия физических факторов (вибрационная болезнь и нейросенсорная тугоухость) регистрировались на Литейном заводе реже, чем по Республике Татарстан, однако если вести речь обо всех предприятиях ПАО "КАМАЗ", то профессиональное снижение слуха от воздействия шума является наиболее распространенным ПЗ среди работающих на данном предприятии [5].

За период с 2014 по 2016 г. отмечен рост случаев определения стойкой утраты трудоспособности при первичном установлении связи заболевания с профессией. Из 119 больных с Литейного завода на освидетельствование в бюро медико-социальной экспертизы (МСЭ) было направлено 57 человек (47,9 %), причем идет увеличение первичного направления в бюро МСЭ в 1,7 раза в 2015 и 2016 гг. по сравнению с 2014 г. Показатель удельного веса лиц с утратой профессиональной трудоспособности по РТ оказался ниже, чем по Литейному заводу (табл. 4).

Основными нозологическими формами ПЗ, при первичной диагностике которых шла речь

о стойкой утрате трудоспособности, оказались: болезни ВДП, составившие 59,6 %, пневмокониозы — 24,6 %, ХОБЛ — 14 % и вибрационная болезнь — 1,8 %. Чаще всего направлялись на освидетельствование представители следующих профессий: обрубщик — 24,6 %, плавильщик — 12,3 %, слесарь-ремонтник — 10,5 %, стерженщик — 8,8 % и слесарь-инструментальщик — 7 %.

Заключение. На Литейном заводе ПАО "КАМАЗ" регистрируется высокий уровень профессиональной заболеваемости, превышающий республиканские показатели в 2014 г. в 35 раз, в 2015 г. — в 37,2 раза, в 2016 г. — в 45 раз. Наиболее распространенной профессиональной патологией на данном предприятии оказались заболевания органов дыхания с преобладанием тотальных дистрофических заболеваний верхних дыхательных путей в виде ринофаринголарингита, диагностируемого практически у каждого третьего-четвертого пациента. Согласно Приказу Минздрава-соцразвития России от 12 апреля 2011 г. № 302н наличие вышеуказанной патологии является медицинским противопоказанием для продолжения работы в контакте с промышленными аэрозолями и химическими веществами, обладающими раздражающим действием, т. е. речь идет о стойкой утрате трудоспособности, зафиксированной практически у 60 % лиц, направленных на освидетельствование в бюро МСЭ. Важным моментом при

проведении предварительных и периодических медицинских осмотров является внимательный осмотр каждого работающего врачом оториноларингологом для ранней диагностики начальных признаков патологии ВДП с последующим проведением реабилитационных мероприятий и взятия под наблюдение.

Диагностика пневмокониоза с наличием дыхательной недостаточности стала основанием для первичного направления на освидетельствование в бюро Медико-социальной экспертизы (МСЭ) у 24,6 % лиц. Данный факт демонстрирует некачественное проведение медицинских осмотров, проявляющееся в том, что регламентированное упомянутым выше Приказом № 302н ежегодное или 1 раз в 2 года проведение рентгенографии грудной клетки заменяется флюорографическим исследованием, не позволяющим выявить начальные признаки пневмофиброза.

У каждого пятого пациента было диагностировано по два ПЗ и более, что свидетельствует об их поздней диагностике и неудовлетворительном проведении профилактических мероприятий.

Одной из причин позднего направления в РЦПП является и боязнь работника потерять работу при диагностике ПЗ, так как диагностика начальных форм не предусматривает проведение профилактических мероприятий за счет средств Фонда социального страхования, а если пациент

и направляется на освидетельствование, то ему определяют от 10 % при профессиональной патологии ВДП до 30 % утраты трудоспособности при других нозологических формах.

Таким образом, медицинские осмотры с участием специалистов и проведением необходимых функциональных и лабораторных исследований должны оставаться важным звеном в профилактике профессиональных заболеваний.

Список литературы

1. **О состоянии** санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Татарстан в 2016 году: Государственный доклад. — Казань, 2017. — С. 77—82.
2. **Берхеева З. М., Трофимова М. В., Гиниятова А. М.** Условия труда и состояние профессиональной заболеваемости работников машиностроительных предприятий // Медицина труда и экология человека. — 2017. — № 3. — С. 19—24.
3. **О состоянии** санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государственный доклад. — М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. — С. 78 — 87.
4. **Общие закономерности** формирования профессиональных заболеваний в Республике Татарстан / С. А. Осипов, М. В. Трофимова, И. Ю. Малышева [и др.] // Общественное здоровье и здравоохранение. — 2017. — № 2. — С. 17—20.
5. **Гарипова Р. В.** Профессиональная тугоухость у работников ПАО "КАМАЗ" // Сборник научных статей IX Российской конференции с международным участием "Здоровье человека в 21 веке", Казань 30—31 марта 2017. — Казань: Издательство "Бриг", 2017. — С. 484—488.

R. V. Garipova, Associate Professor, e-mail: railyagaripova@mail.ru,

Z. M. Berkheeva, Associate Professor, Kazan State Medical University

Analysis of Occupational Morbidity of Workers Foundry Plant Public Joint-Stock Company "KAMAZ"

The aim of the study the study of professional morbidity, the main nosological forms of professional diseases of workers of the Foundry of JSC "KAMAZ". A study was based on the register data of Republican Center of Occupational Diseases and of the Office of epidemiology in Tatarstan. Among the employees of the Foundry Plant for 2014-2016 is a high level of occupational diseases, exceeding the national performance in the 35—45 times. During the analyzed period, the 119 employees was diagnosed 149 cases of occupational diseases. The most common were diseases of the upper respiratory tract associated with exposure to aerosols of chemical substances of complex composition in — amounting to 27,5 %; in the second and third place was taken by vibration diseases -18,8 % and sensoneural hearing loss with pathology of the bronchial tree — by 18,1 %, in fourth place — pneumoconiosis — 13,4 %. In 2015 and 2016 the increase in cases of persistent disability among persons with newly established link of the disease with the profession from 20,6 % to 38,6 %, indicating late diagnosis.

Keywords: occupational morbidity, occupational diseases, working conditions, foundry plant, periodical

References

1. **О состоянии** санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Татарстан в 2016 году: Государственный доклад. Казань, 2017. P. 77—82.
2. **Berkheeva Z. M., Trofimova M. V., Giniyatova A. M.** Условия труда и состояние профессиональной заболеваемости работников машиностроительных предприятий. *Medicina труда i jekologija cheloveka*. 2017. No. 3. P. 19—24.
3. **О состоянии** санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государствен-

nyj доклад. Moscow: Federal'naja sluzhba po nadzoru v sfere zashhity prav potrebitelej i blagopoluchija cheloveka, 2017. P. 78—87.

4. **Общие закономерности** формирования профессиональных заболеваний в Республике Татарстан / S. A. Osipov, M. V. Trofimova, I. Ju. Malysheva et al. *Obshhestvennoe zdorov'e i zdravoohranenie*. 2017. No. 2. P. 17—20.
5. **Garipova R. V.** Professional'naja tugoohost' u rabotnikov PAO "KAMAZ": *Sbornik nauchnyh statej IX Rossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Zdorov'e cheloveka v 21 veke"*. Kazan: Izdatelstvo "Brig", 2017. P. 484—488.



УДК 331.453

Л. В. Плахова, канд. биол. наук, доц., **Н. Л. Вишневская**, д-р мед. наук, проф.,
К. А. Черный, д-р техн. наук, зав. кафедрой, e-mail: chernyu_k@mail.ru,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Влияние факторов производственной среды на работоспособность операторов

Представлены результаты исследования по выявлению влияния условий труда на показатели работоспособности операторов и снижению их утомляемости. Определены факторы производственной среды, определяющие формирование ответных физиологических реакций организма работающих на динамику физиологических реакций: развитие утомления и снижение работоспособности персонала, скорость сенсомоторных реакций организма, устойчивость внимания и ошибочность действий. Исходя из полученных результатов, предложен ряд методов коррекции и повышения внутрисменной работоспособности и безошибочности труда операторов, в том числе путем нормализации аэроионного состава воздуха рабочей зоны.

Ключевые слова: работоспособность, безошибочность, производственная среда, факторы малой интенсивности, условия труда, напряженность трудового процесса

Актуальность и состояние изученности

Обеспечение работоспособности и надежности деятельности операторов высокотехнологичных производств является актуальной проблемой [1–5], поскольку их снижение может вызвать опасные ошибки и несвоевременные реакции, которые в конечном итоге могут привести к аварийным и катастрофическим ситуациям. Современные условия труда характеризуются высокими требованиями к профессиональным и личностным качествам работника, возрастающей ответственностью за принятое решение, напряженностью трудового процесса, увеличением умственных и психоэмоциональных нагрузок, большим количеством поступающей и обрабатываемой информации [6–8].

Вместе с тем, несмотря на значительное внимание, которое современные исследователи уделяют проблеме надежности операторской деятельности, данный вопрос еще далек от разрешения. Особенно следует отметить актуальные задачи, связанные с воздействием на организм человека всего комплекса факторов производственной среды, со способами моделирования и оценки такого воздействия и, тем самым, с обоснованием необходимых мер по повышению работоспособности и надежности производственной деятельности операторов [9–12].

Традиционно, согласно ГОСТ 12.0.003–2015 [12], факторы производственной среды делятся на четыре группы: физические, химические, биологические, психофизиологические. Для каждого фактора, входящего в такие группы,

нормативными правовыми актами определены предельно допустимые значения.

Обеспечение фактических значений параметров факторов производственной среды, а также параметров, характеризующих особенности трудового процесса и режима труда, в пределах установленных нормативов создают иллюзию благополучия и оптимизации условий труда. Вместе с тем следует признать, что влияние факторов производственной среды на организм человека продолжается и может носить отдаленный, опосредованный и стертый характер [13–15], хотя вопрос о профессиональной патологии, профессионально обусловленных заболеваниях в таких условиях ставить будет не совсем корректно.

Ярким и известным примером такого влияния факторов является до сих пор не решенная проблема динамики работоспособности и "физиологической цены" деятельности человека при напряженном (вплоть до 12-часовой продолжительности рабочей смены) умственном труде в условиях воздействия комплекса факторов физической, эргономической, эстетической природы, уровни или концентрации которых значительно ниже предельно допустимых и которые не вызывают при изолированном действии достоверных биологических изменений — факторов "малой интенсивности" [16, 17]. Скорее всего, первичные влияния следует определять на уровне физиологических реакций организма или рассматривать "физиологическую цену" профессиональной деятельности известного производственного контингента [18–20].

Объект, методы и объем исследований

Влияние условий труда и факторов производственной среды (микроклимата, аэроионного состава воздушной среды, эргономических и эстетических параметров рабочих мест) на показатели работоспособности операторов центрального пульта управления с продолжительностью рабочей смены 12 часов, трудовая деятельность которых осуществляется в вынужденной позе "сидя" с постоянным наблюдением за 6—8 мониторами. Условия и график внутрисменного отдыха не выработаны.

В процессе 396 исследований использовались санитарно-гигиенические, физиологические, эргономические, статистические методы.

Оценка работоспособности персонала и развития их утомления проводилась по скорости сенсомоторных реакций организма, устойчивости внимания и ошибочности действий. Динамика физиологических реакций организма операторов регистрировалась каждые 2 ч в течение 12-часовой рабочей смены. В исследовании участвовали операторы общей численностью 31 человек, которые были разделены по возрастному принципу на две группы — до 35 и до 50 лет.

Условия труда и самооценка состояния работников оценены путем анкетного опроса. Здоровье персонала оценивалось по результатам углубленных медицинских осмотров за трехлетний период, проведенных у лиц, которые не менее одного календарного года работали в определенных производственно-профессиональных условиях.

Результаты исследований и их обсуждение

Микроклиматические условия на рабочих местах операторов центрального пульта управления отличаются постоянством составляющих. Так, температура воздуха в рабочих помещениях в разные периоды года составляла от 22 до 24 °С, при этом относительная влажность была несколько ниже или на границе нормативных уровней — от 23 до 40 %, так же как и скорость движения воздуха — до 0,15 м/с. Представленные параметры находятся близко к зоне комфортных условий микроклимата, но, в целом, воздух следует расценивать как сухой. По данным работы [2], для достижения оптимальных параметров в рабочей зоне помещения при температуре $22 \pm 0,3$ °С допустимая скорость движения воздуха должна составлять 0,36 м/с.

По мнению авторов, длительное пребывание в рабочем помещении и выполнение напряженной умственной работы требует контроля и соблюдения всех нормируемых параметров микроклимата

для обеспечения оптимального состояния и поддержания работоспособности организма. При этом особое внимание следует уделять относительной влажности воздуха. Действительно, тепловлажностные характеристики воздушной среды во многом определяют оптимальное функционирование слизистых оболочек носа, верхних дыхательных путей, глаз, кожных покровов и функцию органов дыхания. Пониженные уровни относительной влажности воздуха могут приводить к развитию дискомфортных состояний организма и провоцировать ряд болезненных состояний. Следовательно, отклонение параметров относительной влажности воздуха в сторону снижения следует считать ведущим негативным микроклиматическим фактором производственного помещения для операторской деятельности.

Негативное действие на организм операторов пониженной влажности воздуха усиливается из-за несоблюдения работающими питьевого режима, что было отмечено в течение рабочих смен и подтверждено в ходе анкетного опроса работающих. Установлено, что все опрошенные потребляют воды на 30...45 % меньше расчетного объема, что дополнительно усиливает негативное действие воздуха рабочей зоны с недостаточной относительной влажностью [21, 22].

Следует отметить, что далеко не все параметры воздушной среды производственных помещений, особенно в их взаимной зависимости и влиянии, исследованы к настоящему времени. Поэтому до сих пор несовершенны и действующие нормативы. Например, аэроионный состав воздушной среды производственных помещений достаточно редко привлекает внимание исследователей, однако его значимость в обеспечении оптимальной работоспособности организма бесспорна [18].

Поскольку центральный пульт управления размещен в герметизированном помещении, были выполнены исследования аэроионного состава воздушной среды, которые показали, что в зоне дыхания персонала на рабочих местах операторов, оснащенных видеодисплейными терминалами, в силу влияния электростатических полей концентрация аэроионов положительной полярности составляла 70 см^{-3} , отрицательной полярности — 150 см^{-3} , коэффициент униполярности — 0,46. Это свидетельствует о том, что аэроионный состав воздуха обследованного помещения не соответствует установленным требованиям [23]. Кроме того, следует отметить, что оптимальное состояние организма обеспечивается при содержании в воздушной среде положительных ионов в пределах 1500 см^{-3} , а отрицательных — 3000 см^{-3} . Следовательно, неблагоприятный аэроионный состав воздушной среды может способствовать созданию



дискомфортных условий производственной среды, возможно, совместно с неблагоприятным микроклиматом, снижать скорость зрительно- и слухо-моторной реакции, умственную работоспособность, ускорять и способствовать развитию утомления.

Известно, что работоспособность и развитие утомления в условиях производственной среды зависят от соблюдения правил технической эстетики в интерьере производственного помещения. Так, ахроматические или малонасыщенные тона, которые присутствуют в интерьере центрального пульта управления, нерациональная компоновка рабочих мест, воздействуя на физическое и психическое состояние операторов, усиливают состояние монотонии в течение длительной рабочей смены и способствуют ее развитию [24].

Обеспечение благоприятных эстетических условий производственной среды наряду с гигиеническими параметрами позиционируется как необходимое [13, 24], поскольку дискомфорт в процессе трудовой деятельности, общее утомление и снижение остроты зрения в ходе рабочих смен, возможное неадекватное распознавание цветowych сигналов на мониторах в условиях дополнительного негативного влияния определенных, не в полной мере оптимальных микроклиматических параметров увеличивают риски ошибок операторов.

Оценка эргономических параметров рабочих мест показала, что только 30 % из них отвечают требованиям нормативных документов [25]. Не соответствуют антропометрическим параметрам операторов

высота сиденья и высота рабочей поверхности стола, расстояние до поверхности экранов, место размещения клавиатуры, а также отсутствие подставки для ног. Следовательно, в большинстве случаев у операторов не обеспечивается оптимальная рабочая поза "сидя" и нарушаются принципы организации зрительного восприятия информации.

Таким образом, к ведущим производственным факторам развития монотонии, воздействующим на работоспособность и внутрисменное утомление, следует отнести недостаточную относительную влажность воздуха, нерациональный питьевой режим операторов, неблагоприятный аэроионный состав воздушной среды, а также эстетические и эргономические составляющие производственной среды.

В связи с влиянием на организм операторов комплекса факторов производственной среды "малой интенсивности", с развитием монотонии и гипокинезии на фоне снижения работоспособности и повышения утомляемости следует прогнозировать рост ошибочных действий в процессе рабочей смены.

Далее представлены результаты исследования динамики работоспособности по регистрации скрытого времени простой сенсомоторной зрительно- и слухомоторной реакции, устойчивости внимания и ошибочности действий операторов двух групп: 1-я группа — до 35 лет и 2-я — до 50 лет (таблица, рис. 1).

Приведенные данные демонстрируют значительные колебания, связанные с динамикой формирования внутрисменного утомления.

Динамика сенсомоторных реакций, устойчивости внимания и ошибочности действий операторов во время 12-часовой рабочей смены ($p \leq 0,005$)

№ п/п	Время проведения исследований в течение смены	Зрительно-моторная реакция, мс	Слухо-моторная реакция, мс	Устойчивость внимания, мс/число ошибок
1-я группа (19 операторов)				
1	8 ⁰⁰	362 ± 9	206 ± 10	406 ± 11/6
2	10 ⁰⁰	296 ± 10	196 ± 12	496 ± 15/7
3	12 ⁰⁰	488 ± 11	208 ± 14	380 ± 13/4
4	14 ⁰⁰	542 ± 15	286 ± 11	408 ± 17/7
5	16 ⁰⁰	303 ± 8	192 ± 10	570 ± 18/5
6	18 ⁰⁰	267 ± 12	191 ± 12	621 ± 19/9
7	20 ⁰⁰	347 ± 7	181 ± 11	424 ± 10/2
2-я группа (12 операторов)				
1	8 ⁰⁰	389 ± 11	266 ± 11	426 ± 15/7
2	10 ⁰⁰	316 ± 12	205 ± 12	528 ± 12/6
3	12 ⁰⁰	509 ± 7	218 ± 11	424 ± 18/4
4	14 ⁰⁰	544 ± 11	332 ± 10	420 ± 16/5
5	16 ⁰⁰	302 ± 10	198 ± 8	586 ± 9/7
6	18 ⁰⁰	298 ± 9	201 ± 7	598 ± 10/9
7	20 ⁰⁰	521 ± 8	256 ± 11	612 ± 18/6

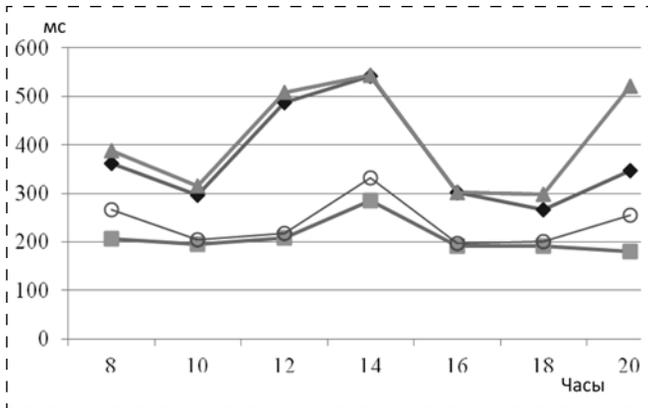


Рис. 1. Изменение работоспособности операторов по показателям сенсомоторных реакций организма в течение смены: ◆ — зрительно-моторная реакция 1-я группа; ■ — слухомоторная реакция 1-я группа; ▲ — зрительно-моторная реакция 2-я группа; ○ — слухомоторная реакция 2-я группа

Необходимо отметить практически идентичную динамику деятельности анализаторов в обеих возрастных группах, что, по-видимому, связано с использованием приобретенного опыта операторами старшей возрастной группы. Так, период вработывания (начало смены) в первой и во второй возрастных группах характеризуется практически одинаковой скоростью сенсомоторных реакций. В период наивысшей работоспособности (с 10 до 14 часов) скорость реакции возрастает, но в 12 часов в связи с наступающим естественным периодом утомления скорость сенсомоторной реакции замедляется почти в 2 раза. В послеобеденное время (с 16 до 18 часов) скорость сенсомоторной реакции несколько замедляется, что свидетельствует о снижении работоспособности и развитии естественного процесса утомления организма. К концу рабочей смены (к 20 часам) в первой возрастной группе наблюдается увеличение скорости реакции в силу влияния времени так называемого конечного порыва, связанного с приближающимся окончанием рабочей смены, в то время как во второй возрастной группе такого не наблюдается, что свидетельствует о наступлении глубокого утомления. Операторы второй — старшей возрастной группы поддерживают работоспособность за счет волевой активизации деятельности организма, но при этом у них увеличивается "физиологическая цена" трудовой деятельности.

Аналогичная динамика работоспособности операторов наблюдается при анализе устойчивости внимания и числе ошибочных действий при выполнении заданий в условиях действия помех (см. таблицу). Различия в сравниваемых возрастных группах наблюдаются в числе ошибочных действий. Так, к 18 часам число ошибок

увеличивается в обеих возрастных группах, что свидетельствует о снижении работоспособности и наступлении утомления. В старшей возрастной группе к 20 часам число ошибок больше, что дополнительно доказывает более слабое влияние времени конечного порыва.

Отметим, что вопросы оптимизации работоспособности и "физиологической цены" деятельности операторов при напряженном умственном труде в условиях продолжительной (до 12 часов) рабочей смены и воздействия комплекса факторов "малой интенсивности" физической, эргономической, эстетической природы до сих пор не решены. Однако согласно методике [26] увеличение продолжительности смены на 4 часа приводит к увеличению класса и степени вредности условий труда по ряду факторов производственной среды и росту напряженности трудового процесса, что равнозначно повышению класса вредности условий труда со 2-го допустимого класса до 3-го вредного класса или степени вредности в пределах 2—3.

Наиболее информативным и относительно объективным способом оценки влияния условий труда на здоровье персонала следует считать результаты углубленных периодических медицинских осмотров.

По результатам углубленных медицинских осмотров лишь 12 % операторов были признаны здоровыми. Длительное перенапряжение способствует развитию производственно обусловленных заболеваний органов зрения и слуха, а также органов дыхания и кожи (рис. 2). В структуре болезней органов дыхания у работников в возрасте до 50 лет наблюдаются и болезни носа. Работа в течение длительного времени в условиях многочасовых смен, постоянное нарушение привычных биоритмов (сна, бодрствования), нервно-эмоциональное напряжение и работа в режиме высокой ответственности приводят к росту заболеваемости эндокринной системы, развитию метаболического синдрома, выражающегося в избыточной массе



Рис. 2. Заболеваемость операторов центрального пульта управления (по данным углубленных медосмотров)



тела у 45 % операторов [3, 10]. Таким образом, действие профессиональных факторов обуславливает развитие неинфекционных профессионально обусловленных заболеваний слизистых оболочек, кожи, органов зрения, слуха и дыхания, обеспечивает рост эндокринных синдромов. Отметим, что в представленных исследованиях трудовой коллектив состоял из работников, стаж которых превышает 15 лет. Таким образом, можно считать, что структура заболеваемости в большей степени отражает воздействие на организм работников представленных выше факторов производственной среды и трудового процесса.

Заключение и выводы

Детальная характеристика трудовой деятельности операторов возможна лишь на основе применения комплексных научных исследований для выявления ведущих факторов производственной среды, трудового процесса, определяющих формирование ответных физиологических реакций организма работающих.

Некоторые отклонения от нормативов факторов производственной среды, установленных в ходе проведенных исследований, позволяют считать их ведущими в снижении работоспособности и формировании утомления у производственного персонала [3, 12]. Факторы производственной среды и трудового процесса, параметры которых находятся на границах допустимых уровней, следует относить к факторам малой интенсивности и устанавливать их воздействие на снижение работоспособности и развитие неинфекционной соматической патологии персонала как производственно обусловленной заболеваемости. Выполненные исследования показали, что в условиях высокотехнологичных предприятий на операторов, обеспечивающих управление производством, воздействует комплекс факторов малой интенсивности в составе физических, эргономических и эстетических составляющих, а приоритетное значение имеет низкая относительная влажность воздуха и неблагоприятный аэроионный состав воздуха рабочей зоны.

Трудовая деятельность, осуществляемая операторами в вынужденной рабочей позе "сидя" и постоянное наблюдение за экранами мониторов провоцирует состояние монотонии на фоне гипокинезии [7, 17]. Поскольку режим труда и отдыха операторов организован в виде дневных и ночных рабочих смен продолжительностью 12 часов, то следует считать, что факторы трудового процесса дополняют действие факторов производственной среды и могут усиливать утомление и снижение работоспособности операторов.

Следует отметить, что факторы малой интенсивности, которые формируют условия труда операторов высокотехнологичных производственных комплексов, могут приводить к снижению функциональных резервов организма, к развитию стойкого утомления в динамике рабочих смен по показателям скрытого времени сенсомоторных реакций, устойчивости внимания и ошибочности действий и к появлению профессионально обусловленных заболеваний.

Таким образом, разработку комплекса профилактических мероприятий для операторов высокотехнологичных предприятий следует считать актуальной задачей. Динамика утомления и работоспособности персонала в ходе 12-часовых рабочих смен также определяет необходимость разработки методов коррекции и повышения внутрисменной работоспособности и безошибочности труда операторов.

В связи с этим важным элементом обеспечения стабильного состояния операторов следует считать разработку внутрисменного режима труда и отдыха, наличие регламентированных перерывов с обоснованием и внедрение способов восстановления работоспособности и обеспечения безошибочности труда.

Список литературы

1. Гимранова Г. Г., Бакиров А. Б., Каримова Л. К. Комплексная оценка условий труда и состояния здоровья нефтяников // Медицина труда и промышленная экология. — 2009. — № 8. — С. 1–5.
2. Дударев А. А., Сорокин Г. А. Актуальные проблемы гигиены труда и профессиональной патологии офисных работников // Медицина труда и промышленная экология. — 2012. — № 4. — С. 1–8.
3. **Концептуальные подходы** к оценке функционального состояния специалистов в процессе их профессиональной деятельности / Н. Б. Маслов, И. А. Блошинский, Е. А. Галушкина, Д. Ю. Рогованов // Экология человека. — 2012. — № 4. — С. 16–24.
4. **Ушаков И. Б., Богомолов А. В., Кукушкин Ю. А.** Методологические аспекты динамического контроля функциональных состояний операторов опасных профессий // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2010. — № 4. — Ч. 2. — С. 6–12.
5. **Котик М. А.** Саморегуляция и надежность человека-оператора. — Таллин: Валгус, 2004. — 167 с.
6. **Ломов Б. Ф.** Деятельность оператора в системе "человек—машина" // Основы инженерной психологии / Под ред. Б. Ф. Ломова. — М.: Высшая школа, 2005. — С. 169–196.
7. **Распространенность** основных неинфекционных, производственно-обусловленных заболеваний у работников нефтедобывающей отрасли / Г. Г. Гимранова, А. Б. Бакиров, Э. Р. Шайхлисламова, Л. К. Каримова, А. Д. Волгарева, М. П. Обухова, Н. А. Бейгул // Медицина труда и экология человека. — 2016. — № 1. — С. 5–15.
8. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

- (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55—2004 and 55—1992). — Atlanta, GA: ASHRAE. — 2010.
9. **Роль физиологии труда** в сохранении работоспособности и здоровья у работников различных видов трудовой деятельности, достижения и перспективы развития / В. В. Матюхин, И. В. Бухтияров, О. И. Юшкова, Э. Ф. Шардакова, Е. Г. Ямпольская, В. В. Елизарова, А. С. Порошенко, А. В. Капустина, С. А. Калинина, М. Ю. Рубцов, Х. Т. Ониани, Г. Н. Лагутина, А. Г. Меркулова // Медицина труда и промышленная экология. — 2013. — № 6. — С. 19—24.
 10. **Бакиева Р. Р.** Значение благоприятных условий труда на работоспособность персонала организации // Достижения и перспективы экономических наук: сборник статей международной научно-практической конференции. — Уфа: Научный центр "Аэтерна", 2014. — С. 14—16.
 11. **Гурьянова Н. О., Максимов С. А.** Влияние продолжительности рабочей смены на изменение уровней воздействия производственных факторов и состояние здоровья работающих // Медицина в Кузбассе. — 2007. — № 2. — С. 19—23.
 12. **ГОСТ 12.0.003—2015.** Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
 13. **Львов В. М., Гутянский Г. С.** Основные положения системы поддержки и восстановления работоспособности операторов // Человеко-машинные системы. — 2010. — № 2. — С. 3—6.
 14. **Капцов В. А., Иванов В. К.** Физиолого-гигиенические аспекты улучшения видимости цветовых сочетаний на экране компьютера // Безопасность и охрана труда. — 2011. — № 2. — С. 64—66.
 15. **Карпинский А. Е., Поляков П. М., Аблеев А. Ю.** Восстановление физических кондиций человека-оператора, работающего в условиях гиподинамии // Научный Вестник МГТУ ГА. — 2015. — № 218. — С. 107—110.
 16. **Уровень здоровья здоровых работников** в нефтяной и химической отраслях промышленности / Л. М. Карамова, Г. Р. Башарова, Э. Т. Валеева, Р. Р. Галимова, Н. В. Власова, Н. Р. Газизова // Медицина труда и экология человека. — 2015. — № 4. — С. 270—275.
 17. **Городецкий И. Г., Трофимов Е. А.** Индекс CQ, мониторинг когнитивной работоспособности // Тезисы докладов Восьмого международного аэрокосмического конгресса (IAC'2015), 28—31 августа 2015 года. — М.: АИР, 2015. — С. 3.
 18. **Попова А. Ю.** Состояние условий труда и профессиональная заболеваемость в Российской Федерации // Современные проблемы гигиены и медицины труда: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 60-летию образования ФБУН "Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека". — Уфа, 2015. — С. 14—21.
 19. **Халфина Р. Р.** Психофизиологические закономерности утомления и восстановления зрительной системы у пользователей компьютерами: диссертация ... д-ра биол. наук: 19.00.02; [Место защиты: Челяб. гос. пед. ун-т]. — Уфа, 2013. — 263 с.
 20. **ГОСТ Р ИСО 7730—2009.** Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта.
 21. **Черникова Е. Ф.** Влияние сменного характера труда на состояние здоровья работников (обзорная статья) // Гигиена и санитария. — 2015. — № 3. — С. 44—48.
 22. **Вишневская Н. Л., Плахова Л. В., Черный К. А.** Методические подходы к оценке условий и определению напряженности труда операторов высокотехнологичных опасных производств // Здоровье и образование в XXI веке. — 2016. — Т. 18. — № 8. — С. 69—71.
 23. **СанПиН 2.2.4.1294—03** "Гигиенические требования к аэрионному составу воздуха производственных и общественных помещений".
 24. **Дедкова И. Ф., Шаристова О. Г.** Эстетические условия труда как фактор повышения работоспособности персонала // Экономика устойчивого развития. — 2011. — № 6. — С. 27—30.
 25. **ГОСТ 12.2.032—78.** Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
 26. **Об утверждении** методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению: приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 января 2014 г. № 33н // Российская газета. — 2014. — 28 марта, № 71.

L. V. Plakhova, Associate Professor, **N. L. Vishnevskaya**, Professor,
K. A. Chernyi, Head of Chair, e-mail: chernyy_k@mail.ru, Perm National Research Polytechnic University

Influence of Workplace Factors on the Working Capacity of Operators

Modern working conditions are characterized by high demands on the professional and personal qualities of the employee, the intensity of the work process, the increase in mental and psychoemotional loads, a large number of incoming and processed information. At the same time, to date, the issues of the dynamics of working capacity and the "physiological price" of human activity under intense mental work are not solved in the conditions of the action of a complex of factors of "low intensity" of physical, ergonomic, aesthetic nature, with a working shift of up to 12 hours. The paper presents studies on the impact of working conditions on the performance of operators and reducing fatigue. The factors of the production environment determining the formation of response physiological reactions of the organism of the working people are determined, as well as the dynamics of physiological reactions: the development of fatigue and working capacity of personnel, the speed of sensorimotor reactions of the organism, stability of attention and erroneous actions. What further determined the need to develop methods



of correction and increase intra-shift capacity and error-free operation of operators. For example, the normalization of the air ionic composition of the air.

Keywords: working capacity, error-free, working environment, low-intensity factors, working conditions, labor process tension

References

1. **Gimranova G. G., Bakirov A. B., Karimova L. K.** Kompleksnaya ocenka uslovij truda i sostojaniya zdorov'ja neftjanikov. *Medicina truda i promyshlennaja jekologija*. 2009. No. 8. P. 1–5.
2. **Dudarev A. A., Sorokin G. A.** Aktual'nye problemy gigieny truda i professional'noj patologii ofisnyh rabotnikov. *Medicina truda i promyshlennaja jekologija*. 2012. No. 4. P. 1–8.
3. **Konceptual'nye** podhody k ocenke funkcional'nogo sostojaniya specialistov v processe ih professional'noj dejatel'nosti / N. B. Maslov, I. A. Bloshhinskij, E. A. Galushkina, D. Ju. Rogovanov. *Jekologija cheloveka*. 2012. No. 4. P. 16–24.
4. **Ushakov I. B., Bogomolov A. V., Kukushkin Ju. A.** Metodologicheskie aspekty dinamicheskogo kontrolja funkcional'nyh sostojanij operatorov opasnyh professij. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah*. 2010. No. 4. Ch. 2. P. 6–12.
5. **Kotik M. A.** Samoreguljacija i nadezhnost' cheloveka-operatora. Tallin: Valgus, 2004. 167 p.
6. **Lomov B. F.** Dejatel'nost' operatora v sisteme "chelovekmashina". *Osnovy inzhenernoj psihologii* / Pod red. B. F. Lomova. Moscow: Vysshaja shkola, 2005. 169–196 p.
7. **Rasprostranennost'** osnovnyh neinfekcionnyh, proizvodstvenno-obuslovlennyh zaboлевanij u rabotnikov nefteдобывающей отрасли / G. G. Gimranova, A. B. Bakirov, Je. R. Shajhislamova, L. K. Karimova, A. D. Volgareva, M. P. Obuhova, N. A. Bejgul. *Medicina truda i jekologija cheloveka*. 2016. No. 1. P. 5–15.
8. **ANSI/ASHRAE Standard 55–2010.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 and 55–1992). Atlanta, GA: ASHRAE. 2010.
9. **Rol' fiziologii truda** v sohranении работоспособности i zdorov'ja u rabotnikov razlichnyh vidov trudovoj deyatel'nosti dostizheniya i perspektivy razvitiya / V. V. Matyuhin, I. V. Buhtiyarov, O. I. Yushkova, Je. F. Shardakova, E. G. Yampol'skaya, V. V. Elizarova, A. S. Poroshenko, A. V. Kapustina, S. A. Kalinina, M. Yu. Rubcov, H. T. Oniani, G. N. Lagutina, A. G. Merkulova. *Medicina truda i promyshlennaya jekologija*. — 2013. — No. 6. — P. 19–24.
10. **Bakieva R. R.** Znachenie blagopriyatnyh uslovij truda na rabotosposobnost' personala organizacii. *Dostizheniya i perspektivy ekonomicheskikh nauk: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ufa: Nauchnyj centr "Aetherna", 2014. P. 14–16.
11. **Gur'yanova N. O., Maksimov S. A.** Vliyanie prodolzhitel'nosti rabochej smeny na izmenenie urovnej vozdejstviya proizvodstvennyh faktorov i sostoyanie zdorov'ja rabotayushchih. *Medicina v Kuzbasse*. 2007. No. 2. P. 19–23.
12. **GOST 12.0.003–2015** Sistema standartov bezopasnosti truda. Opasnye i vrednye proizvodstvennye faktory. Klassifikaciya.
13. **L'vov V. M., Gutjanskij G. S.** Osnovnye polozheniya sistemy podderzhki i vosstanovleniya rabotosposobnosti operatorov. *Cheloveko-mashinnye sistemy*. 2010. No. 2. P. 3–6.
14. **Kapcov V. A., Ivanov V. K.** Fiziologo-gigienicheskie aspekty uluchsheniya vidimosti cvetovyh sochetanij na ehkrane komp'yutera. *Bezopasnost' i ohrana truda*. 2011. № 2. P. 64–66.
15. **Karpinskij A. E., Polyakov P. M., Ableev A. Yu.** Vosstanovlenie fizicheskikh kondicij cheloveka-operatora, rabotayushchego v usloviyah gipodinamii. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA*. 2015. No. 218. P. 107–110.
16. **Uroven' zdorov'ya** zdorovyh rabotnikov v neftyanoj i himicheskoj otraslyah promyshlennosti / L. M. Karamova, G. R. Basharova, Eh. T. Valeeva, R. R. Galimova, N. V. Vlasyova, N. R. Gazizova. *Medicina truda i ehkologiya cheloveka*. 2015. No. 4. P. 270–275.
17. **Gorodeckij I. G., Trofimov E. A.** Indeks CQ, monitoring kognitivnoj rabotosposobnosti // Tezisy dokladov Vos'mogo mezhdunarodnogo aehrokosmicheskogo kongressa (IAC'2015), 28–31 avgusta 2015 goda. Moscow: AIR, 2015. P. 3.
18. **Popova A. Yu.** Sostoyanie uslovij truda i professional'naya zaboлеваemost' v Rossijskoj Federacii. *Sovremennye problemy gigieny i mediciny truda: Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennaya 60-letiyu obrazovaniya FBUN "Ufimskij NII mediciny truda i ehkologii cheloveka*. Ufa, 2015. P. 14–21.
19. **Halfina R. R.** Psihofiziologicheskie zakonomernosti utomleniya i vosstanovleniya zritel'noj sistemy u pol'zovatelej komp'yuterami: dissertaciya... doktora biologicheskikh nauk: 19.00.02; [Mesto zashchity: Chelyabinskij gosudarstvennyj pedfgigicheskij universitet]. Ufa, 2013. 263 p.
20. **GOST R ISO 7730–2009** Ehrgonomika termal'noj sredy. Analiticheskoe opredelenie i interpretaciya komfortnosti teplovogo rezhima s ispol'zovaniem rascheta pokazatelej PMV i PPD i kriteriev lokal'nogo teplovogo komforta.
21. **Chernikova E. F.** Vliyanie smennogo haraktera truda na sostoyanie zdorov'ya rabotnikov (obzornaya stat'ya). *Gigiena i sanitariya*. 2015. No. 3. P. 44–48.
22. **Vishnevskaya N. L., Plahova L. V., Chernyj K. A.** Metodicheskie podhody k ocenke uslovij i opredeleniyu napryazhennosti truda operatorov vysokotekhnologichnyh opasnyh proizvodstv. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke*. 2016. Vol. 18. No. 8. P. 69–71.
23. **SanPiN 2.2.4.1294–03** "Gigienicheskie trebovaniya k aehroionnomu sostavu vozduha proizvodstvennyh i obshchestvennyh pomeshchenij".
24. **Dedkova I. F., Sharistova O. G.** EHsteticheskie usloviya truda kak faktor povysheniya rabotosposobnosti personala. *Ekonomika ustojchivogo razvitiya*. 2011. No. 6. P. 27–30.
25. **GOST 12.2.032–78.** Sistema standartov bezopasnosti truda. Rabochee mesto pri vypolnenii rabot sidya. Obshchie ehrgonomicheskie trebovaniya.
26. **Ob utverzhdenii** metodiki provedeniya special'noj ocenki uslovij truda, klassifikatora vrednyh i (ili) opasnyh proizvodstvennyh faktorov, formy otcheta o provedenii special'noj ocenki uslovij truda i instrukcii po ee zapolneniyu: Prikaz Ministerstva truda i social'noj zashchity RF ot 24 yanvarya 2014 g. No. 33n. *Rossiiskaya gazeta*. 2014. 28 marta, No. 71.

УДК 519.856

В. В. Федосов, канд. техн. наук, Москва, vlr.fdsv@gmail.com,
А. В. Федосова, канд. физ.-мат. наук, доц., Национальный университет
Колумбии, Богота

Алгоритм оптимизации трансграничных загрязнений от выбросов источников в промышленных зонах

Построена компактная модель для оценки масштабов трансграничного переноса загрязнений от выбросов множества источников, расположенных в ограниченной промзоне. Выбросы описаны функциями параболического типа. Безразмерным параметром оптимизации выбрано доленое понижение вертикали параболической функции, определяющей мощности (объемы параболоидов) выбросов источников. Для оптимизации применена процедура Нелдера—Мида. Численным экспериментом показано устойчивое понижение интеграла трансграничных переносов промзоны в широком диапазоне изменения параметров оптимизации, что соответствует унимодальному типу функции оптимизации. Программирование выполнено в MATLAB.

На всех итерациях алгоритма, помимо расчетных результатов, выведены 2D-графика наложения трансграничных выбросов источников промзоны и 3D-графика изменения выбросов загрязнений в самой промзоне.

Ключевые слова: промышленные зоны, источники выбросов, трансграничные загрязнения, дискретность сетки, интеграл функции загрязнения, параметры оптимизации, алгоритм Нелдера—Мида, графика результатов итераций.

Введение

Промзоны остаются компонентами инфраструктуры многих поселений — от небольших до мегаполисов. Для контроля и управления выбросами загрязнений промзону удобно рассматривать в качестве единого объекта. Однако такое упрощение приводит к усредненным оценкам, низкой эффективности попыток оптимизации и недостаточной точности построения карт загрязнений от работы промзон.

В состав промзон часто входит множество стационарных источников выбросов загрязнений, которые имеют разные мощности, координаты размещения и дальности разброса загрязнений [1]. Общие выбросы промзоны образует наложение локальных выбросов источников, а функция общего загрязнения промзоны становится унимодальной или многоэкстремальной, причем локальные максимумы последней уже не обязательно совпадают с координатами размещения источников.

В основе науки о рассеивании лежат модели Эйлера, Лагранжа, Гаусса и др. [2—5]. Для выяснения 3D-распространения трансграничных загрязнений используют супермодели, требующие многопроцессорных вычислительных средств и параллельных вычислений, однако не менее

дефицитными остаются эмпирические модели для экспресс-оценок выбросов более доступными средствами. Независимо от сложности практические модели распространения загрязнений ведут к интегральным оценкам.

Часть выбросов всех либо некоторых источников может покидать пределы промзоны и захватывать прилегающие территории [5]. Последствия трансграничных загрязнений обычно нежелательны, так как требования безопасности за пределами промзон не ясны либо могут быть достаточно жесткими. Площади поражения от трансграничных переносов могут быть как незначительными, так икратно превалировать над размерами самой промзоны. В работах [2, 5] классифицированы распространения загрязнений по дальности: макро (>1000 км), мезо (от 1 до 1000 км), микро (<1 км) и по времени: локальные (мин), региональные (ч), континентальные (дни), глобальные (недели).

Антропогенную деятельность промзон обычно оценивают по экологическому состоянию либо по площади трансграничных зон. Нарушения нормативов загрязнений в трансграничных зонах приводят к конфликтам, необходимости затрат на их погашение, включая полный вывод промзон. Такие решения принимают с учетом анализа текущей обстановки, прогноза ближайших и



отдаленных последствий либо смены приоритетов развития территорий. Качество решений во многом определяется выбором критериев и составом переменных системы, адекватностью моделирования разбросов и эффективностью методов оптимизации.

Средствами оптимизации (ограничения) трансграничных загрязнений могут быть многие параметры, среди которых представляют интерес избыточные мощности выбросов и координаты размещения источников в промзоне. Последний параметр не меняет мощности источников (сохраняет исходный рабочий потенциал промзоны), однако на практике сложно реализуем. Кроме того, ему свойственна недостаточная чувствительность площади трансграничного поражения от ограниченной размерами промзоны передвижки источников выбросов. Более перспективной в качестве параметра оптимизации остается мощность выбросов источников. Предполагаемое ограничение мощностей экономически затратно, однако имеет эквивалентную замену на фильтрующие, улавливающие средства и технологии. Выбор между ограничением выбросов и защитой среды вокруг промзоны определяют приоритеты развития территории.

Математические модели, которые прогнозируют распространение загрязнений для 2D—3D-областей уже на стадии проектирования и строительства, определяют суммарный ущерб экологии, вклады источников выбросов и затраты на природоохранную деятельность, отмечены как важнейшие [1, 5].

В работе предложен критерий оценки трансграничных переносов загрязнений и выбран алгоритм его понижения за счет ограничения выбросов промзоны. Результаты оптимизации в рамках представленной модели устанавливают возможность и пределы улучшения экологической обстановки в прилегающих к промзонам областям. Рассмотренная система содержит ограниченное количество параметров; вид и количественные оценки выбросов загрязнений являются условными.

Программирование, расчеты и вывод графики вели в *MATLAB*.

Постановка задачи и алгоритм решения

Задача оптимизации возникает, когда размещение источников выбросов ограничено промзоной, размеры площади трансграничного поражения в сравнении с промзоной значительны или велика доля загрязнений выбросов за пределами промзоны. Сложности также добавляет потенциально большое число источников промзоны с неодинаковыми параметрами выбросов. Такая ситуация на практике считается распространенной.

Масштабы трансграничных загрязнений промзоны во многом зависят от координат размещения источников [1, 5]. Наиболее критично приграничное и, особенно, угловое расположение источников.

Первоначальный план размещения источников загрязнений в промзоне выбирают по разным соображениям, например, таким как выравнивание антропогенной нагрузки в промзоне; технологическое взаимодействие между источниками; соблюдение строительных нормативов, требований безопасности или оптимизация финансов.

Также масштабы трансграничных загрязнений зависят от собственных размеров промзоны, с которыми необходимо определиться до оптимизации, хотя, если окружающая инфраструктура сформирована, они уже известны. Теоретически возможное множество источников не ограничено, но на практике наличие десятков источников в промзоне вполне реально. Алгоритм должен обеспечить управление трендом параметров оптимизации, который понижает трансграничные переносы. При этом параметры также меняют карту загрязнений самой промзоны.

Уменьшить трансграничный перенос можно, выбрав для реформирования источники с наибольшей мощностью или визуально невыгодным расположением. Однако такой метод не учитывает особенности общей функции загрязнения, вкладов выбросов локальных источников и, как результат, не дифференцирует масштабы и очередность таких сокращений. Случайные сокращения не дают непрерывной ленты результатов, затрудняют анализ и выбор наилучших вариантов при проектировании.

Если выбросы некоторых источников остаются в пределах промзоны, то их мощности не требуют оптимизации, а напротив, могут быть даже увеличены.

Выбросы источников моделировали простыми параболическими функциями. Эти функции компактны, быстро обрабатываются в матричных вычислениях, все их параметры имеют ясную трактовку, понятно реагируют на выбор расчетной сетки области, при использовании в качестве базовых допускают усложнения. Адекватность такой модели разброса достаточно условна, но при разработке алгоритмов оптимизации вполне допустима. Параболические функции в дальнейшем могут быть заменены на более адекватные модели с усложненной спецификой.

Если исходить из одинаковой вероятности направлений смещений (например, ветровых) факела разброса источника за достаточно большой период времени, то адекватность параболического разброса загрязнений может оказаться значительно выше предполагаемой. Поэтому параболическую модель можно рассматривать в качестве

эквивалента более сложным моделям по интегральным результатам.

Реальное моделирование выбросов представляет самостоятельную сложную проблему, которая находится на стыке разных дисциплин и, помимо расчетов, может использовать данные мониторинга или прогноза.

В работе промзону ограничили прямоугольной областью размерами \mathbf{d} (вектор) с единичной сеткой. В промзоне разместили N источников выбросов загрязнений с разной мощностью W (объемы параболоидов). Параметры выбросов источников в параболической функции: вертикаль в точке выброса \mathbf{H} (вектор), координаты размещения \mathbf{tN} (матрица) и коэффициенты параболы выброса загрязнений \mathbf{a} (вектор). Тогда общая мощность выбросов загрязнений в пределах промзоны W_d (численный интеграл общей функции) учитывает координаты размещения источников:

$$W_d = \sum_{s=1}^{d_1 d_2} \sum_{j=1}^N (-\mathbf{a}_j \mathbf{R}_{s,j}^2 + \mathbf{H}_j), \quad (1)$$

где $s[X, Y]$ — точки при фиксированной дискретности сетки промзоны; $\mathbf{R}_{s,j}$ — матрица удалений N источников от точек промзоны $d_1 d_2$

$$\mathbf{R}_{s,j} = \sqrt{(\mathbf{tN}_{1,j} - X_s)^2 + (\mathbf{tN}_{2,j} - Y_s)^2}. \quad (2)$$

Источник j считают активным для точки s промзоны или трансграничной области, если для предельного выброса загрязнения источником выполняется неравенство $\mathbf{R}_{s,j} < \mathbf{Rmax}_j = \sqrt{\mathbf{H}_j / \mathbf{a}_j}$.

С другой стороны, аналитическое значение интеграла общей функции выбросов загрязнений W не зависит от координат размещения источников и определяется суммой объемов параболоидов выброса:

$$W = \pi \sum_{j=1}^N \mathbf{H}_j^2 / 2\mathbf{a}_j. \quad (3)$$

Параметром оптимизации принят вектор \mathbf{U} избирательного понижения мощностей источников выбросов \mathbf{H} промзоны в зависимости от их активности в трансграничном переносе загрязнений ($0 \leq \mathbf{U} \leq 1$).

Критерий оптимизации — общая мощность (интеграл) трансграничного переноса загрязнений $\text{Tr}(\mathbf{U})$ промзоны. Представили ее в виде:

$$\text{Tr}(\mathbf{U}) \rightarrow \min_{\mathbf{u} \rightarrow 1} \left(\pi \sum_{j=1}^N ((1 - U_j) \mathbf{H}_j)^2 / 2\mathbf{a}_j - \sum_{s=1}^{d_1 d_2} \sum_{j=1}^N (-\mathbf{a}_j \mathbf{R}_{s,j}^2 + (1 - U_j) \mathbf{H}_j) \right). \quad (4)$$

При выборе алгоритма оптимизации предположили унимодальный тип функции $\text{Tr}(\mathbf{U})$, что далее подтвердилось в численном эксперименте.

Среди не градиентных алгоритмов прямого действия известна процедура Нелдера—Мида [6]. Она ограничена унимодальной оптимизацией, но обеспечивает достаточно быстрое продвижение симплекса (многогранника с $N + 1$ числом вершин) в пространстве варьируемых параметров. Точность обнаружения лучших значений критерия оптимизации может быть повышена за счет изменяемых шагов смещений. Направления движений симплекса определяют не абсолютные значения критерия на итерации, а вывод из симплекса вершины с наихудшим значением на предыдущей итерации. Алгоритм процедуры сохраняет работоспособность в случае дрейфа (шума) при определении критерия, однако его применимость ограничена только задачами локальной оптимизации. Этот алгоритм, помимо однопараметрической, пригоден и для многопараметрической оптимизации [7]. Процедура включена в ряд мощных систем программирования.

Алгоритм должен выявить тренд понижения трансграничных загрязнений от исходного значения $\text{Tr}(\mathbf{U} \in 0)$.

Обработка данных на итерациях в процедуре Нелдера—Мида несложна [8].

Координаты источников в стартовом симплексе алгоритма:

$$\mathbf{u}_{k,j}^* = \mathbf{u}_{k,j}^0 + \Delta_j \mathbf{M}_{k,j}, \quad (5)$$

где \mathbf{M} — матрица коэффициентов смещений параметра симплекса; Δ — вектор шагов смещения параметра; $\mathbf{u}_{k,j}^0$ — координаты старта; k — номер строки матрицы симплекса в интервале $k = [1, N + 1]$; j — номер столбца матрицы симплекса в интервале $j = [1, N]$.

Координаты новой (отраженной) вершины симплекса:

$$\mathbf{u}_j^{**} = \frac{2}{N} \left(\sum_{k=1}^{N+1} \mathbf{u}_{k,j}^* - \max(\mathbf{u}_{k,j}^*) \right) - \max(\mathbf{u}_{k,j}^*), \quad (6)$$

где $\max(\mathbf{u}_{k,j}^*)$ — значения параметра в самой неудачной вершине предыдущего симплекса.

Последовательность отраженных вершин определяет движение симплекса, включая повороты, к более оптимальной связке "критерий — параметры".

В такой постановке задачи алгоритм не требует вычисления на итерациях площадей зон трансграничных загрязнений, а оперирует доступными оценками общего интеграла выбросов и интеграла загрязнений в границах промзоны, что является существенным упрощением.

Оптимизация приводит к дифференцированному управлению избыточными для выбранного критерия мощностями выбросов источников в промзонах.



Численный эксперимент, результаты и графика

Выделена прямоугольная промзона с размерами $d = [1600, 800]$. В промзоне размещены $N = 24$ источника выбросов, у которых генерировали случайный набор параметров (табл. 1).

В качестве старта выбран вектор параметра оптимизации $U = [0]$ при общем шаге смещения $\Delta = 0,3$. Стартовый и последующие симплексы алгоритма анализируют $N + 1 = 25$ откликов и $(N + 1)N = 600$ значений параметра общей функции загрязнения.

Как видно из табл. 1, наиболее мощными являются локальные выбросы источника 1 ($H(1) = 5765$, $Rmax(1) = 1641$), источника 5 ($H(5) = 6319$, $Rmax(5) = 908$) и источника 9 ($H(9) = 6948$, $Rmax(9) = 1036$). Напротив, минимальными по мощности выбросов следует считать источники: 6 ($H(6) = 459$, $Rmax(6) = 182$), 8 ($H(8) = 1410$, $Rmax(8) = 200$), 15 ($H(15) = 553$, $Rmax(15) = 176$) и 16 ($H(16) = 751$, $Rmax(16) = 379$).

На рис. 1 (см. 2-ю стр. обложки) показано наложение зон разброса загрязнений источниками. Габариты промзоны выделены прямоугольником. Видно позиционирование зон разброса мощных источников 1, 5 и 9, выбросы которых не только накрывают промзону, но также чрезвычайно

активны в образовании трансграничных загрязнений. Маломощные выбросы источников 8 и 16 не имеют трансграничных сбросов, а источники 6 и 15 участвуют в них лишь частично. Роль остальных источников в трансграничном переносе, особенно в режиме наложения, недостаточно ясна. В таких условиях сложно делать продуманные шаги по дозированному реформированию мощностей источников выбросов.

Из-за разного расположения и неодинаковой активности источников выбросы охватывают разные стороны промзоны. Например, источник 1 — сразу все стороны; источники 5, 9 — три; 14, 24 — две; 8 — ни одной из сторон. Визуально превышения площадей трансграничных переносов над площадью самой промзоны кратно.

На рис. 2 (см. 2-ю стр. обложки) показана общая функция загрязнения в координатах промзоны. Она имеет три выраженных почти равнозначных возвышения. Судя по граничным обрезами, общие трансграничные сбросы имеют место по всем сторонам промзоны, предположительно наибольшие на юге (источники 5, 23, 17, 9, 10, 12, 13, 21 и др.).

В табл. 2 представлен протокол прохождения оптимизации в объеме 253 итераций. Отмечены устойчивое понижение критерия оптимизации, которое характеризует функцию оптимизации как

Таблица 1

Начальные параметры источников выбросов промзоны

Источник	U	H	$tN_{(1)}$	$tN_{(2)}$	a	$Rmax$
1	0	5765	535	660	0,0021	1641
2	0	4203	440	582	0,0206	451
3	0	1513	238	730	0,0319	218
4	0	1902	46	453	0,0244	279
5	0	6319	95	556	0,0077	908
6	0	459	457	721	0,0139	182
7	0	3610	33	560	0,0171	459
8	0	1410	1316	208	0,0354	200
9	0	6948	1394	314	0,0065	1036
10	0	5131	1175	216	0,0309	407
11	0	3682	1009	492	0,0236	395
12	0	3481	1100	53	0,0142	496
13	0	670	1223	99	0,0077	295
14	0	4922	1294	170	0,0160	555
15	0	553	1571	460	0,0179	176
16	0	751	1032	369	0,0052	379
17	0	3826	431	338	0,0216	421
18	0	924	877	754	0,0089	322
19	0	5852	668	786	0,0145	636
20	0	5848	482	561	0,0214	523
21	0	5198	1066	431	0,0098	728
22	0	1287	1117	533	0,0112	340
23	0	4769	285	102	0,0226	459
24	0	3806	1599	137	0,0103	608

уни-modalную, и пригодность выбора прямого алгоритма оптимизации. Локальные возвышения ("ступеньки") в ходе оптимизации показывают подстройку симплекса под нелинейную кривизну функции, что соответствует идеологии алгоритма.

Проблема точности обнаружения минимума функции оптимизации, например, варьированием сетки области или корректировкой шага здесь не рассматривалась. Представляет дальнейший интерес выяснение сходимости при появлении более сложных, в том числе негладких или с разрывами, общих функций наложения выбросов.

В табл. 3 представлены результаты оптимизации на итерациях 115 и 253.

Из сопоставления данных табл. 1 и 3 следует, что алгоритм понижает в первую очередь

источники выбросов, которые играют наиболее активную роль в трансграничном переносе загрязнений. На итерации 253 параметры источников 1, 5 и 9, бывших лидерами мощностей, уже переходят в массовый список источников и даже теряются в нем. Судя по последнему столбцу для **Rmax**, весь массив радиусов разбросов источников практически выровнен, что также подтверждает эффективность проведенной оптимизации.

Не подверглись реформированию при оптимизации источники 4, 6 и 8, что следовало из их расположения и небольшой мощности (табл. 1).

На рис. 3 и 4 (см. 3-ю стр. обложки) показана графика трансграничного загрязнения вокруг промзоны и загрязнения внутри промзоны на

Таблица 2

Протокол изменения критерия оптимизации (4) на итерациях

Итерации	0	1	11	21	31	41	51	61	71	81
$Tr(U) \times e - 6$	38 064	33 211	34 187	30612	28 801	26 420	24 422	22 653	20 679	19 340
Итерации	<i>91</i>	<i>101</i>	<i>111</i>	115	<i>121</i>	<i>131</i>	<i>141</i>	<i>151</i>	<i>161</i>	<i>171</i>
$Tr(U) \times e - 6$	17 690	16 776	15 172	14 860	13 975	13 055	11 973	11 891	10 248	9485
Итерации	<i>181</i>	<i>191</i>	<i>201</i>	<i>211</i>	<i>221</i>	<i>231</i>	<i>241</i>	<i>251</i>	253	
$Tr(U) \times e - 6$	8946	8231	8162	7141	6697	6361	5741	5769	5497	

Таблица 3

Оптимальные параметры источников выбросов промзоны

Источники	Итерация 115			Итерация 253		
	<i>U</i>	$(1 - U)H$	<i>Rmax</i>	<i>U</i>	$(1 - U)H$	<i>Rmax</i>
1	0,5653	2506	1082	0,9667	192	300
2	0	4203	451	0	4203	451
3	0	1513	218	0,0054	1505	217
4	0	1902	279	0	1902	279
5	0,2198	4930	802	0,6593	2153	530
6	0	459	182	0	459	182
7	0	3610	459	0,0838	3308	439
8	0	1410	200	0	1410	200
9	0,3277	4671	849	0,7525	1720	515
10	0,0338	4957	400	0,0600	4823	395
11	0	3682	395	0,0677	3433	382
12	0,0674	3246	479	0,1061	3112	469
13	0	670	295	0,0190	657	292
14	0,0617	4618	537	0,1579	4145	509
15	0,0269	538	174	0,1148	489	166
16	0,1434	643	351	0,0624	704	367
17	0,0265	3725	415	0,0107	3785	418
18	0,0091	916	320	0	924	322
19	0,0677	5456	614	0,2858	4179	538
20	0,0426	5599	511	0,0829	5363	501
21	0,1060	4647	688	0,2631	3831	625
22	0,0267	1253	335	0,0205	1261	336
23	0,0477	4541	448	0,0899	4340	438
24	0,0801	3501	583	0,2041	3029	543



итерации 115. Площади трансграничных загрязнений и их интегральная оценка уменьшились заметно.

Продвинутость итерации 115 очевидна. Наиболее значительными признаны избыточные выбросы источников: $U(1) = 0,5653$, $U(5) = 0,2198$, $U(16) = 0,1434$, $U(21) = 0,1060$.

Восемь источников сохранили свои мощности $U(2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 13) = 0$, реформирование остальных — незначительное (в пределах 10 %). Это привело не только к заметному сокращению площади трансграничного поражения, но также к существенному понижению его мощности ($Tr(U) = 14\ 860$).

На рис. 5 и 6 (см. 4-ю стр. обложки) показана графика трансграничного загрязнения вокруг промзоны и внутри промзоны на итерации 253.

Площади трансграничных загрязнений и их интегральная оценка уменьшились кратно.

Подобный вывод результатов и графики обеспечен на любой итерации.

Продолжение оптимизации безусловно возможно (до $Tr(U) = 0$), но надо быть готовым к кардинальным сокращениям выбросов возможно подавляющего числа источников (включая их ликвидацию), что может понизить работоспособность промзоны до неприемлемой.

Как следует из модели, работа алгоритма в первую очередь сосредоточена на понижении сетки круговых разбросов именно вокруг промзоны (см. рис. 1, 3, 5). При этом визуально сетка разбросов внутри промзоны почти сохранена. Это подтверждают рис. 2, 4, 6, которые сохраняют форму функции $Tr(U)$, но заметно сильное "проседание" интегральных характеристик функции.

В табл. 4 показаны сводные результаты оптимизации, достигнутые на выделенных итерациях.

Обращает внимание несоответствие почти семикратного снижения значений трансграничных переносов в диапазоне итераций 0...253 только двукратному понижению долевой оценки 0,54...0,27. Объяснение следует из формулы (1): на итерациях идет одновременное понижение левого и правого членов разности, в результате чего долевая оценка является более инерционной.

Предложенная методика решает задачу монопараметрической оптимизации, причем таким параметром является безразмерный вектор U . Кроме него, в системе присутствует семь условно постоянных параметров с разнонаправленным действием (размеры промзоны $d_1\uparrow$, $d_2\uparrow$, дискретность сетки, размер вертикали параболоидов $H\downarrow$, координаты источников $tN_1\uparrow\downarrow$, $tN_2\uparrow\downarrow$, коэффициент разброса $a\uparrow$). Стрелки указывают направление действия параметра для понижения $Tr(U)$. Возможны иные монопараметрические постановки задач, в которых вектор U будет связан с любым другим (кроме дискретности) параметром. Также

Таблица 4

Сводные результаты оптимизации

Выбросы $\times e - 6$	Итерация 0	Итерация 115	Итерация 253
Общие	69 322	37 208	19 967
В промзоне	31 258	22 476	14 512
Трансграничные	38 064	14 732	5455
Относительная доля	0,5491	0,3959	0,2732

допустима многопараметрическая оптимизация, при которой симплекс строится на шаговых смещениях сразу всех параметров системы, причем уже без участия U . Естественно, сложность трактовки результатов оптимизации из-за эффектов совместных влияний параметров будет возрастать.

Общую функцию трансграничных переносов определили наложения правильных параболоидов. При необходимости параболоиды могут быть заменены неправильными объемными объектами, полученными не только расчетом, но также с помощью нейросетей, данных мониторинга или прогноза.

Предложенный критерий оптимизации $Tr(U)$ не зависит от вида или сложности генерируемой функции выбросов промзоны, что позволяет вести оптимизацию при множестве источников и любой геометрии пересечения их локальных выбросов. Условнения допускают несимметричную конфигурацию локальных выбросов источников (например, от ветровых смещений), а поскольку $Tr(U)$ является функционалом, то также в динамике. Правда, возможность расчета полного выброса каждого локального источника должна быть сохранена.

Возможности алгоритма допускают расширение списка параметров оптимизации системы или смену критериев оптимизации (площадь трансграничной области, нарушения нормативов загрязнения и др.).

Представленный алгоритм позволяет достаточно простыми средствами получить быстрые оценки антропогенной деятельности промзон, пригоден при разработке нормативной документации и перспективен для усложненного моделирования выбросов загрязнений промышленных источников.

Заключение

Оптимизация трансграничных загрязнений промзоны выполнена в компактной системе в составе семи условно постоянных и одного переменного параметра по критерию интегральной мощности выбросов источников промзоны.

При оптимизации модель не требует вычислений площади трансграничных загрязнений, а определяет интеграл трансграничных загрязнений только по контролируемым выбросам в границах самой промзоны.

При помощи алгоритма унимодальной оптимизации достигнуто устойчивое понижение общей мощности трансграничного переноса загрязнений от промзоны, в которой размещена группа источников выбросов.

Логика действия всех учетных параметров модели полностью объяснима и может быть применена при проектировании или реформировании промзон.

Возможно расширение интерпретации результатов оптимизации за счет ввода производных технико-экономических показателей.

Данный алгоритм осуществляет экспрессную макрооптимизацию масштабов наиболее вредной по последствиям трансграничной части выбросов промышленных зон.

Список литературы

1. **Никифоров А. Н., Бузало Н. С.** Некоторые задачи оптимизации в проблеме загрязнения атмосферы промышленного региона // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2014. — № 5. — С. 66—68.

2. **Бабков В. С., Ткаченко Т. Ю.** Анализ математических моделей распространения примесей от точечных источников // Научные труды ДонНТУ. Серия "Информатика, кибернетика и вычислительная техника". — 2011. — Вып. 13 (185). — С. 147—155.
3. **Ложкина О. В., Попов В. В., Кузнецова А. Д.** Анализ физико-математических моделей атмосферной диффузии применительно к оценкам воздействия автотранспорта на городскую среду // Вестник С-Петербургского гос. университета МЧС РФ. — 2012. — № 1. — С. 59—66.
4. **Белихов А. Б., Леготин Д. Л., Сухов А. К.** Современные компьютерные модели распространения загрязняющих веществ в атмосфере // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. — 2013. — № 1. С. 14—19.
5. **Макоско А. А.** Теоретические основы защиты окружающей среды // Конспект лекций. — М.: МИИТ, 2002. — 88 с.
6. **Nelder J. A., Mead R.** A simplex method for function minimization // The Computer Journal. Oxford: Oxford University Press. — 1965. — Vol. 7. — No. 4. — P. 441—461.
7. **Федосов В. В., Федосова А. В.** Многопараметрическая оптимизация в конфликтных задачах промышленной экологии // Информационные технологии. — 2017. — Т. 23. — № 10. — С. 721—727.
8. **Зедгенидзе И. Г.** Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. — М.: Наука. — 1976. — 390 с.

V. V. Fedosov, e-mail: vlr.fdsv@gmail.com, Moscow, **A. V. Fedosova**, Associate Professor, National University of Colombia, Bogota

Algorithm for Optimization of Transboundary Pollution from Emissions of Sources in Industrial Zones

A compact model has been developed to assess the extent of transboundary pollution transfer from emissions from a variety of sources located in a restricted industrial zone. Emissions described by functions of a parabolic type. A dimensionless parameter of optimization is the fractional decrease in the vertical of the parabolic function, which determines the power (the amount of paraboloid) of the source emissions. For optimization, the Nelder-Mead procedure was used. Numerical experiment shows a stable decrease in the integral of transboundary transfers of the industrial zone in a wide range of changes in the optimization parameters, which corresponds to the unimodal type of the optimization function. The programming is done in MATLAB.

At all iterations of the algorithm, in addition to the calculated results, a 2D graph of the imposition of transboundary emissions from industrial zone sources and a 3D graph of the change in pollutant emissions in the industrial zone itself was derived.

The model can be useful in choosing environmentally acceptable options for projecting or reforming industrial zones.

Keywords: industrial zones, emission sources, transboundary pollution, mesh discreteness, pollution function integral, optimization parameters, Nelder-Mead algorithm, graph of iteration results

References

1. **Nikiforov A. N., Buzalo N. S.** Nekotorye zadachi optimizatsii v probleme zagryaznenija atmosfery promyshlennogo regiona. *Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki.* 2014. No. 5. P. 66—68.
2. **Babkov V. S., Tkachenko T. Ju.** Analiz matematicheskikh modelej rasprostraneniya primesej ot tochechnykh istochnikov. *Nauchnye trudy Don-NTU. Serija "Informatika, kibernetika i vychislitel'naja tehnika".* 2011. Vyp. 13 (185). P. 147—155.
3. **Lozhkina O. V., Popov V. V., Kuznecova A. D.** Analiz fiziko-matematicheskikh modelej atmosfernoj diffuzii primenitel'no k ocenkam vozdejstvija avtotransporta na gorodskuju sredu. *Vestnik Saint-Petersburgskogo gosudarstvennogo universiteta MChS RF.* 2012. No. 1. P. 59—66.

4. **Belihov A. B., Legotin D. L., Suhov A. K.** Sovremennye komp'ju-ternye modeli rasprostraneniya zagryaznjajushhih veshhestv v atmosfere. *Vestnik KGU im. N. A. Nekrasova.* 2013. No. 1. P. 14—19.
5. **Makosko A. A.** Teoreticheskie osnovy zashhity okruzhajushhej sredy. *Konspekt lekcij.* Moscow: MIIT, 2002. 88 p.
6. **Nelder J. A., Mead R.** A simplex method for function minimization. *The Computer Journal. Oxford: Oxford University Press.* 1965. Vol. 7. No. 4. P. 441—461.
7. **Fedosov V. V., Fedosova A. V.** Mnogoparametricheskaja optimizatsija v konfliktnykh zadachah promyshlennoj jekologii. *Informacionnye tehnologii.* 2017. Vol. 23. No. 10. P. 721—727.
8. **Zedgenidze I. G.** Planirovanie jeksperimenta dlja issledovanija mnogokomponentnyh system. Moscow: Nauka. 1976. 390 p.



УДК 543.4/5

Л. Р. Саяпов, магистр, **Г. А. Сивкова**, канд. хим. наук, доц. кафедры,
e-mail: Sivkova_Galina@mail.ru, Бирский филиал Башкирского государственного
университета

Определение фракционного состава нефти отдельных месторождений Ханты-Мансийского автономного округа России

Отмечено, что нефть различных месторождений отличается по составу и физико-химическим показателям, от которых зависят способы дальнейшей ее переработки. Важным показателем качества нефти назван фракционный состав, который определяется при лабораторной термической перегонке. Приведены данные эксперимента по определению фракционного состава нефти трех месторождений Ханты-Мансийского автономного округа России.

Ключевые слова: экологические проблемы, опасные производственные объекты, фракционный состав нефти

При добыче нефти экологические проблемы возникают практически сразу: начинаются они с расчистки мест для установки бурового оборудования, для этого производится вырубка леса или иная зачистка участка от растительности. Одновременно участок, отведенный под работы, засоряется продуктами жизнедеятельности людей, отработанными материалами, грунтом, поднятым на поверхность. К месту бурения прокладываются подъездные пути. Расчищают места для прокладки трубопровода. В итоге природа получает целый комплекс загрязнений. С начала добычи сырья наносимый окружающей среде вред в последующем значительно возрастает, в первую очередь за счет разлива сырой нефти. Это может быть как технологический, так и аварийный вылив. В этом случае почва, наземные и подземные водные источники получают такое загрязнение, для восстановления которого им потребуются долгие годы. Возникающие в результате откачки нефти пустоты приводят к движению грунтов. Происходят провалы почвы ее смещение и эрозия. Следует отметить, что, как правило, месторождения углеводородов находятся в природных зонах с очень хрупкой экосистемой. Экологический баланс в этих местах формировался очень сложно и может быть легко разрушен.

Наибольшие проблемы возникают при транспортировке нефти и технологическом обеспечении соответствующими реагентами при ее добыче. Какой бы вид транспорта для этого ни был задействован, везде происходит вылив нефти. При транспортировке трубопроводом, железнодорожным или автомобильным транспортом вылившаяся нефть попадает на почву или в водоемы, где долгое время остается на поверхности воды.

В результате промышленной переработки нефти производят различные виды товарных продуктов — товарное топливо, сырье для органического синтеза, химической промышленности, материалы строительства и т. п. Все эти производства в большей или меньшей степени экологически небезопасны [1].

Нефть представляет собой сложную смесь различных органических соединений. Причем нефть разных месторождений отличается по составу и физико-химическим показателям, от которых зависят способы дальнейшей ее переработки. Важными показателями качества нефти являются фракционный состав, который определяется при лабораторной термической перегонке, содержание воды, солей и серы, поэтому изучение состава и физико-химических показателей нефти различных месторождений является актуальной задачей.

В нефтедобывающей отрасли объекты добычи нефти — это единые имущественно-технологические комплексы, включающие сооружения, оборудование и технологические установки, которые обеспечивают процесс добычи и сбора, а также подготовки и дальнейшей транспортировки добытой нефти с последующей ее сдачей в магистральный трубопровод.

Эти объекты относятся к опасным производственным объектам (ОПО), которые подразделяются на следующие классы опасности:

- I класс — объекты чрезвычайно высокой опасности;
- II класс — объекты высокой опасности;
- III класс — объекты средней опасности;
- IV класс — объекты низкой опасности.

Эти классы установлены Федеральным законом № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. "О промышленной

безопасности ОПО" и учитывают факторы риска нанесения вреда здоровью человека и экологической безопасности окружающей среды [2].

Для промышленных предприятий, на которых добываются, хранятся, перерабатываются и транспортируются опасные вещества, относящиеся к категории воспламеняющихся, взрывчатых, горючих, высокотоксичных или токсичных веществ, класс опасности устанавливается по такому критерию, как количество опасных веществ, одновременно находящихся на объекте, или количество таких веществ, которое потенциально может находиться на рассматриваемом предприятии.

Целью исследования является определение фракционного состава нефти отдельных месторождений Ханты-Мансийского автономного округа России.

Отбор проб нефти осуществляли в соответствии с ГОСТ 2517—2012 [3]. Методы отбора проб зависят от способа отбора и назначения, бывают точечные, объединенные, контрольные и арбитражные.

Точечная проба отбирается в один прием и характеризует качество нефтепродукта на определенном уровне в резервуаре, цистерне и т. д. или в определенный момент времени при отборе из трубопровода. Объединенная проба составляется из нескольких точечных проб, отобранных в соответствующем порядке и объединенных в указанном соотношении. Контрольная проба используется для выполнения анализа и является частью точечной или объединенной пробы. Арбитражная проба оформляется, хранится в установленном порядке и используется в случае разногласий сторон при оценке качества нефтепродукта и является частью точечной или объединенной пробы. Для выполнения химического эксперимента была отобрана проба нефти точечным методом.

Нефтяные фракции, получаемые при перегонке нефти, являются смесью углеводородов и, в отличие от индивидуального соединения, не имеют определенной температуры кипения. Они характеризуются температурой начала перегонки и конца кипения, фракционным составом. Фракционный состав топлив должен обеспечивать его испаряемость в цилиндрах двигателя, особенно при низких температурах, полноту сгорания.

Фракционный состав нефтепродуктов устанавливают путем или простой перегонки, или перегонки с ректификацией. Для определения фракционного состава тяжелых нефтепродуктов проводят разгонку под вакуумом во избежание разложения.

Методы определения фракционного состава нефтепродуктов устанавливает ГОСТ 2177—99 [4]. В зависимости от условий исследования проводят

двумя методами: 1) для автомобильных бензинов, авиационных бензинов, авиационных топлив для турбореактивных двигателей, растворителей с установленной точкой кипения, нефти, уайт-спирита, керосина, газойлей, дистиллятных жидких топлив и аналогичных нефтепродуктов; 2) для нефти и темных нефтепродуктов.

Фракционный состав является определяющей характеристикой при установлении области применения нефтепродуктов, позволяет оценить качество их испаряемости. Пределы температур кипения гарантируют качество продуктов соответствующими характеристиками испаряемости.

В зависимости от давления насыщенных паров и температуры начала и конца кипения нефтепродукты делят на четыре группы (табл. 1).

Объектами исследования были выбраны пробы из трех нефтяных месторождений, расположенных в Ханты-Мансийском автономном округе России:

1. Ватьёганское месторождение (скважина № 1);
2. Мамонтовское месторождение (скважина № 2);
3. Суторминское месторождение (скважина № 3).

Свойство жидких углеводородов кипеть при различной температуре используется при перегонке нефти, чтобы выделить из нее отдельные фракции при разных фазах кипения. Перегонка нефти на нефтеперерабатывающих предприятиях дает возможность выделять следующие фракции в зависимости от температуры: бензин (выкипает при 180 °С и ниже), реактивное топливо (выкипает при 180...240 °С) и дизтопливо (выкипает при 240...350 °С). От перегонки нефти остается мазут.

Для перегонки нефти в лаборатории было взято 100 см³ испытуемого образца при условиях, соответствующих природе продукта (см. табл. 1), и проведении постоянных наблюдений за показаниями термометра и объемами конденсата. Результаты исследований трех образцов нефти показаны в табл. 2, 3, 4.

На основании полученных экспериментальных данных выявлено, что наибольший выход фракций — 73 % ($T_{\text{нач.кип}} = 61 \text{ °С} - T_{\text{конц.кип}} = 352 \text{ °С}$) наблюдается в пробе нефти скважины № 1. Наименьший выход фракции — 61 % ($T_{\text{нач.кип}} = 55,3 \text{ °С} - T_{\text{конц.кип}} = 368,9 \text{ °С}$) при перегонке нефти скважины № 3. Топливо для двигателей должно обладать небольшим диапазоном фракций. Высококачественным считается топливо, содержащее максимум фракций, перегоняющихся в пределах от 250 до 350 °С. Наличие легко кипящих фракций в топливе улучшает пусковые качества двигателя, но увеличивает жесткость



Таблица 1

Условия испытаний

Наименование показателя	Значения для группы нефтепродуктов			
	1	2	3	4
1. Характеристика образца				
1.1. Давление насыщенных паров при 37,8 °С, кПа (мм рт. ст.) (ГОСТ 1756—2000)	≥65,5		<65,5 <488	
1.2. Перегонка, °С:				
температура начала кипения	—	100	>100	
температура конца кипения	250		>250	
2. Подготовка аппаратуры				
2.1. Термометр для перегонки	Низкотемпературный термометр		Высокотемпературный термометр	
2.2. Диаметр отверстия прокладки колбы, мм	37,5 или 50		50	
2.3. Температура в начале испытания, °С:				
колбы и термометры	13...18		< температуры окружающей среды	
прокладки для колбы и кожуха	Температура окружающей среды		—	
мерного цилиндра со 100 см ³ пробы	13...18		От 13 до температуры окружающей среды	
2.4. Вместимость колбы, см ³	125			
3. Условия проведения испытания				
3.1. Температура охлаждающей жидкости в холодильнике, °С	0...1	0...4	0...60	
3.2. Температура среды, окружающей мерный цилиндр, °С	13...18		В пределах ±3 °С от температуры загруженного продукта	
3.3. Время от момента нагревания до начала кипения, мин	5...10		5...15	
3.4. Время от начала кипения до получения 5 % отгона, с	60...75		—	
3.5. Постоянная средняя скорость перегонки 5 % отгона до получения 95 см ³ отгона, см ³ /мин			4...5	
3.6. Время перегонки от 95 см ³ отгона до конца кипения, мин	3...5 или 2...5		<5	

Таблица 2

Фракционный состав нефти скважины № 1

Температура начала кипения нефти 61 °С					
До температуры, °С	Выход фракций, %	До температуры, °С	Выход фракций, %	До температуры, °С	Выход фракций, %
70	3,0	160	15,0	250	29,0
80	4,0	170	16,0	260	32,0
90	5,0	180	17,0	270	33,0
100	6,0	190	19,0	280	36,0
110	7,0	200	21,0	290	39,0
120	8,0	210	25,0	300	45,0
130	10,0	220	26,0	310	46,0
140	12,0	230	27,0	320	52,0
150	13,0	240	28,0	330	58,0
Температура окончания кипения нефти 352 °С					
Выход фракций (от 61 до 352 °С) 73,0 %					



Таблица 3

Фракционный состав нефти скважины № 2

Температура начала кипения нефти 53 °С					
До температуры, °С	Выход фракций, %	До температуры, °С	Выход фракций, %	До температуры, °С	Выход фракций, %
70	2,0	160	19,0	250	37,0
80	3,0	170	21,0	260	39,0
90	5,0	180	23,0	270	42,0
100	6,0	190	25,0	280	44,0
110	8,0	200	26,0	290	47,0
120	10,0	210	28,0	300	49,0
130	12,0	220	30,0	310	52,0
140	14,0	230	32,0	320	55,0
150	16,0	240	35,0	330	59,0
Температура окончания кипения нефти 336 °С					
Выход фракций (от 53 до 336 °С) 63,0 %					

Таблица 4

Фракционный состав нефти скважины № 3

Температура начала кипения нефти 55,3 °С					
До температуры, °С	Выход фракций, %	До температуры, °С	Выход фракций, %	До температуры, °С	Выход фракций, %
70	2,0	160	14,0	250	31,0
80	3,0	170	15,0	260	35,0
90	5,0	180	16,0	270	36,0
100	6,0	190	19,0	280	40,0
110	7,0	200	21,0	290	41,0
120	8,0	210	22,0	300	45,0
130	11,0	220	23,0	310	48,0
140	12,0	230	25,0	320	49,0
150	13,0	240	26,0	330	51,0
Температура окончания кипения нефти 368,9 °С					
Выход фракций (от 55,3 до 368,9 °С) 61,0 %					

его работы. Утяжеление фракционного состава топлива повышает его вязкость и вызывает ухудшение качества распыливания и сгорания.

Список литературы

1. **Экологические проблемы** нефтяной промышленности // Околонефтяные проблемы с экологией. URL: <http://ecology-of.ru/eko-razdel/okolo-neftyanye-problemy-s-ekologiej> (дата обращения 06.02.2018).

2. **Федеральный закон** от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изм. и доп., вступ. в силу с 25.03.2017).
3. **ГОСТ 2517—2012**. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб.
4. **ГОСТ 2177—99**. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава.



L. R. Sayapov, Master, G. A. Sivkova, Associate Professor,
e-mail: Sivkova_Galina@mail.ru, Birsk Branch of Bashkir State University

Determination of Fractional Composition of Oil in Separate Deposits of Khanty-Mansiysk Autonomous District of Russia

The oil of different deposits differs in composition and physicochemical parameters, on which the ways of its further processing depend. An important indicator of the quality of oil is the fractional composition, which is determined by laboratory thermal distillation. The data of the experiment on the determination of the fractional composition of oil from three deposits of the Khanty-Mansiysk Autonomous District of Russia are given.

Oil production and processing refers to environmentally non-safe facilities. Harmful effects that adversely affect the atmosphere, water, soil, flora, fauna and the human being are due to the high toxicity of the produced hydrocarbons, as well as the various chemicals that are used in technological operations of oil refining.

Oil is a complex mixture of various organic compounds. Moreover, the oil of different deposits differs in composition and physicochemical parameters, on which the ways of its further processing depend. Important indicators of the quality of oil is the fractional composition, which is determined by laboratory thermal distillation, water, salt and sulfur content, so studying the composition and physico-chemical parameters of oil in various fields is an urgent task.

The aim of our work is to determine the fractional composition of oil in separate fields of the Khanty-Mansiysk Autonomous District of Russia. Oil sampling was carried out in accordance with GOST 2517—2012 [2].

The objects of the study were samples from three oil fields located in the Khanty-Mansiysk Autonomous District of Russia:

- 1. Vatyeganskoye field (well N1);*
- 2. Mamontovskoye field (well N2);*
- 3. Sutorminskoye field (well N3).*

Based on the experimental data, it was found that the highest yield of fractions — 73 % (T boiling point = $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ — T end of boiling = $352\text{ }^{\circ}\text{C}$) is observed in the oil sample of well N 1. The lowest yield of the fraction is 61 % (T boiling point = $55,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ — T end of boiling = $368,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) with oil distillation of well N 3. Fuel for engines should have a small range of fractions. High-quality fuel is considered to contain a maximum of fractions of the distillates ranging from 250 to 350 $^{\circ}\text{C}$. The presence of easily boiling fractions in the fuel improves the starting qualities of the engine, but increases the rigidity of its operation. Weighting the fractional composition of the fuel increases its viscosity and causes deterioration in the quality of spraying and combustion.

Keywords: *ecological problems, hazardous production facilities, oil sampling, fractional composition of oil*

References

1. **Jekologicheskie problemy** neftjanoy promyshlennosti. *Okolo neft-janye problemy jecologii*. URL: <http://ecology-of.ru/eko-razdel/okolo-neftyanye-problemy-s-ekologiej> (date of access 06.02.2018).
2. **Federal'nyj zakon** ot 21.07.1997 No. 116-FZ.
3. **GOST 2517—2012**. Neft' i nefteproducty. Metody otvora prob.
4. **GOST 2177—99**. Nefteprodukty. Metody opredeleniya frakcionnogo sostava.

УДК 614.841

Д. Н. Рубцов, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры, e-mail: aiaks@mail.ru,
А. Н. Егоров, адъюнкт, Академия ГПС МЧС России, Москва

Обоснование необходимого и достаточного диаметра модельного резервуара типа "стакан в стакане" для выполнения огневых испытаний защитной стенки

Приведен обзор научно-исследовательских работ, посвященных изучению особенностей пожарной опасности резервуаров, предназначенных для хранения нефти и нефтепродуктов, а также научному обоснованию системы противопожарной защиты, эксплуатируемой на этих резервуарах. Отмечено, что указанные работы основаны на проведенных экспериментальных исследованиях с применением моделей нефтепродуктовых резервуаров.

Проведенный анализ исследований позволил определить, что моделирование резервуаров нашло широкое применение при реализации различных тем научных исследований. Предложена классификация моделей резервуаров. Определены типоразмер модели резервуара типа "стакан в стакане", его необходимый и достаточный диаметр для проведения на нем огневых испытаний защитной стенки.

Ключевые слова: аварийная пожароопасная ситуация, защитная стенка, нефтепродукты, модель резервуара, пожар, сценарий пожара, эксперимент

В настоящей работе рассмотрены исследования, посвященные обеспечению пожарной безопасности вертикальных стальных резервуаров с защитной стенкой (РВСЗС) типа "стакан в стакане", основанные на предположении наличия вокруг первого основного резервуара второго защитного резервуара, большего по диаметру и меньшего по высоте. Эти исследования представляют собой перспективные и актуальные направления, которые являются очередной ступенью к повышению надежности и безопасности резервуарных парков, а защитную стенку можно назвать новым дополнительным элементом эшелонированной защиты резервуаров [1–4].

В нормативных документах, связанных с проектированием РВСЗС, отсутствуют требования, обращенные к огнестойкости защитной стенки [5–9]. Вместе с тем в ГОСТ Р 53324–2009 [8] приведены требования к пределу огнестойкости ограждений резервуаров. В указанном документе речь не идет о защитной стенке резервуара типа "стакан в стакане", в нем говорится об ограждающей стене и ограждающей стене с волноотражающим козырьком. Согласно указанному документу предел огнестойкости ограждений резервуаров должен составлять не менее 150 мин по признаку потери целостности (Е). Если применить указанные требования к РВСЗС, то становится очевидным, что обеспечить целостность стальной

защитной стенки РВСЗС в течение 2,5 ч углеводородного пожара без дополнительных мероприятий, повышающих ее огнестойкость, невозможно.

Такое развитие аварийной пожароопасной ситуации возможно в случае, если произойдет полное разрушение основной стенки резервуара с дальнейшим выходом нефтепродукта в объем защитного резервуара, рассчитанного на гидродинамические нагрузки и полное удержание продукта. Указанный сценарий можно назвать наилучшим, однако согласно Методике [10] частота наступления такого события невелика и составляет $5,0 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹. Такое значение частоты на порядок меньше при сравнении с классической моделью возникновения пожара на нефтепродуктовом резервуаре, например, частота пожара по всей поверхности резервуара с плавающей крышей составляет $9,3 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹, а частота пожара по всей поверхности резервуара со стационарной крышей составляет $9,3 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹. При таких сценариях пожара нагрев защитной стенки возможен в большей или меньшей степени от вертикально расположенного по высоте пламени при штиле и от так называемых переливов пламени пожара из основного резервуара, вызванных ветровым воздействием.

Вместе с этим в Правилах [7] есть раздел, связанный с устройством систем тушения пожаров и охлаждения резервуаров, где отмечается, что



системы противопожарной защиты на РВСЗС должны проектироваться на основании наихудшего сценария, указанного выше. При этом защитная стенка должна оборудоваться стационарной системой пенного пожаротушения с установкой пеногенераторов или пенокамер в верхнем поясе защитной стенки или выше защитной стенки и стационарной системой водяного охлаждения. Выбор наихудшего сценария, при котором рекомендуется проектировать систему активной противопожарной защиты, обоснован на детерминированном уровне. Однако если опираться на современный гибкий риск-ориентированный подход к обеспечению пожарной безопасности, основанный на классическом пожаре по всей площади основного резервуара за счет наименьшей частоты наступления такого события, то в целом выбор размещения на защитной стенке систем противопожарной защиты может дать значительный экономический эффект, но это должно быть подтверждено экспериментально.

Для РВСЗС возможны четыре основных сценария пожара, при которых горение не распространяется за границы защитной стенки резервуара [2]. Сценарии пожара представлены на рисунке.

В настоящей работе представлено решение задачи по первому сценарию пожара. Описать нагрев стенки защитного резервуара от теплового потока при пожаре в основном резервуаре можно с помощью математической модели. Чтобы внести точность в построение математической модели, необходимо знать результаты физического моделирования.

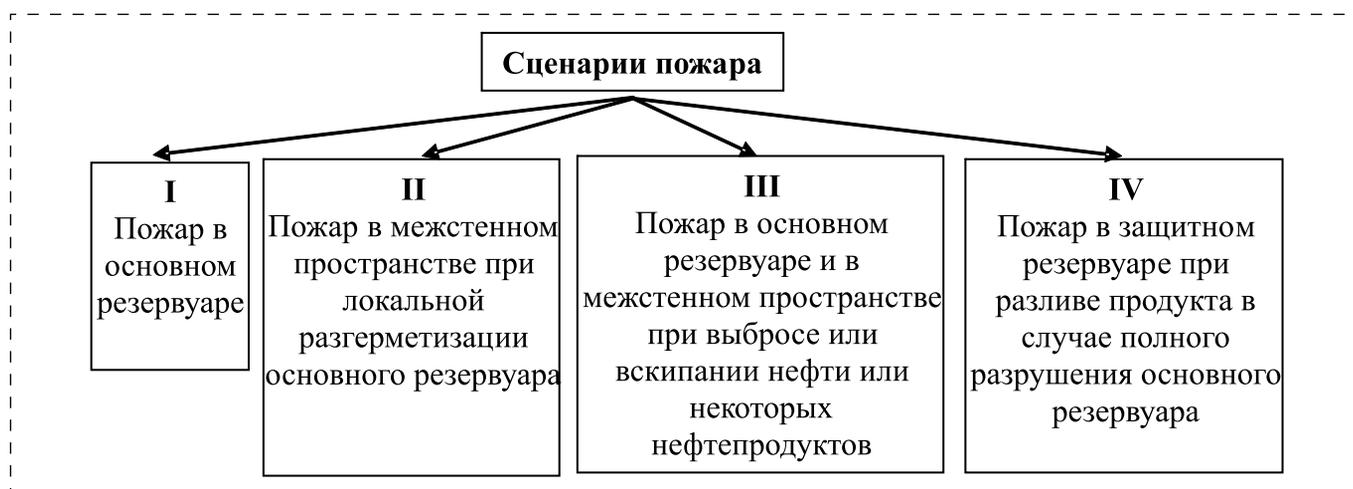
Для проведения физического моделирования создается экспериментальный стенд, основой которого является модель объекта исследования. В рассматриваемом случае моделью объекта

исследования является РВСЗС. Модель объекта должна обладать физическим подобием с оригиналом. Определяющую роль при моделировании объекта будет играть диаметр и высота, являющиеся основными геометрическими параметрами, которые должны быть подобны прототипу.

Рассмотрим модели нефтяных резервуаров, использованных для проведения экспериментальных исследований по изучению особенностей их пожарной опасности и способов противопожарной защиты.

Наиболее значимыми научными трудами по указанной тематике, признанными во всем мире, считается цикл работ [11–15], выполненных российскими учеными В. И. Блиновым и Г. Н. Худяковым в 50–60-х годах прошлого века [11]. Большинство данных получены в результате совместной работы сотрудников лаборатории интенсификации топочных процессов Энергетического института академии наук СССР и теплофизической лаборатории ЦНИИПО НКВД СССР.

В работе [12] экспериментально изучалась скорость выгорания нефтепродуктов в резервуарах. Для проведения экспериментов применялись сосуды различных диаметров — это и емкости диаметром до 2 см, и модели резервуаров диаметром 1...23 м. В результате экспериментов установлено, что в резервуарах, имеющих диаметры более 1 м, явно наблюдаются беспорядочные турбулентные движения пламени и незначительно изменение скорости выгорания жидкости. Установлено, что при горении жидкостей в резервуарах диаметром более 0,8 м критерий подобия, называемый числом Рейнольдса, превышает свою критическую величину. Указанный критерий определяет переходной режим от ламинарного горения жидкостей к их турбулентному горению.



Классификация сценариев пожара на РВСЗС

Сделан важный вывод о том, что режим горения в таких резервуарах является турбулентным, теплопередача от пламени к жидкости происходит в основном излучением, а скорость выгорания становится постоянной, при этом пламя характеризуется как оптически тонкое. Также установлено, что исследование процесса горения нефтепродуктов в резервуарах значительных размеров можно проводить на примере резервуаров диаметрами 1...2 м, которые будут являться моделями резервуаров больших диаметров.

В экспериментальной работе, выполненной И. И. Петровым и В. А. Герасимовым [13], изучался вопрос влияния охлаждения стенок резервуара водой на скорость прогревания бензина. При проведении огневых испытаний использованы два одинаковых резервуара с диаметрами 1,3 м. На одном из них в верхнем поясе было дополнительно установлено оросительное кольцо для моделирования расхода воды при охлаждении корпуса резервуара.

Работа, выполненная ранее специалистами В. П. Лосевым и М. Б. Казаковым [14], была посвящена получению данных, связанных с механизмом тушения пеной нефтепродуктов. При проведении полигонных исследований использовали резервуар диаметром 1,3 м и высотой 1,5 м. Внутри модельного резервуара располагался ряд термопар для измерения температуры по высоте слоя горящих жидкостей, таких как дизельное топливо, керосин, бензин.

Специалистами В. А. Герасимовым, И. И. Петровым, В. Ч. Реуттом [15] проводилась работа по изучению влияния распыленной воды на тушение пламени бензинов. Для проведения огневых экспериментов использовался модельный ряд резервуаров с диаметрами: 1,3 (высота примерно 1 м); 2,6; 5,3; 8,6 и 22,5 м. Время свободного горения составляло 30...60 с. Отдельно проведены эксперименты по изучению влияния распыленной воды на тушение бензина, имеющего прогретый слой определенной толщины. В этих испытаниях применялся резервуар диаметром 1,3 м. В нем находилась горячая жидкость с высотой взлива около 1 м.

Для проведения научных исследований В. П. Сучковым [16] разработана конструкция стенда, позволяющая проводить исследования по изучению теплового и концентрационного режимов резервуаров, которые находятся как в нормальных условиях эксплуатации, так и располагаются рядом друг с другом и один из них при этом находится в режиме горения. Для этого были спроектированы два модельных резервуара, геометрически подобные РВС-5000 м³. В масштабе 1:35 размеры модели составили: диаметр — 0,65 м, высота — 0,36 м; рабочий объем — 0,125 м³.

В дальнейших исследованиях В. П. Сучков [17] использовал две модели вертикальных стальных резервуаров. Они являлись основными объектами экспериментальной базы со следующими характеристиками: диаметр — 3,15 м, высота стенки — 1,25 м, толщина стенки — 0,003 м. Диаметр резервуаров выбран из условий автотоннельности выгорания нефти в резервуарах при пожаре.

В работе Р. М. Джумагалиева [18] описаны огневые испытания, проводимые для исследования изменения основных геометрических параметров пламени, а также исследование закономерностей распределения падающих тепловых потоков вокруг горящей емкости с нефтепродуктом. Для проведения экспериментов использовались два типа емкостей. Одна емкость выполнялась в виде стального прямоугольника площадью 16 м², высотой 1 м, в качестве другой использовалась модель резервуара вместимостью 3000 м³. Модель выполнялась в натуральную величину с верхним поясом высотой 1,2 м, установленным на опорную эстажерку на высоте 12 м от уровня земли. Диаметр резервуара составляет порядка 19 м.

При проведении экспериментальных исследований, связанных с моделированием теплового воздействия очага пожара на оболочку горизонтального резервуара, применялся модельный очаг пожара [19]. Он выполнялся в виде нескольких отдельных металлических противней с общей площадью 13,5 м², наполненных горючей жидкостью. Ширина одного противня составляла 1,5 м, что превышает 1 м и обосновывается созданием условий для диффузионного горения паров горючей жидкости при полностью развитой турбулентности [19, 20].

Отдельным блоком можно выделить работы, в которых рассматривались модели нефтяных резервуаров, необходимые для изучения параметров одного из типов обвалования — защитной стенки с волноотражающим козырьком. В работе [21] экспериментально исследовались геометрические параметры ограждающей стены с волноотражающим козырьком. Для проверки физической обоснованности разработанной математической модели использован лабораторный стенд. Моделируемым резервуаром был РВС-2000 м³ с диаметром 15 м и высотой 12 м. При обосновании масштаба моделирования исходили из того, что изучение волнового процесса возможно при выполнении геометрического подобия в масштабе более чем 1:50. В связи с этим масштаб был выбран в автотоннельной области и составил 1:30, при этом масштабе выполнялись условия геометрического подобия. Параметры геометрии модельного резервуара составили: диаметр — 0,5 м, высота — 0,4 м, объем — 0,079 м³.



В двух других исследованиях, выполненных в развитие указанной тематики, экспериментально изучалось определение максимальных расстояний и параметров дополнительных защитных преград, на которые обрушивается волна нефтепродукта при разрушении резервуара [22], а также влияние динамических нагрузок, возникающих от волны прорыва, на ограждающую стену с волноотражающим козырьком [23]. Масштаб моделирования в этих работах определялся так же, как и в работе [21].

В работе [22] для проведения экспериментов использовалась модель резервуара РВС-1000 м³, натурные размеры которого составляют: диаметр — 10 м, высота — 12 м, объем — 1000 м³. При масштабе моделирования, принятом 1:50, параметры модельного резервуара составили: диаметр — 0,21 м, высота — 0,26 м, объем — 0,009 м³.

В работе [23] проверка адекватности разработанной математической модели проведена с помощью лабораторных экспериментов, для которых был разработан лабораторный стенд с моделью резервуара РВС-700 м³. Масштаб моделирования составил 1:21, что соблюдало геометрическое подобие. Параметры модельного резервуара составили: диаметр — 0,5 м, высота — 0,43 м, объем — 0,084 м³.

При изучении распределения концентраций паров горючих жидкостей в газовом пространстве резервуара и ряда других параметров [24] были изготовлены четыре экспериментальных резервуара, моделирующих геометрию резервуара вместимостью 5000 м³. Модели отличались по масштабу и конструкции. Геометрические параметры моделей резервуаров представлены в таблице.

В работе [25] описаны проведенные огневые эксперименты на модели резервуара вертикального стального с понтоном РВСП-1000 м³ масштабом 1:5. Геометрические параметры модели при таком масштабе составили: внутренний диаметр — 2,1 м, высота — 2,4 м. Эксперимент позволил наблюдать поведение понтона и стационарной крыши из алюминия при различных вариантах пожара.

При изучении вопроса подачи пены под слой горючей жидкости во время пожара также применяются модели нефтяных резервуаров. По данным работы [26], в Японии проведены эксперименты на моделях резервуаров диаметрами 1,5; 1,75; 4,8 м, а также приведены результаты экспериментов по

тушению сырой нефти и бензина в модельном резервуаре диаметром 2,7 м.

Значимой в области моделирования резервуаров является работа [27], в которой смоделирован нефтепродуктовый резервуар с плавающей крышей РВСПК 50 000 м³ в целях испытания его на прочность, а также определения его геометрических и упругих параметров с помощью решения системы критериальных уравнений. Модель резервуара выполнялась из органического стекла марки ТОСП. Полученные параметры модели составили следующие значения: высота корпуса — 0,76 м, диаметр — 1,45 м, толщина стенки нижнего пояса — 0,19 см.

В работе [28] приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований по работе резервуаров и газгольдеров в различных условиях эксплуатации, на основе которых предложены методика расчета их несущих элементов на прочность и устойчивость, а также нормы допускаемых отклонений от проектной формы. Указанные результаты получены при проведении экспериментальных исследований, выполненных на крупных моделях резервуаров диаметрами 3, 6 и 9 м и высотой 2...2,5 м. Толщина металлических листов моделей резервуаров составляла 1,2 мм в верхней части и 2,5 мм в нижней части.

Значительный интерес представляют работы, проведенные за рубежом, опыт которых полезен при проектировании экспериментальной модели резервуара в рамках изучаемого вопроса.

В работе [29] использовалась модель резервуара, выполненная учеными из США. В ней, можно сказать, впервые применялась модель нефтяного резервуара диаметром 6 м и высотой 7,2 м. С помощью этих исследований были сформулированы требования к системе противопожарной защиты нефтепродуктовых резервуаров различной вместимости, включая противопожарные разрывы в резервуарных парках.

В исследованиях, проведенных в США [30], изучалась возможность применения расширяющейся пены на сжиженном природном газе (СПГ), предназначенной для снижения взрывоопасной концентрации паров СПГ и интенсивности теплового излучения при пожаре пролива СПГ. Для проведения огневых испытаний и моделирования промышленных разливов СПГ использовались два заглубленных и забетонированных подземных

Геометрические параметры экспериментальных резервуаров

Геометрические размеры	ЭР-1	ЭР-2	ЭР-3	РВС-5
Диаметр, м	0,228	0,360	0,650	2,28
Высота, м	0,119	0,198	0,360	1,19
Объем, м ³	5·10 ⁻³	22,4·10 ⁻³	125·10 ⁻³	5
Масштаб модельного резервуара	1:100	1:60	1:35	1:10

поддона: большой поддон площадью 65 м^2 и высотой борта $1,2 \text{ м}$ и малый площадью 45 м^2 и высотой борта $2,4 \text{ м}$.

В работе [31] описаны эксперименты, связанные с горением бензина и дизельного топлива на слое воды, для детального определения геометрических и термических характеристик пламени, а также распределения энергии излучения, ее среднего значения и общего излучения пламени. В качестве моделей резервуаров использованы цилиндрические железобетонные кольца диаметром $1,5; 3; 4; 5; 6 \text{ м}$.

В работе [32] представлены результаты экспериментов, выполненных на резервуарах диаметром и высотой 1 м , и рассмотрена возможность распространения пожара с резервуара на резервуар, заполненных бензином. Установлено, что температура жидкости в резервуаре имеет равномерное распределение по вертикали в центре и на расстоянии 1 см от обогреваемой стенки.

Модель резервуара диаметром $1,2 \text{ м}$, представленная в работе [33], использовалась в эксперименте по определению эффективности предотвращения образования взрывоопасных концентраций с помощью плавающих шаров, разработанных в Швейцарии. Шары применяются для покрытия горючих жидкостей в промышленных резервуарах в целях предупреждения и тушения пожаров в них.

Заключение

Модели нефтяных резервуаров нашли широкое применение при постановке экспериментов, где они выступают в роли объекта исследования. Эксперименты, проводимые с привлечением моделей резервуаров, можно выделить в отдельные и самостоятельные научно-исследовательские направления, такие как: огневые испытания, гидродинамические эксперименты, изучение концентрационных режимов паровоздушной смеси; эксперименты, предполагающие изучение организации пожаротушения в резервуаре; исследования, предполагающие изучение прочностных характеристик резервуаров.

При создании проекта экспериментальной модели для проведения огневых испытаний защитной стенки резервуара типа "стакан в стакане" необходимо опираться на опыт применения моделей нефтяных резервуаров. Поэтому для проведения эмпирической работы, связанной с горением нефтепродукта в резервуаре, при изучении влияния тепловых потоков, падающих на обогреваемую поверхность защитной стенки резервуара, достаточно использовать критерии, на основании которых обосновывается выбор модельного

резервуара. Этими ключевым критерием является подобие пламени, которое, в свою очередь, зависит от геометрического подобия резервуара. При проведении огневых испытаний главным геометрическим показателем модели резервуара, в котором он должен быть подобен натурному объекту, является его диаметр. Для того чтобы соблюдать указанные требования, достаточно:

— знать диаметр модели резервуара $D \geq 1 \text{ м}$; в этом случае пламя считается полностью турбулентным;

— при диаметре модели резервуара $D \geq 1 \text{ м}$ будет преобладать лучистая компонента в процессе нагрева;

— при диаметре модели резервуара $D \geq 1 \text{ м}$ будет соблюдаться автомодельность выгорания углеводородных жидкостей.

На основе этих данных можно сделать вывод, что необходимым и достаточным диаметром основного модельного резервуара типа "стакан в стакане" для выполнения огневых испытаний будет считаться резервуар диаметром $1...1,5 \text{ м}$. Следует отметить, что указанный диапазон типоразмера модели является преобладающим в рассмотренных исследованиях. Установленный размер будет считаться основополагающим, от которого в соответствии с масштабом следует исходить при проектировании остальных параметров: высоты основного резервуара, диаметра и высоты защитной стенки.

При проектировании модели РВСЗС в качестве натурального объекта целесообразней выбрать резервуар с номинальным объемом 700 м^3 и высотой 9 м , так как он схож по геометрическим размерам с резервуаром, имеющим номинальный объем 1000 м^3 и высоту 12 м . Однако при их одинаковых диаметрах разность высот корпуса достигает 3 м .

При соблюдении геометрического подобия модели резервуара РВС 700 м^3 уменьшается высота его корпуса в сравнении с моделью резервуара РВС 1000 м^3 . Однако соблюдается одинаковость диаметров, что значительно снижает затраты на приобретение металлолистов, которые необходимо использовать при создании модели. Результаты исследования можно будет использовать в более широком номенклатурном ряду нефтяных и нефтепродуктовых резервуаров.

Список литературы

1. Рубцов Д. Н., Шалымов М. С. Проблема огнестойкости защитной стенки резервуаров с нефтепродуктами // Материалы 22-й Международной научно-технической конференции "Системы безопасности-2013". — М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. — С. 157—158.
2. Рубцов Д. Н., Шалымов М. С. О развитии пожара в резервуаре типа "стакан в стакане" с нефтью и нефтепродуктами // Технологии технологической безопасности. — 2016. — № 3 (67). — С. 74—81.



3. **Рубцов Д. Н., Егоров А. Н.** Оценка состояния защитной стенки нефтяного резервуара типа "стакан в стакане" при пожаре // Материалы 25-й Международной научно-технической конференции "Системы безопасности—2016". — М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. — С 325—327.
4. **Швырков С. А., Горячев С. А., Швырков А. С.** Актуальные вопросы нормирования требований пожарной безопасности к защитной стенке нефтяных резервуаров типа "стакан в стакане" // Технологии техносферной безопасности. — 2016. — № 3 (67). С. 1—8.
5. **ГОСТ 31385—2016.** Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.
6. **Руководство по безопасности вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.** Утв. приказом Ростехнадзора от 26.12. 2012 г. № 780.
7. **СТО-СА-03-002-2009.** Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. — М.: РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА, 2009.
8. **ГОСТ Р 53324—2009.** Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности.
9. **СП 155.13130.2014.** Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности.
10. **Приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 года № 404 "Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах".**
11. **Блинов В. И., Худяков Г. Н.** Диффузионное горение жидкостей. — М.: АН СССР, 1961. — 208 с.
12. **Блинов В. И.** О механизме горения нефтепродуктов в резервуарах // Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов: Сб. науч. статей. — М.: ЦНИИПО, 1960. — С. 4—20.
13. **Петров И. И., Герасимов В. А.** Тушение пожаров нефтепродуктов в резервуарах распыленной водой // Отчет ЦНИИПО. — Баку, 1957.
14. **Лосев В. П., Казаков М. В.** О механизме тушащего действия пен при горении нефтепродуктов в резервуарах // Информационный сборник ЦНИИПО. — М., 1958.
15. **Герасимов В. А., Петров И. И., Реутт В. Ч.** Тушение пламени нефтепродуктов распыленной водой // Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов: Сб. науч. статей. — М.: ЦНИИПО, 1960. — С. 84—98.
16. **Сучков В. П.** Исследование пожарной опасности паровоздушной среды в резервуарах при хранении в них керосина и дизельного топлива: Дис. ... канд. техн. наук / ВИПТШ МВД СССР. — М.: 1981. — 233 с.
17. **Сучков В. П.** Научные основы стандартизации в области обеспечения пожарной безопасности технологий хранения нефтепродуктов: Дис. ... докт. техн. наук / МИПБ МВД РФ. — М., 1997. — 233 с.
18. **Джумагалиев Р. М.** Закономерности распределения тепловых потоков при пожаре в резервуарном парке: Дис. ... канд. техн. наук / ВИПТШ МВД РФ. — М., 1992. — 207 с.
19. **Хабидуллин Р. Ш.** Устойчивость горизонтальных резервуаров с нефтепродуктом к воздействию тепловых потоков пожара: Дис. ... канд. техн. наук / АГПС МЧС России. — М., 2009. — 159 с.
20. **Драйздел Д.** Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К. Г. Бомштейна; Под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. — М.: Стройиздат, 1990. — 424 с.
21. **Швырков С. А.** Обеспечение пожарной безопасности нефтебаз ограничением разлива нефтепродуктов при разрушениях вертикальных стальных резервуаров: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. — М., 2001. — 180 с.
22. **Воробьев В. В.** Дополнительные защитные преграды для снижения пожарной опасности разлива нефти и нефтепродуктов при разрушении вертикальных стальных резервуаров: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. — М.: 2008. — 156 с.
23. **Батманов С. В.** Устойчивость противопожарных преград резервуарных парков к воздействию волны прорыва при квазимгновенном разрушении вертикального стального резервуара: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. — М.: 2009. — 175 с.
24. **Назаров В. П.** Пожаровзрывобезопасность преремонтной подготовки и проведение огневых работ на резервуарах: Дис. ... докт. техн. наук / ВИПТШ МВД РФ. — М., 1995. — 444 с.
25. **Сулейманов И. Р.** Температурный режим крыши и понтона из алюминия при горении модели РВСП-1000 // Вторая международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов "Проблемы техносферной безопасности-2013". — М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. — С. 98—101.
26. **Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов /А. Ф. Шароварников, В. П. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шароварников.** — М.: Калан, 2002. — 435 с.
27. **Дмитриев Н. Н.** Методика моделирования нефтяных стальных резервуаров для испытания их конструкции на прочность в условиях лаборатории: Дис. ... канд. техн. наук / Институт нефтехимической и газовой промышленности имени И. М. Губкина. — М., 1985. — 274 с.
28. **Сафарян М. К.** Металлические резервуары и газгольдеры. — М.: Недра, 1987. — 200 с.
29. **Bray G. A.** Fire protection of liquid petroleum gas storage tanks // Institute of Gas Engineers Journal. — 1964. — No. 11. — P. 776—789.
30. **Suardin J. A.** The application of expansion foam on liquefied natural gas (LNG) to suppress LNG vapor and LNG pool fire thermal radiation: Diss. Doctor of philosophy: major subject: Chemical Engineering / Suardin Jaffee Arizon. — 2008. — 149 с.
31. **Predicting the emissive power of hydrocarbon pool fires / M. Muñoz, E. Planas, F. Ferrero, J. Casal // J. Haz. Materials. — 2007. — Vol. 144. — Is. 3. — P. 725—729.**
32. **Yumoto T.** Fire spread between two oil tanks // J. Fire and Flammability. —1977. — Vol. 8. — No. 4. — P. 494—505.
33. **Грачев Г. Г., Катаева А. С., Матвеева Г. И.** Предупреждение и тушение пожаров в резервуарах // Обзорная информация. — М.: ВНИИПО, 1985. — 45 с.

D. N. Rubtsov, Associate Professor, e-mail: aiaks@mail.ru, **A. N. Egorov**, Postgraduate, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow

Justification of Necessary and Sufficient Diameter Model Tank Type "Glass in Glass" for Performing Fire Tests of Protective Wall

The present paper is devoted to substantiation of the choice of the diameter of the oil reservoir of the "glass in glass", which may be used as a model object of study during fire tests of protective wall. In previous works on this topic established that the protective wall is a promising and important direction in the system of maintenance of fire security of oil and oil products tanks. It serves as another step to increase the reliability and safety of

the tank farms, and the protective wall can be called a new additional element of defense-in-depth of the tank.

This publication includes a literature review, some of the previously done research works devoted to studying of features of fire hazard tanks for storage of oil and oil products, as well as the scientific substantiation of the fire protection system operated on these tanks. This work is based on experimental research using models of petroleum reservoirs.

The analysis of literary sources allowed to determine that the reservoir modeling has found wide application in different research topics. The classification of models of tanks. Determined the size of the oil reservoir, which becomes the prototype for the model of the tank of the "glass in glass", as well as its necessary and sufficient diameter whose observance is obligatory in the realization of fire tests of protective wall.

Keywords: emergency fire situation, burning, protective wall, oil, petrochemicals, model, fire, tank, "glass in glass", the script of the fire, experiment

References

1. **Rubtsov D. N., Shalimov M. S.** The Problem of fire resistance of the protective walls of the reservoirs. *Proceedings of the 22nd international scientific and technical conference "Safety Systems — 2013"*. Moscow: Academy GPS of EMERCOM Russia, 2013. P. 157—158.
2. **Rubtsov D. N., Shalimov M. S.** On the development of a fire in the tank of the "glass in glass" oil and petroleum products. *Technology of technosphere safety*. 2016. No. 3 (67). P. 74—81.
3. **Rubtsov D. N., Egorov A. N.** Assessment of the protective wall of the oil reservoir of the "glass in glass" at the fire. *Materials of 25-th international scientific-technical conference "Safety Systems"*. Moscow: Academy GPS of EMERCOM Russia, 2016. P. 325—327.
4. **Shvyrvkov S. A., Goryachev A. S., Shvyrvkov A. S.** Topical issues of regulation of fire safety requirements for a protective wall oil tanks type of "glass in glass". *Technology of technosphere safety*. 2016. No. 3 (67). P. 1—8.
5. **GOST 31385—2016.** The vertical cylindrical steel tanks for petroleum and petroleum products. General specifications.
6. **Safety manual for vertical cylindrical steel tanks for petroleum and petroleum products.** Approved. by the order of Rostekhnadzor 26.12.2012 No. 780.
7. **HUNDRED-SA-03-002-2009.** Rules for the design, manufacture and installation of vertical cylindrical steel tanks for petroleum and petroleum products. Moscow: Rostehkhsperitisa, 2009.
8. **GOST R 53324—2009.** Fencing of reservoirs. Fire safety requirements.
9. **SP 155.13130.2014.** Warehouses of oil and petroleum products. Fire safety requirements.
10. **Annex to the order of EMERCOM of Russia of July 10, 2009/ No. 404** "Method for determining the estimated values of fire risk at industrial facilities".
11. **Blinov V. I., Khudyakov G. N.** Diffusion burning of liquids. Moscow: Akademija of Science SSSR, 1961. 208 p.
12. **Blinov V. I.** On the mechanism of combustion of petroleum products in tanks. *New ways and means to extinguish the flame of petroleum products*. Collection of Scientific Article. Moscow: CNIPO, 1960. P. 4—20.
13. **Petrov I. I., Gerasimov V. A.** Extinguishing fires of petroleum products in tanks sprayed water. *Report CNIPO*. Baku, 1957.
14. **Losev V. P., Kazakov M. V.** On the mechanism of the quenching action of the pins during combustion of petroleum products in tanks. *Bulletin of CNIPO*. Moscow, 1958.
15. **Gerasimov V. A., Petrov I. I., Reutt V. C.** Extinguish the flame of petroleum products sprayed with water. *New ways and means of extinguishing the flames of oil products Collection of Scientific Article*. Moscow: CNIPO, 1960. P. 84—98.
16. **Suchkov V. P.** Study of fire danger of steam-air environment in tanks during storage of kerosene and diesel fuel: Dis. kand. tech. sciences / VIPTSH of Interior Ministry. Moscow, 1981. 233 p.
17. **Suchkov V. P.** Scientific basis for standardization in the field of fire safety technologies of storage of oil products: Dis. doctor. tech. sciences / MIPB of Interior Ministry. Moscow, 1997. 233 p.
18. **Jumagaliev R. M.** Patterns of distribution of heat flows in case of fire in tank farm: Diss. cand. tech. Sciences / VIPTSH of Interior Ministry. Moscow, 1992. 207 p.
19. **Khabibulin R. Sh.** Stability of horizontal tanks with oil products to the effects of heat flux of a fire: Dis. cand. tech. science. Academy GPS of EMERCOM of Russia. Moscow, 2009. 159 p.
20. **Draizdel D.** Introduction to fire dynamics. Ed. from English. K. G. Bomstein; Under the editorship of J. A. Koshmarova, V. E. Makarov. Moscow: Stroyizdat, 1990. 424 p.
21. **Shvyrvkov S. A.** Fire safety depots restriction of the oil spill with the destruction of vertical steel tanks: Dis. cand. tech. Sciences: 05.26.03. Moscow, 2001. 180 p.
22. **Vorob'ev V. V.** Additional protective barriers to reduce the fire risk of spill of oil and oil products in the destruction of vertical steel tanks: Dis. cand. tech. Sciences: 05.26.03. Moscow, 2008. 156 p.
23. **Batmanov S. V.** Resistance fire barriers reservoir parks to the impact of the wave break at quasimundo the destruction of the vertical steel tank: Dis. cand. tech. Sciences: 05.26.03. Moscow, 2009. 175 p.
24. **Nazarov V. P.** Peremetnoe training and hot work on tanks: Dis. doctor. tech. Sciences / VIPTSH of Interior Ministry. Moscow, 1995. 444 p.
25. **Suleymanov I. R.** Temperature regime roofs and pontoons from aluminum combustion model RVSP-1000. *Second international scientific-practical conference of young scientists and specialists "Problems of technosphere safety — 2013"*. Academy GPS of EMERCOM Russia, 2013. P. 98—101.
26. **Extinguishing fires of oil and oil products / A. F. Sharovarnikov, V. P. Molchanov, S. S. Voevoda, S. A. Sharovarnikov.** Moscow: Sea otter, 2002. 435 p.
27. **Dmitriev N. N.** The method of modeling of oil steel tanks for testing their designs on durability in the laboratory: Dis. cand. tech. Sciences. Institute of petrochemical and gas industry imeni I. M. Gubkin. Moscow, 1985. 274 p.
28. **Safarian M. K.** Metal tanks and gas tanks. Moscow: Nedra, 1987. 200 p.
29. **Bray G. A.** Fire protection of liquid petroleum gas storage tanks. *Institute of Gas Engineers Journal*. 1964. No. 11. P. 776—789.
30. **Suardin J. A.** The application of expansion foam on liquefiend natural gas (LNG) to suppress LNG vapor and LNG pool fire thermal radiation: Diss. Doctor of philosophy: major subject: Chemical Engineering / Suardin Jaffee Arizon. 2008. 149 c.
31. **Predicting the emissive power of hydrocarbon pool fires / M. Muoz , E. Planas, F. Ferrero, J. Casal.** *J. Haz. Materials*. 2007. Vol. 144. Is. 3. P. 725—729.
32. **Yumoto T.** Fire spread between two oil tanks. *J. Fire and Flammability*. 1977. Vol. 8. No. 4. P. 494—505.
33. **Grachev G. G., Kataev A. S., Matveeva, G. I.** Prevention of and extinguishing fires in tanks. *Survey information*. Moscow: VNIPO, 1985. 45 p.



УДК 614.841.264

И. В. Клаптюк, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., e-mail: irina.klapyuk@mail.ru,
И. Д. Чешко, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр.,
С. В. Шаратов, д-р техн. наук, проф., начальник института,
В. А. Ловчиков, д-р хим. наук, проф., проф. кафедры, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Применение твердофазной экстракции гидрофобными полимерными сорбентами при обнаружении следов нефтепродуктов на местах возникновения чрезвычайных ситуаций

Рассмотрена возможность применения различных гидрофобных полимерных сорбентов для извлечения микроколичеств светлых нефтепродуктов из водных и влажных сред при расследовании чрезвычайных ситуаций (пожаров) и мониторинге мест их возникновения. Исследованы полимерные материалы разного молекулярного строения. Проведен анализ влияния природы сорбента на процесс сорбции и состав извлекаемых компонентов. Показана эффективность применения твердофазной экстракции с использованием полиуретанового сорбента и микропористого полиэтилена для извлечения остатков светлых нефтепродуктов, их сохранения и использования для дальнейших лабораторных исследований.

Ключевые слова: сорбент, полимер, нефтепродукт, твердофазная экстракция, пробоподготовка, сорбция, чрезвычайная ситуация, пожар, поджог, мониторинг

Применение нефтепродуктов в различных сферах человеческой деятельности неизбежно влечет за собой риск возникновения пожаров, аварийных и нелегальных разливов и других чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут быть предметом экспертного исследования. Особую опасность из-за их криминального характера представляют пожары, связанные с поджогами. В качестве средств поджога злоумышленники чаще всего используют различные нефтепродукты (НП).

При исследовании объектов ЧС — мест пожаров после тушения, зон аварийного разлива нефтепродуктов и др. экспертам часто приходится иметь дело с водными средами и влажными твердыми объектами материальной обстановки. Извлечение из них следовых количеств нефтепродуктов с помощью обычных экспертных технологий (экстракцией гидрофобными растворителями) [1] затруднено, а предварительная сушка исключена по причине возможной потери искомым веществ.

Твердофазной экстракцией (ТФЭ) называют процесс поглощения твердым сорбентом из газовой или жидкой фазы, а также с поверхности твердых объектов-носителей тех или иных веществ. Далее это вещество или смесь веществ извлекается из сорбента двумя способами — путем экстракции соответствующим растворителем

либо термодесорбцией (извлечение целевого компонента нагреванием сорбента до необходимой температуры).

По сравнению с обычной жидкостной экстракцией твердофазная экстракция сокращает время пробоподготовки, уменьшает расход растворителей и в ряде случаев увеличивает эффективность процесса извлечения.

При исследовании и экспертизе пожаров, причиной которых может быть поджог, на стадии пробоподготовки для отбора проб из паро-газовоздушной фазы над объектом-носителем и концентрирования искомым веществ достаточно часто используют различные сорбенты — пористые вещества, имеющие высокоразвитую поверхность (силикагель, активированный уголь, пористые полимеры) [2, 3]. Пористые полимеры инертны, гидрофобны, обладают достаточно хорошо развитой поверхностью, эффективно улавливают из воздуха и воды примеси вредных веществ и не менее легко отдают их при термодесорбции и экстракции. О применении гранулированных полимерных сорбентов на стадии пробоотбора можно говорить, когда речь идет о летучих компонентах интенсификаторов горения. Однако в случае отбора масляного (радужного) пятна из мест скопления воды после тушения пожара или при исследовании объектов, содержащих большое

количество влаги, такой способ пробоотбора не подходит. В данном случае целесообразнее использовать полимерные сорбционные пластины.

Известно, что твердофазная экстракция гидрофобными полимерными сорбентами (пластинами) применяется на стадии пробоподготовки для обнаружения нефтепродуктов в экосистемах при анализе загрязнений. Например, для твердофазной экстракции используются пластины из пористого фторопласта Ф-4, активированного по специальной технологии [4–6].

В качестве нефтяных сорбентов используют и другие полимерные материалы. Например, для сбора нефтяных загрязнений применяют бобы из полипропилена. Однако применение полипропилена для твердофазной экстракции ограничивается его физическими свойствами. Дело в том, что температура хрупкости данного материала составляет от +5 до –15 °С [7], что ограничивает его применение для твердофазной экстракции в местах возникновения чрезвычайных ситуаций при низких температурах.

Для очистки окружающей среды от нефтяных загрязнений также применяется сорбирующий материал на основе полиэтилена в виде полимерного полотна [8] и пористые полимерные материалы на основе полиуретана в виде крошки [9, 10].

Было сделано предположение, что благодаря своему молекулярному строению и физико-химическим свойствам полиуретановый эластомер также будет хорошо сорбировать и сохранять нефтепродукты.

Объекты и методы исследования

В данной работе рассмотрены в качестве потенциальных сорбентов для твердофазной экстракции сорбционные пластины из пористого политетрафторэтилена (фторопласта) марки Ф-4, микропористого полиэтилена и полиуретанового эластомера марки ФЭ-4. Выбор сорбентов обусловливался такими их физическими свойствами, как гидрофобность и хорошая сорбционная емкость по отношению к нефтепродуктам. Кроме того, основным критерием при выборе сорбента было отсутствие в его структуре флуоресцирующих составляющих, так как одним из методов анализа является флуоресцентная спектроскопия.

В ходе работы были исследованы сорбционные свойства полимерных сорбентов относительно нефтепродуктов — автомобильного бензина (АИ-95), авиационного керосина (ТС-1), дизельного топлива (ДТЛ), жидкости для розжига на основе жидких парафинов. Кроме нативных (не видоизмененных) НП, в работе использовали выгоревшие НП (степень выгорания 50...70 % масс.)

Адсорбцию на полимерную пластину осуществляли из системы нефтепродукт/вода (концентрация нативного НП в воде порядка 0,08 г/л) в течение 1...2 мин.

В качестве основных методов исследования применялись флуоресцентная спектроскопия и газожидкостная хроматография.

Для исследования полученных образцов методом газожидкостной хроматографии предварительно были получены элюаты — смывы с поверхности сорбционных пластин органическим растворителем. В качестве последнего использовался гексан марки ОСЧ.

Спектры флуоресценции снимали на спектрофлуориметре "Флюорат-02-Панорама". Спектральный диапазон измерений составил 285...450 нм; длина волны возбуждения флуоресценции — 255 нм. Спектры флуоресценции не корректировали.

Хроматограммы были получены на газожидкостном хроматографе "Кристалл 5000.1" производства СКБ "Хроматэк", снабженном пламенно-ионизационным детектором (ПИД). Чувствительность детектора составляет 10^{-10} г/с. Для анализа использовали высокоэффективную кварцевую капиллярную колонку марки Zebron-50.

Результаты исследований

Политетрафторэтилен марки Ф-4 — пластины из высокомолекулярного кристаллизованного полимера — фторопласта Ф-4. Этот материал обладает почти абсолютной химической стойкостью благодаря содержащимся в нем атомам фтора [11, 12].

Для решения идентификационных задач были сняты спектры флуоресценции адсорбированных нефтепродуктов непосредственно на поверхности сорбционной пластины. Следует отметить, что спектры флуоресценции адсорбированных НП отличаются от спектров флуоресценции НП в растворе органического растворителя (гексана) (рис. 1 и 2). Наблюдается изменение количества максимумов флуоресценции и смещение их в длинноволновую область спектра (батохромный сдвиг) [13, 14].

Однако, как показал эксперимент, на поверхности сорбционной пластины из пористого фторопласта Ф-4 происходит коалесценция нефтепродукта, что при достаточно высоком содержании нефтепродукта в исследуемом объекте может привести к гашению люминесценции и, как следствие этого, к искажению результатов люминесцентных измерений непосредственно с поверхности сорбционной пластины.

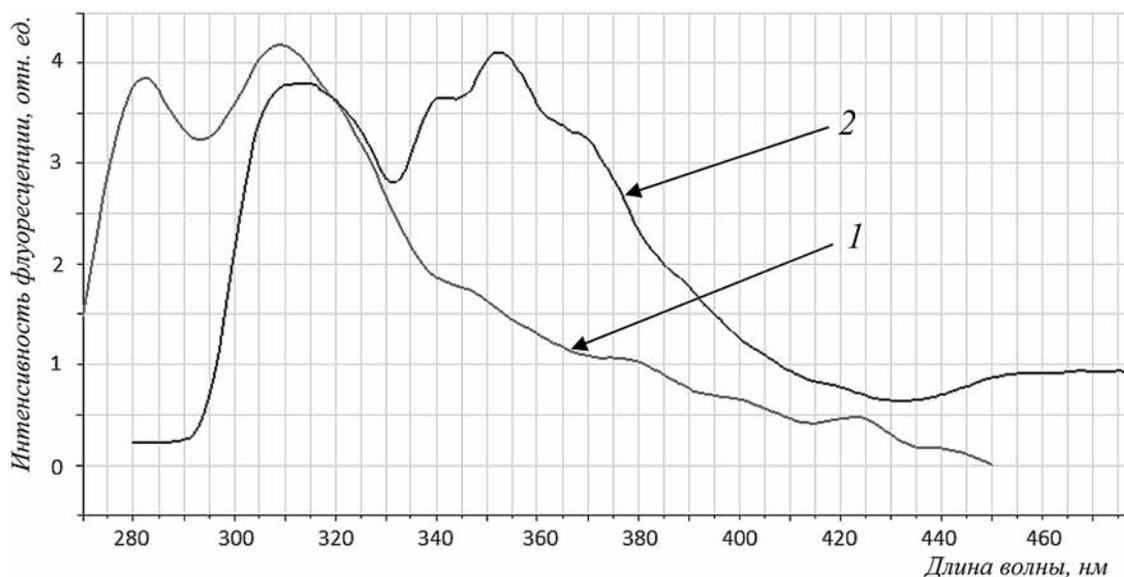


Рис. 1. Спектры флуоресценции автомобильного бензина в растворе гексана (1) и адсорбированного на поверхности пористого фторопласта (2)

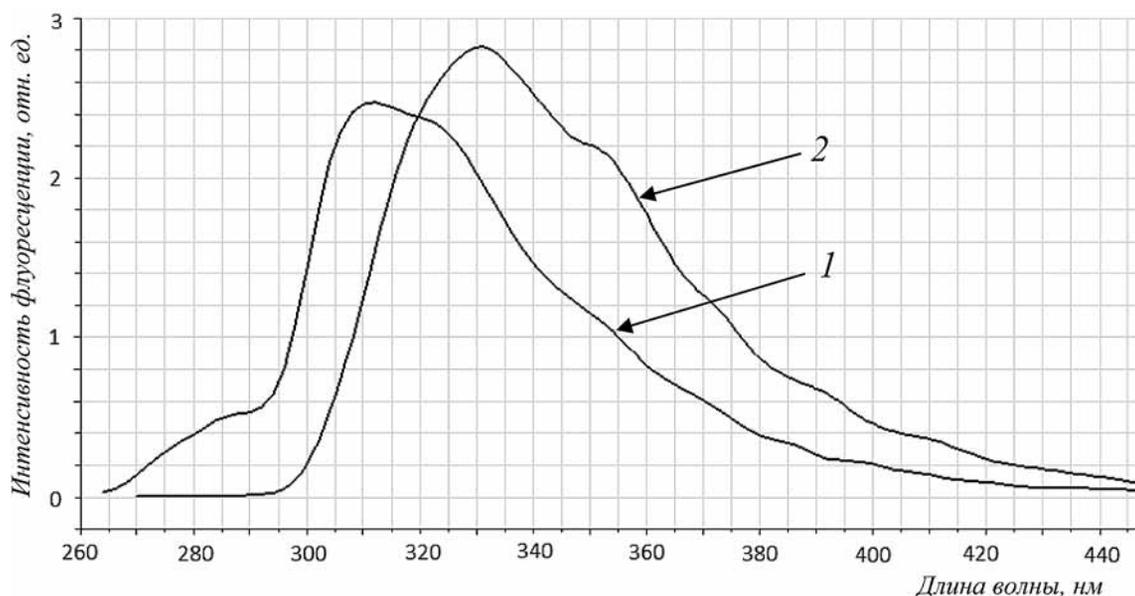


Рис. 2. Спектры флуоресценции дизельного топлива в растворе гексана (1) и адсорбированного на поверхности пористого фторопласта (2)

Исследование элюатов проб с сорбционных пластин методом газожидкостной хроматографии дает возможность идентифицировать нефтепродукты по характерному компонентному составу.

На рис. 3 показаны хроматограммы элюатов некоторых выгоревших НП. Как видно, в случае бензина АИ-95 (1) на хроматограмме наблюдаются характерные пики ароматических углеводородов, а именно этилбензола (время удерживания

8,6 мин), п-, м-ксилола (время удерживания порядка 8,8 мин), о-ксилола (время удерживания 10,2 мин) и триметилзамещенных бензола (с временами удерживания: мезитилен — 13,9 мин, псевдокумол — 14,3 мин и гемимеллитол — 16,1 мин), а также 1,2,4,5- и 1,2,3,5-тетраметилбензолы (с временами удерживания 19,5 мин и 19,8 мин).

В случае дизельного топлива 3 на хроматограмме наблюдается "гребенка" нормальных алканов

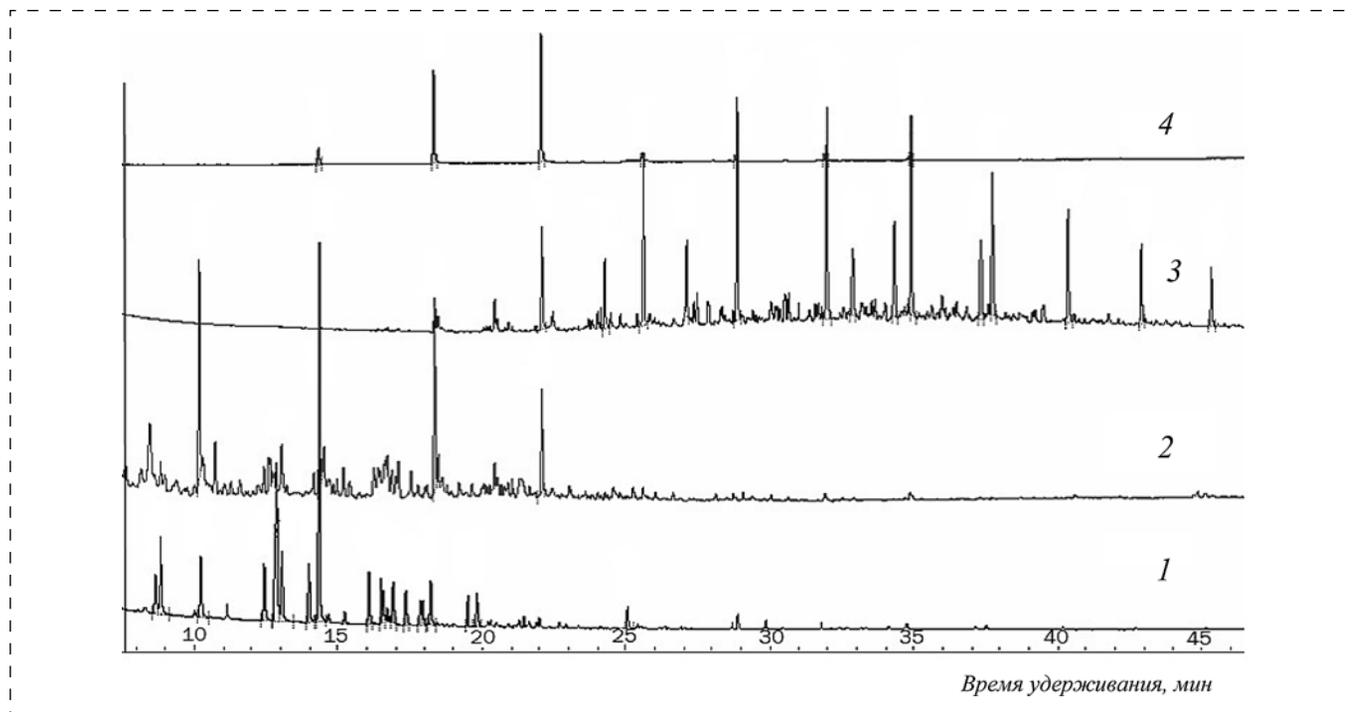


Рис. 3. Хроматограммы элюатов некоторых выгоревших светлых НП, сорбированных на пластину пористого фторопласта Φ-4: 1 — автомобильный бензин АИ-95; 2 — керосин ТС-1; 3 — дизельное топливо; 4 — жидкость для розжига

с числом атомов углерода в цепи от C_{12} до C_{21} (время удерживания от 18,4 до 45,3 мин соответственно) и дополнительная "гребенка" пиков изоалканов с числом атомов углерода в цепи от C_{14} до C_{18} (время удерживания от 24,3 до 37,3 мин соответственно).

На хроматограмме керосина 2 наблюдается ряд пиков, относящихся к алканам нормального строения с числом атомов углерода в цепи от C_{10} до C_{13} (время удерживания от 10,1 до 22,1 мин соответственно), и расположенные между ними малоинтенсивные пики, относящиеся к различным ароматическим углеводородам и алканам изостроения.

На хроматограмме жидкости для розжига 4 присутствует набор алканов нормального строения с числом атомов углерода в цепи от C_{11} до C_{17} (время удерживания от 14,3 до 34,9 мин соответственно).

Следует также отметить, что количество в исследуемых пробах некоторых НП приближено к минимально допустимому для идентификации методом газожидкостной хроматографии. Из рис. 3 это видно по форме пиков и дрейфу нулевой линии.

Исследования показали [14], что некоторые НП, такие как дизельное топливо или жидкость для розжига, могут сохраняться на пластине пористого фторопласта Φ-4 (при температуре окружающей среды от $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) в достаточных

для идентификации количествах около месяца. Более легкие НП, такие как бензины, нефрасы и другие, при тех же условиях — не более 3 суток. Вероятнее всего, это связано с тем, что в состав таких светлых НП в большом количестве входят легколетучие алифатические и ароматические углеводороды, которые не способны удерживаться в порах фторопласта только за счет сил капиллярного взаимодействия.

Микропористый полиэтилен изготовлен на основе полиэтилена — высокомолекулярного соединения, синтетического термопластичного неполярного полимера этилена, принадлежащего к классу полиолефинов [15].

В качестве полимерного сорбента была исследована микропористая полиэтиленовая пластина толщиной 20 мкм общей пористостью 40 %. Пленка имеет сквозные поры размером 180...520 нм и удельную поверхность $41\text{ м}^2/\text{г}$ [16]. В ходе исследований было установлено, что данные пленки обладают хорошей сорбционной емкостью по отношению к нефтепродуктам [14].

Однако анализ методом газожидкостной хроматографии гексановых экстрактов полиэтиленовых пластин показал, что они уже после нескольких часов хранения не содержали НП в количестве, достаточном для идентификации данным методом. Это связано с тем, что микропористые полиэтиленовые пластины имеют слишком малую толщину и испарение нефтепродукта происходит

очень быстро. Возможность обнаружения ограничивается также и чувствительностью ПИД.

Хорошие результаты были получены при исследовании проб нефтепродуктов методом флуоресцентной спектроскопии. Съёмка спектров осуществлялась непосредственно с поверхности сорбционной пластины с помощью специального держателя. На спектрах наблюдается сдвиг максимумов флуоресценции в длинноволновую область [14] (рис. 4).

На рис. 5 изображены спектры флуоресценции автомобильного бензина, адсорбированного на поверхности пористого полиэтилена. Спектры были сняты сразу после сорбции и спустя 3 суток. Условия хранения: герметичная упаковка и температура окружающей среды от -3°C до -5°C . Как видно на рисунке, спектры незначительно различаются только по интенсивности флуоресценции. В остальном (положение максимумов) спектры идентичны. Это дает возможность говорить о том,

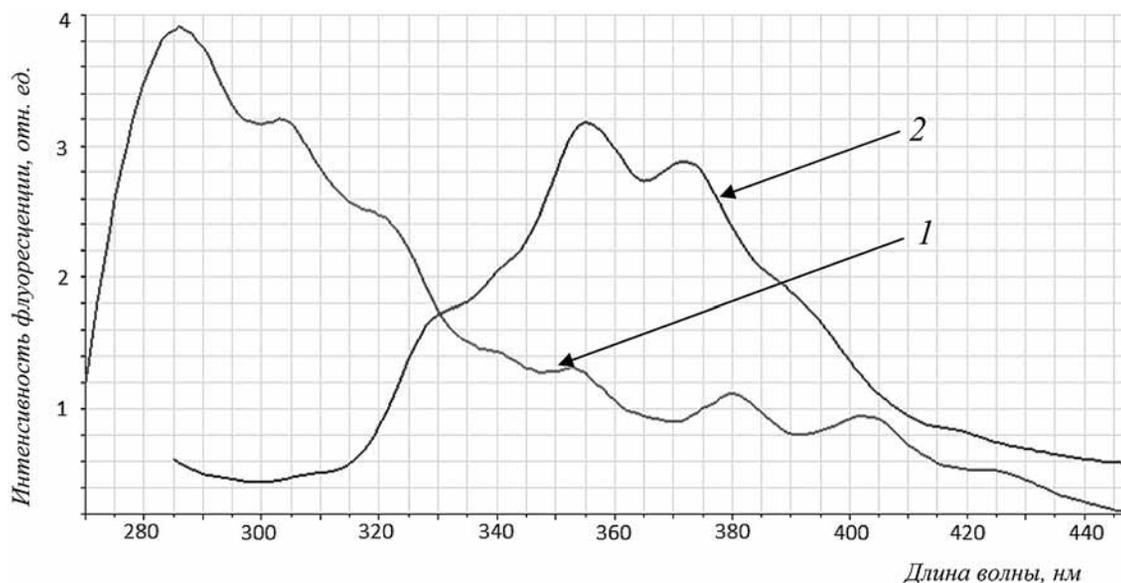


Рис. 4. Спектры флуоресценции нативного автомобильного бензина АИ-95:

1 — в растворе гексана; 2 — адсорбированный на поверхности микропористого полиэтилена

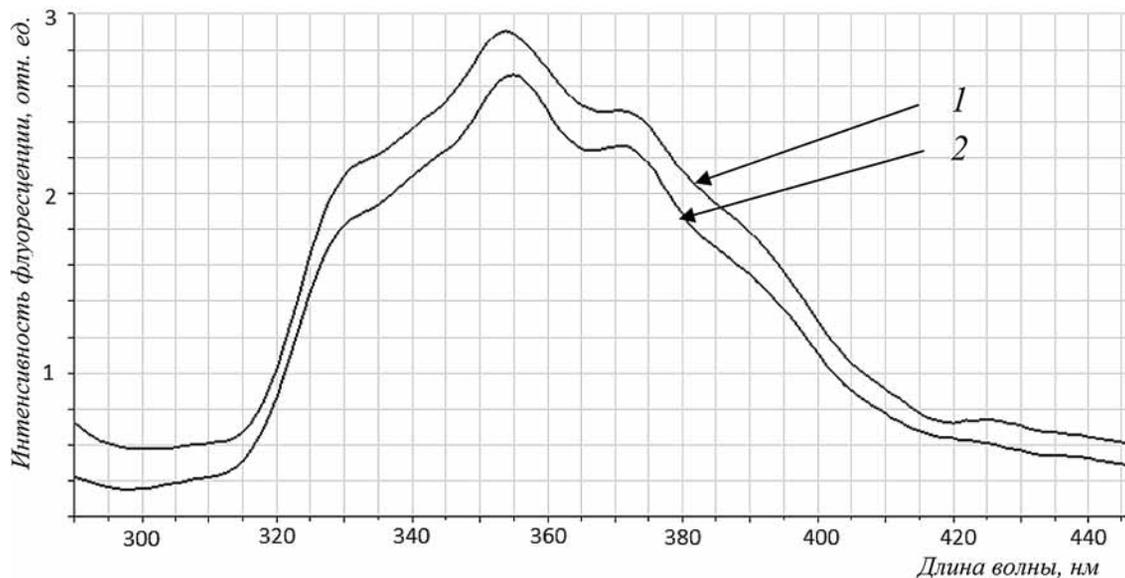


Рис. 5. Спектры флуоресценции автомобильного бензина АИ-95, адсорбированного на поверхности пористого полиэтилена:

1 — сразу после сорбции; 2 — спустя 3 суток

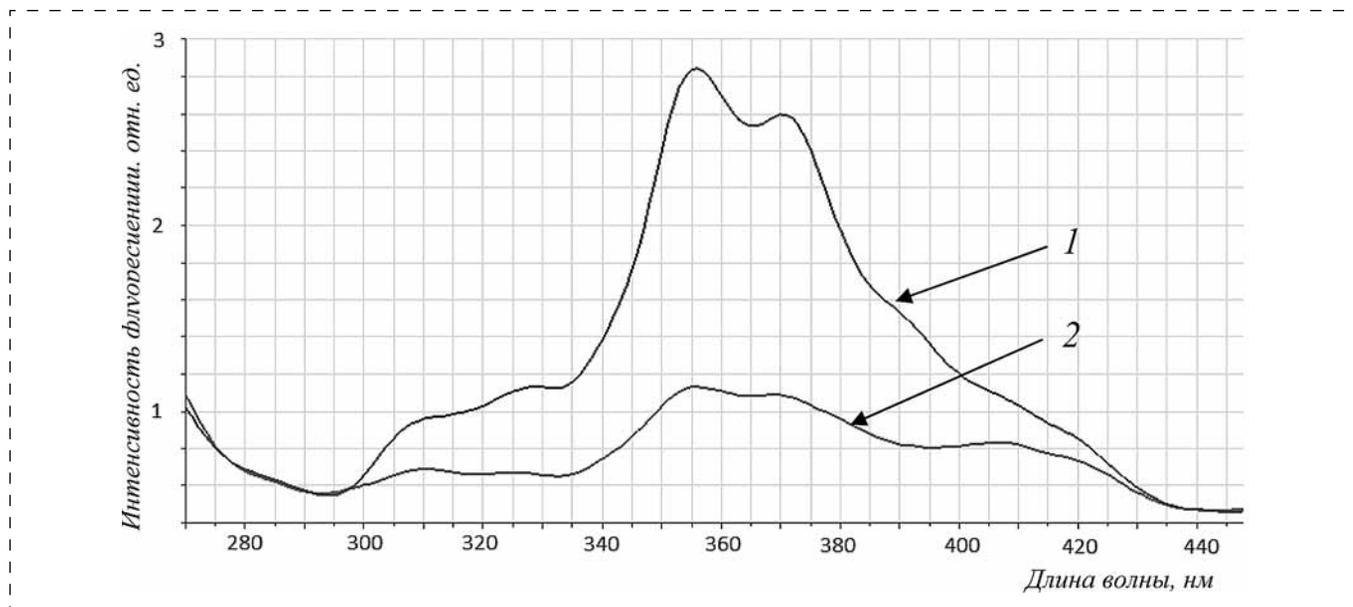


Рис. 6. Спектры флуоресценции неизменного (1) и выгоревшего (2) автомобильного бензина АИ-95 после твердофазной экстракции (ТФЭ) на пористый полиэтилен

что на данном сорбенте при определенных условиях возможно хранение проб в достаточном для идентификации методом флуоресцентной спектроскопии количестве.

С помощью метода флуоресцентной спектроскопии возможна также идентификация выгоревших нефтепродуктов. На рис. 6 приведены спектры неизменного и выгоревшего автомобильного бензина, сорбированного пластиной микропористого полиэтилена.

Таким образом, применение сорбционных пластин из микропористого полиэтилена для ТФЭ целесообразно для экспресс-анализа с использованием метода флуоресцентной спектроскопии.

Этот факт позволяет говорить о возможности использования пластин из микропористого полиэтилена для обнаружения остатков нефтепродуктов при исследовании водных сред и влажных объектов-носителей непосредственно на местах возникновения ЧС (местах пожаров, разливов нефтепродуктов) с помощью полевого флуориметрического индикатора [17].

Полиуретановый эластомер — монолитные полиуретаны — полимеры, содержащие в основной цепи макромолекулы уретановые группы —NH—CO—O—. Полиуретановые эластомеры характеризуются высокими прочностью и эластичностью, гидрофильностью, стойкостью к действию света неполярных растворителей и топлив, а также широким температурным диапазоном эксплуатации (от -40 до +120 °С) [18].

Анализ спектров флуоресценции нефтепродуктов, адсорбированных на поверхности

полиуретановой пластины непосредственно с ее поверхности, показал очень низкий сигнал флуоресценции. Кроме того, положение максимумов также не давало четкой картины для установления природы НП (рис. 7). Дело в том, что нефтепродукты достаточно прочно удерживаются в матрице сорбента и их избыточное содержание приводит к концентрационному тушению флуоресценции НП на поверхности сорбента. Использование данных сорбционных пластин для анализа методом флуоресцентной спектроскопии непосредственно с их поверхности следует признать нецелесообразным.

Оценка возможности применения сорбционных пластин из полиуретанового эластомера для извлечения микроколичеств нефтепродуктов при анализе влажных объектов-носителей и водных сред показала эффективность использования данного сорбента.

На рис. 8—10 представлены результаты анализов элюатов нефтепродуктов после твердофазной экстракции при исследовании выгоревших объектов-носителей НП.

При анализе спектров флуоресценции (рис. 8) в случае бензина АИ-95 в обоих спектрах наблюдается максимум (плечо) в области 280...290 нм, свидетельствующий о наличии в пробе некоторого количества моноароматических углеводородов (гомологи бензола). Наблюдаются также максимумы в области 300...330 нм, 340...370 нм, 370...390 нм, 390...410 нм и небольшое плечо в области 420...430 нм. В случае дизельного топлива наблюдаются максимумы в области 300...330 нм,

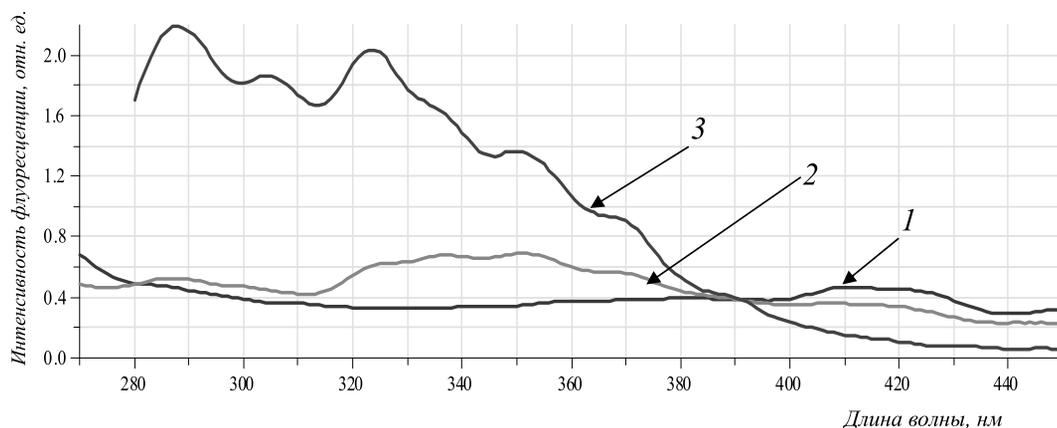


Рис. 7. Спектры флуоресценции полиуретанового эластомера (1), ПУ эластомера с нанесенным нативным бензином АИ-95 (2), элюата бензина АИ-95 после твердофазной экстракции (3)

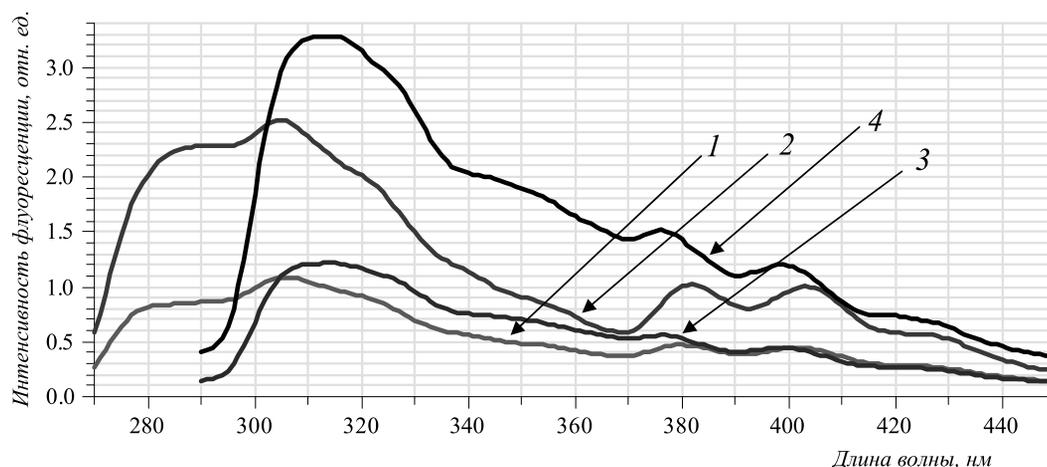


Рис. 8. Спектры флуоресценции элюатов и экстрактов некоторых выгоревших светлых НП после ТФЭ на полиуретановый эластомер: 1 — бензин АИ-95 (элюат после ТФЭ); 2 — бензин АИ-95 (экстракт из объекта-носителя НП); 3 — дизельное топливо (элюат после ТФЭ); 4 — дизельное топливо (экстракт из объекта-носителя НП)

свидетельствующие о наличии в пробе бициклических ароматических углеводородов (нафталин и его гомологи), 340...370 нм — трициклических ароматических углеводородов типа фенантрен и его гомологи, 370...390 нм, 390...410 нм, 410...430 нм — трициклических ароматических углеводородов типа антрацен и его гомологов, которые содержатся в выгоревших нефтепродуктах легкокипящих нефтяных фракций [1].

На хроматограммах элюатов анализируемых нефтепродуктов также присутствуют основные идентификационные пики, характерные для автомобильного бензина и дизельного топлива.

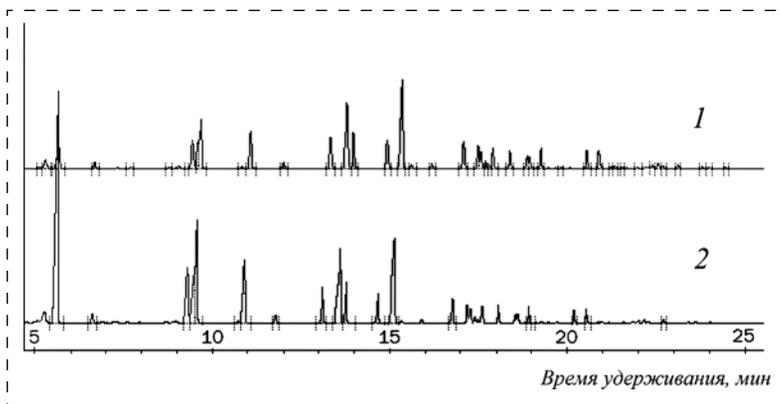


Рис. 9. Хроматограммы выгоревшего бензина АИ-95 после ТФЭ на полиуретановый эластомер (анализ элюата) (1) с арбитражной пробой бензина АИ-95 (2)

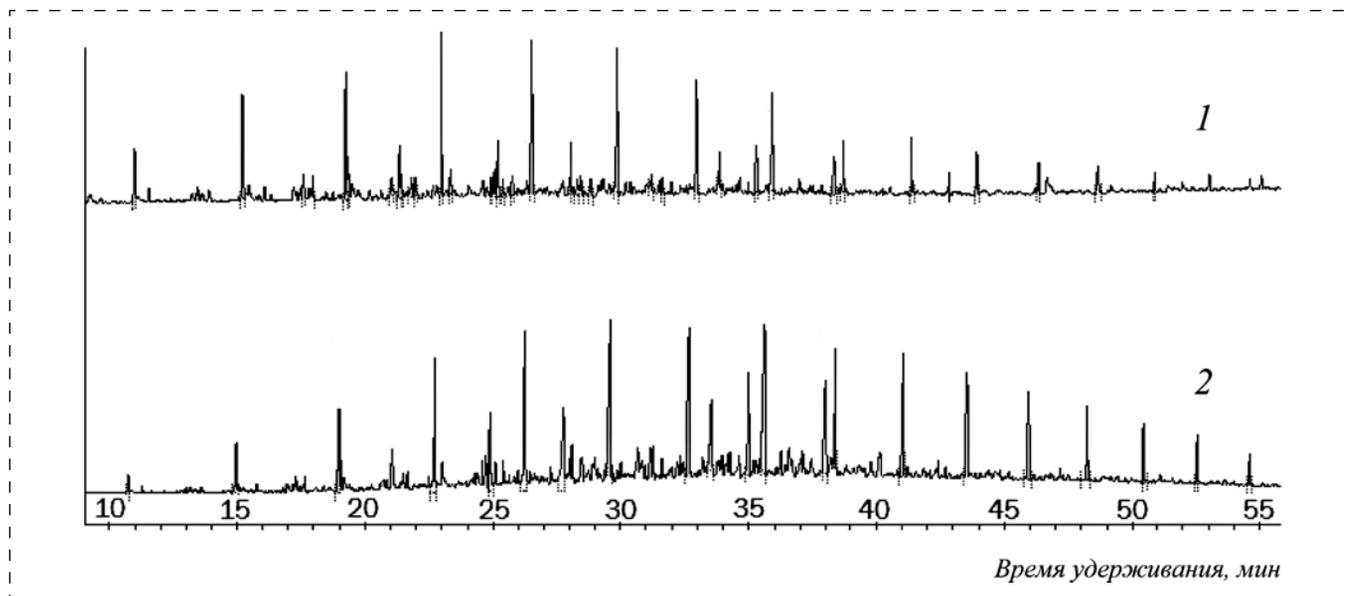


Рис. 10. Хроматограммы выгоревшего дизельного топлива после ТФЭ на полиуретановый эластомер (анализ элюата) (1) с арбитражной пробой дизельного топлива (2)

Как видно, в случае выгоревшего бензина АИ-95 (см. рис. 9) на хроматограмме наблюдаются характерные пики ароматических углеводородов, а именно толуола (время удерживания 5,6 мин), этилбензола (время удерживания 9,3 мин), п-, м-ксилола (время удерживания порядка 9,5 мин), о-ксилола (время удерживания 10,9 мин) и триметилзамещенных бензола (с временами удерживания: мезитилен — 13,8 мин, псевдокумол — 15,1 мин и гемимеллитол — 16,8 мин), а также тетраметилбензола (время удерживания для 1,2,4,5-изомера — 20,2 мин и для 1,2,3,5-изомера — 20,5 мин соответственно).

В случае выгоревшего дизельного топлива (см. рис. 10) на хроматограмме наблюдается "гребенка" нормальных алканов с числом атомов углерода в цепи от C_{10} до C_{25} (время удерживания от 10,6 до 54,5 мин соответственно) и дополнительная "гребенка" пиков изоалканов с числом атомов углерода в цепи от C_{14} до C_{18} (время удерживания от 24,8 до 37,9 мин соответственно). Отличительной особенностью выгоревших дизельных топлив от других выгоревших НП среднедистиллятной фракции является наличие на хроматограмме пиков алканов изостроения пристана (время удерживания 34,9 мин) и фитана (время удерживания 37,9 мин).

Таким образом, применение полиуретанового эластомера в качестве сорбента для ТФЭ возможно только с последующим анализом элюатов НП с сорбционной пластины. Однако, как показала практика, длительное хранение НП на такого рода сорбционных пластинах не рекомендуется

по причине того, что нефтепродукт со временем прочно проникает в матрицу сорбента, это приводит к потере целевого компонента.

Заключение

Твердофазная экстракция с применением в качестве сорбента полиуретанового эластомера и микропористого полиэтилена может быть использована для извлечения из водных сред и влажных поверхностей следов светлых НП и их обгоревших остатков. Это существенно облегчает задачу обнаружения НП и их извлечения для дальнейших лабораторных исследований.

Искажений компонентного состава за счет избирательной сорбции при этом не наблюдается. По крайней мере, это относится к компонентному составу, определяемому методами газожидкостной хроматографии и флуоресцентной спектроскопии.

Сорбционные пластины из микропористого полиэтилена оптимальны для обнаружения ароматических углеводородов (в том числе полиядерных) непосредственно на месте пожара с помощью полевого флуориметрического индикатора.

Полиуретановый эластомер может быть использован для извлечения остатков нефтепродуктов, но при условии анализа элюатов с поверхности сорбционной пластины после твердофазной экстракции. Длительное хранение проб в этом случае должно быть исключено.

Многokратное снижение количества требуемого растворителя при элюировании нефтепродуктов



с сорбционной пластины по сравнению с прямой экстракцией при исследовании водных сред и влажных объектов-носителей обеспечивает снижение потерь искомым веществ, повышение оперативности и результативности экспертных исследований.

Список литературы

1. **Диагностика** и идентификация горючих жидкостей при исследовании объектов пожарно-технической экспертизы: Учебное пособие / М. Ю. Принцева, Л. А. Яценко, И. Д. Чешко, И. В. Клаптюк, М. А. Галишев, Ф. А. Деметьев. — СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС, 2017. — 148 с.
2. **Клаптюк И. В., Галишев М. А.** Анализ проб газовой фазы над объектом-носителем // Расследование пожаров. — М.: ВНИИПО, 2005. № 1. — С. 136—148.
3. **Диагностика** инициаторов горения, использующихся для поджогов, на основании исследования летучих компонентов горючих жидкостей / М. А. Галишев, С. В. Шараров, С. И. Кононов, И. В. Клаптюк, С. А. Кондратьев // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — № 3. — С. 64—71.
4. **Павлова Ю. В.** Хроматографическая идентификация при экспертном исследовании нефтепродуктов в объектах окружающей среды: дисс. ... канд. тех. наук. — СПб., 2007. — 156 с.
5. **Воронцов А. М., Павлова Ю. В., Никанорова М. Н.** Лабораторный комплект для экспресс-идентификации нефтепродуктов и определения источника загрязнения // Аналитические приборы: тезисы докл. II Всерос. конф. (Санкт-Петербург, 27 июня — 1 июля 2005 г.). — СПб., 2005. — С. 58—59.
6. **Пешкова Н. А., Воронцов А. М., Никанорова М. Н., Павлова Ю. В.** Портативный тестер для внелабораторного экспресс-обследования загрязненности нефтепродуктами природных и сточных вод // Региональная информатика—2004 "РИ-2004": тезисы докл. IX Санкт-Петербургской междунар. конф. (Санкт-Петербург, 22-24 июня 2004 г.). — СПб., 2004.
7. **ГОСТ 26996—86.** Полипропилен и сополимеры пропилена. Технические условия. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. — 34 с.
8. **Лакина Т. А., Дегтярев В. А.** Сорбирующий материал для сбора нефти и нефтепродуктов, способ его получения // Патент России № 2166362. 2001. Бюл. № 13.
9. **Стрепетов И. В., Москвичева Е. В.** Использование сорбентов на основе отходов полимерных материалов для очистки сточных вод от нефтяных загрязнений. ВГАСУ, 2006. URL: <http://www.vgasu.ru/science/schools/rkto/> (дата обращения 18.10.2010).
10. **Дьячков А. И., Калинин С. В., Покровский С. Л., Смекалова Д. П.** Полиуретановый сорбент углеводородов и способ очистки водных сред и твердых поверхностей от углеводородных загрязнений с его использованием // Патент России № 2188072. 2002. Бюл. № 24.
11. **Характеристика** пористых пленок политетрафторэтилена, полученных на основе суспензий порошков в спирте / Е. Ю. Астахов, Н. М. Больбит, Э. Р. Клишпонт и др. // Критические технологии. Мембраны. — 2005. — № 3 (27). — С. 34—40.
12. **Фторопласт-4.** URL: <http://www.lab.zaopribor.ru/printable.php?productID=156> (дата обращения 09.04.2011).
13. **Алешин Н. С.** Твердофазная флуоресценция в химических тест-методах анализа: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. — Саратов, 2011. — 23 с.
14. **Клаптюк И. В.** Ультразвуковая и твердофазная экстракция в исследовании светлых нефтепродуктов при мониторинге чрезвычайных ситуаций: дисс. ... канд. техн. наук. — СПб., 2013. — 135 с.
15. **Энциклопедия полимеров** (Энциклопедии. Словари. Справочники) / Под ред. В. А. Кабанова. Т. 3. — М.: "Советская Энциклопедия", 1977. — 1152 с.
16. **Ельяшевич Г. К., Розова Е. Ю., Карпов Е. А.** Микропористая полиэтиленовая пленка и способ ее получения // Патент России № 2140936. 1999. Бюл. № 31.
17. **Чешко И. Д., Клаптюк И. В., Принцева М. Ю., Ельяшевич Г. К., Розова Е. Ю.** Способ обнаружения на месте пожара остатков ароматических углеводородов, входящих в состав интенсификаторов горения // Патент России № 2497102. 2013. Бюл. № 30.
18. **Райт П., Камминг А.** Полиуретановые эластомеры, пер. с англ. — Л., 1973. — 304 с. Уретановые эластомеры. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4680.html> (дата обращения 10.02.2012).

I. V. Klapyuk, Leading Researcher, e-mail: irina.klapyuk@mail.ru,
I. D. Cheshko, Professor, Leading Researcher, **S. V. Shararov**, Professor,
Head of Department, **V. A. Lovchikov**, Professor, Saint-Petersburg University of State
Fire Service of EMERCOM of Russia

Application of Solid-Phase Extraction by Hydrophobic Polymeric Sorbents at Detection of Traces of Oil Products on Places of Emergence of Emergency Situations

The possibility of application of various hydrophobic polymeric sorbents for extraction of microamounts of refined oils from aqueous and wet mediums at investigation of emergency situations (fires) and monitoring of places of their emergence is considered. Polymeric materials of a different molecular structure are investigated. The analysis of influence of the nature of a sorbent on process of a sorption and structure of the taken components is carried out. The effectiveness of application of solid-phase extraction with use of a polyurethane sorbent and microporous polyethylene for extraction of oddments of refined oils, their preservation and use for a further research is shown.

Keywords: sorbent, polymer, oil product, solid-phase extraction, sample preparation, sorption, emergency situation, fire, arson, monitoring

References

1. **Diagnosics** and identification of combustible liquids at a research of objects of fire investigation: Manual / M. Yu. Printseva, L. A. Yatsenko, I. D. Cheshko, I. V. Klapyuk, M. A. Galishev, F. A. Dementiev. Saint-Petersburg: GPS Saint-Petersburg University, 2017. 148 p.
2. **Klapyuk I. V., Galishev M. A.** The analysis of tests of a gas phase over an object carrier. *Investigation of the fires*. 2005. No. 1. P. 136–148.
3. **Diagnosics** of the initiators of combustion who are used for arsons on the basis of a research of volatile components of combustible liquids / M. A. Galishev, S. V. Sharapov, S. I. Kononov, I. V. Klapyuk, S. A. Kondratyev. *Fire and explosion safety*. 2005. No. 3. P. 64–71.
4. **Pavlova Yu. V.** Chromatographic identification at an expert research of oil products in objects of a surrounding medium: diss. ... cand. of tech. sciences. Saint-Petersburg, 2007. 156 p.
5. **Vorontsov A. M., Pavlova Yu. V., Nikanorova M. N.** A laboratory set for express identification of oil products and definition of a polluter. *Analytical devices: theses of reports II Vseros. conference (St. Petersburg, on June 27 — on July 1, 2005)*. Saint-Petersburg, 2005. P. 58–59.
6. **Peshkova N. A., Vorontsov A. M., Nikanorova M. N., Pavlova Yu. V.** A portable tester for nonlaboratory express inspection of impurity oil products natural and sewage. *Regional informatics-2004 of "RI-2004": theses of reports The IX Saint-Petersburg international conference* (Saint-Petersburg, on June 22–24, 2004). Saint-Petersburg, 2004.
7. **GOST 26996–86.** Polypropylene and copolymers of a propylene. Technical specifications. Moscow: IPK Standards Publishing House, 2002. 34 p.
8. **Lakina T. A., Degtyarev V. A.** The sorbing material for collecting naphtha and oil products, a way of its receiving. *Patent Russia No. 2166362. 2001, Bulletin N. 13.*
9. **Strepetov I. V., Moskvicheva E. V.** Use of sorbents on the basis of a wastage of polymeric materials for a sewage disposal from oil pollution//VGASU, 2006. URL: <http://www.vgasu.ru/science/schools/rkto/> (date of access 18.10.2010).
10. **Dyachkov A. I., Kalinin S. V., Pokrovsky S. L., Smekalova D. P.** A polyurethane sorbent of hydrocarbons and a way of cleaning of aqueous mediums and solid surfaces from hydrocarbonic pollution with its use. *Patent of Russia No. 2188072. 2002. Bulletin No. 24.*
11. **The characteristic** of the porous films of polytetrafluoroethylene received on the basis of suspensions of powders in Alcohol. E. Yu. Astakhov, N. M. Bolbit, E. R. Klinshpont etc. *Critical technologies. Membranes*. 2005. No. 3 (27). P. 34–40.
12. **Fluoroplastic-4.** URL: <http://www.lab.zaopribor.ru/printable.php?productID=156> (date of access 09.04.2011).
13. **Alyoshin N. S.** A solid-phase bloom in chemical test methods of the analysis: Abstract dic. ... cand. chem. sci. Saratov, 2011. 23 p.
14. **Klapyuk I. V.** Ultrasonic and solid-phase extraction in a research of refined oil products when monitoring emergency situations: diss. ... cand. of tech. sciences. Saint-Petersburg, 2013. 135 p.
15. **Encyclopedia** of polymers (Encyclopedias. Dictionaries. Reference books). Under the editorship of V. A. Kabanov. T. 3. Moscow: "The Soviet Encyclopedia", 1977. 1152 p.
16. **Elyashevich G. K., Rozova E. Yu., Karpov E. A.** Microporous polyethylene film and way of its receiving. *Patent of Russia*. No. 2140936. 1999. Bulletin No. 31.
17. **Cheshko I. D., Klapyuk I. V., Printseva M. Yu., Elyashevich G. K., Rozova E. Yu.** Sposob of detection in situ the fire of oddments of the aromatic hydrocarbons which are a part of intensifiers of combustion. *Patent of Russia*. No. 2497102. 2013. Bulletin No. 30.
18. **Wright P., Cumming A.** Polyurethane elastoplastics, the lane with English — Leningrad, 1973. 304 p. Urethane elastoplastics. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4680.html> (date of access 10.02.2012).

Информация

Продолжается подписка на журнал "Безопасность жизнедеятельности" на второе полугодие 2018 г.

Оформить подписку можно в любом почтовом отделении,
через подписные агентства или непосредственно в редакции журнала

Подписной индекс по Объединенному каталогу:

"Пресса России" — 94032

Адрес редакции: 107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4,
Издательство "Новые технологии",
редакция журнала "Безопасность жизнедеятельности"

Тел.: (499) 269-53-97, (499) 269-55-10. E-mail: bjd@novtex.ru

УДК 631.416: 504.73

В. Г. Двуреченский, канд. биол. наук, доц., e-mail: dvu-vadim@mail.ru, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), науч. сотр., Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, **А. Г. Благодатнова**, канд. биол. наук, доц., Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), доц., Новосибирский государственный педагогический университет

Мониторинг экологического состояния рекреационных объектов города Новосибирска

Представлена почвенно-экологическая оценка одного из крупнейших рекреационных объектов города Новосибирска — парка культуры и отдыха "Заельцовский". Сделан анализ физико-химических и биологических свойств почвы. Определена отрицательная корреляция между степенью дигрессии растительного покрова и содержанием органического вещества и влагоемкостью почвы; положительная корреляция между стадией дигрессии экосистем и фитотоксичностью почвы.

Ключевые слова: рекреационные объекты, почвенный покров, экологическая оценка, физико-химические свойства почвы, фитотоксичность, дигрессия экосистем

Введение

Экологический мониторинг парковых зон позволяет оценить степень негативного антропогенного воздействия в результате эксплуатации данных территорий в рекреационных целях, прогнозировать дальнейшее состояние парковых экосистем и определить оптимальные меры по их поддержанию и восстановлению. В крупных развивающихся городах постоянно растет уровень антропогенного воздействия на объекты природы. В связи с этим парковые зоны приобретают экологические, образовательно-просветительские и другие функции. Актуальность комплексной экологической оценки парковых территорий возрастает в наши дни. Определение почвенно-экологического состояния позволяет дать оценку состояния территории в настоящем, прогнозировать изменения в будущем, разработать стратегию рационального использования и дальнейшего развития территорий парка [1–3].

Активная деятельность человека в городе приводит к изменению физических, биохимических и микробиологических процессов в почвах, а следовательно, и к морфофункциональным нарушениям в растениях — выпадению некоторых видов, общему обеднению флоры, уменьшению генетического разнообразия отдельных видов, упрощению структуры, унификации, снижению продуктивности и стабильности растительного покрова. В первую очередь почва, а потом и растительность

урбанизированных территорий нуждается в постоянном менеджменте, непрерывной деятельности, направленной на поддержание и улучшение почвенной составляющей, ее нормального функционирования и продуктивности [4–6].

Цель исследования: оценить почвенно-экологическое состояние рекреационного ландшафта.

Задачи исследования:

1. Проанализировать физико-химические и биологические свойства почв, формирующихся на проблемных участках.
2. Определить зависимость состояния ландшафта от свойств почв.
3. Выявить тенденции прогрессии или деградации экосистемы.
4. Дать рекомендации для поддержания экосистемы в стабильном состоянии.

Объекты и методы исследования

Парк культуры и отдыха "Заельцовский" (ПКиО "Заельцовский") находится на северо-западе города Новосибирска, с выходом к реке Обь. Это один из самых старых парков Новосибирска, ему более 80 лет и его называют "зеленой жемчужиной" города. Парк расположен на территории Заельцовского бора — природного лесного массива Новосибирска. Общая площадь парка около 35 га. В нем присутствуют не только фоновые растительные группировки, но и множество элементов ландшафтного дизайна.

Фоновыми почвами парка являются дерново-подзолистые почвы, формирующиеся на песках речных отложений либо супесях с прослойками суглинка. Древесная растительность представлена, в основном, сосной обыкновенной с присутствующими в составе древостоя осиной, березой. Кустарники представлены кленом, рябиной, черемухой, малиной. Травянистая растительность лесная, в различных ассоциациях. Фрагментарно присутствует моховой покров.

Исследования проведены на территории парка в течение полевого сезона 2015—2016 гг. Было отобрано 216 почвенных образцов (в пределах экосистем различной степени дигрессии). Определены стадии дигрессии растительного покрова [7].

В первый кластер — ненарушенные экосистемы — вошли три площадки. На данных площадках подрост, подлесок, напочвенный покров не нарушены и являются характерными для данного типа леса. Проективное покрытие мхов составляет 30...40 %, травостоя из лесных видов — 20...30 %.

Второй кластер — начальная стадия дигрессии — представлен одной пробной площадкой. Изменение лесной экосистемы незначительно. Проективное покрытие мохового покрова составляет порядка 20 %, травяной покров — до 50 %. В травяном покрове появляются луговые травы. В подросте и подлеске присутствуют поврежденные и усыхающие экземпляры. В древостое больные деревья составляют не более 20 % от их общего количества.

Третий кластер — средняя стадия дигрессии — отмечен на трех площадках, характеризующихся изменением почвенного покрова, на котором формируются единичные лесные травянистые растения с увеличением доли луговых видов. В четвертый кластер — нарушенные экосистемы (Д₃) — вошли две площадки, растительность которых представлена почти луговыми видами. Мхи отсутствуют. Проективное покрытие травяного покрова составляет около 40 %. Подрост и подлесок отсутствуют.

Отбор и пробоподготовка произведены в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01—83 [8]. Средняя проба составлена из индивидуальных проб, отобранных равномерно со всей площади участка. Пробы с таких мест, как полосы около дорог, западины и прочее, не брались. Пробные площадки намечались по координатной сетке с равными расстояниями, указывались их номера и координаты. При определении почвенных свойств руководствовались ГОСТами [9—13].

Результаты исследования

Гидролитическая кислотность, определяемая катионами водорода, переходящими в почвенный раствор, — более общая форма кислотности,

которая включает в себя активную, обменную и ту часть потенциальной, менее подвижной, которая не учитывается при определении обменной кислотности. Гидролитическую кислотность используют также при определении нуждаемости почв в известковании.

Максимальные показатели гидролитической кислотности (4,20...5,68 мг-экв/100 г почвы) наблюдаются на участках с минимальной стадией дигрессии. Минимальные показатели (0,47...1,02 мг-экв/100 г почвы) соответствуют участкам, наиболее затронутым деятельностью человека (две точки). Средний показатель составил 2,29 мг-экв/100 г почвы. Низкая кислотность почв ПКиО "Заельцовский" свидетельствует о достаточно высоком уровне дигрессии экосистемы. Выявлена положительная корреляция: минимальным значениям показателя гидролитической кислотности почвы соответствуют практически ненарушенные экосистемы. Различные участки требуют индивидуального подхода для определения необходимости известкования почв (вне зависимости от степени дигрессии растительного покрова).

Солевая вытяжка почвы — вытяжка, полученная в результате взаимодействия раствора соли с почвой, используется для определения значения величины рН, являющейся показателем *обменной кислотности почвы*, которая обусловлена количеством ионов водорода и алюминия, находящихся в обменном состоянии в составе почвенного поглощающего комплекса. В почвах, имеющих слабокислую реакцию водной вытяжки, обменная кислотность незначительна, а в щелочных почвах полностью отсутствует. Обменная кислотность регулирует реакцию почвенного раствора.

При взаимодействии твердой фазы почвы с катионами растворимых солей, образующихся вследствие минерализации органических веществ, или с катионами вносимых в почву минеральных удобрений обменнопоглощенные ионы водорода и алюминия переходят в раствор и увеличивают актуальную кислотность, а если почвенный раствор нейтрализуется, то благодаря обменной кислотности он снова подкисляется [14].

Показатели реакции среды по солевой вытяжке почвы позволили установить обменную кислотность в диапазоне от 5,47 до 6,25 единиц. Максимальное значение данного параметра (6,25) зафиксировано в точке с минимальной антропогенной нагрузкой. Среднее значение (5,86) присуще экосистемам, находящимся под незначительным антропогенным прессингом. Минимальное значение (5,47) характерно для нарушенных экосистем. Достоверной зависимости между уровнем кислотности солевой вытяжки почвы и степенью нарушения экосистемы не выявлено (коэффициент



корреляции равен 0,3 по версии программы Office Excel). Тем не менее, явно диагностируется нейтральность исследованных почв по значению величины рН солевой вытяжки почвы.

По точкам, в порядке прохождения маршрута пробоотбора, закономерность в изменении рН водной вытяжки почвы не отмечается. Максимальное значение рН = 7,56, минимальное — рН = 6,16. Если расположить точки в порядке увеличения степени дигрессии, наблюдается тенденция к уменьшению значения рН водной вытяжки. Среднее значение показателя кислотности водной вытяжки всех проб почвы — 6,72, стандартное отклонение — 0,49. Наблюдается тренд от слабощелочных и нейтральных почв при низких степенях дигрессии к слабокислоте типу с повышением степени дигрессии. Следовательно, показатели рН водной вытяжки можно использовать при оценке экологического состояния экосистемы. Почвы нарушенных экосистем имеют более низкие средние показатели рН, чем почвы экосистем, менее подвергнутых антропогенезу.

Показатель количества органического вещества в почве является индикатором состояния почвенного покрова. Чем больше доля органического вещества в почве, тем почва плодороднее.

Динамика показателей органического вещества почвы имеет тенденцию к уменьшению при увеличении степени нарушенности экосистемы. Максимальное количество органического вещества (56,03 %) наблюдается в точке, в которой экосистема находится на начальной стадии дигрессии. Изменение лесной среды незначительно. Проектное покрытие мохового покрова уменьшается до 20 %, травяного покрова увеличивается до 50 %. Появляются в травяном покрове луговые травы. В подросте и подлеске отмечаются поврежденные и усыхающие экземпляры. В древостое больные деревья составляют не более 20 % от их общего количества. Минимальное количество органического вещества (14,27 %) зафиксировано в точке, которая соответствует существенно нарушенной экосистеме. Среднее значение органического вещества на территории ПКЮ "Заельцовский" порядка 32 %.

Наблюдается достоверная отрицательная корреляция между количественными показателями органического вещества обследованных территорий и степенью их дигрессии в большинстве случаев: при увеличении степени нарушенности экосистемы показатель содержания органического вещества уменьшается (коэффициент корреляции составляет 0,7 единиц).

Фитотоксичность почвы — свойство почвы, обусловленное наличием загрязняющих веществ — интоксикантов, подавляющих рост и развитие высших растений. Метод определения фитотоксичности позволяет определить степень угнетения почвами роста и размножения высших растений в контролируемых условиях. В ходе проведенных исследований выявлена зависимость степени фитотоксичности почвы от стадии дигрессии экосистемы. Максимальное значение фитотоксичности — 93,3 %, минимальное — 66,7 %, среднее — 82,6 %. Происходит незначительное изменение показателей дигрессии почвы в сторону оптимизации состояния. Максимальное значение фитотоксичности (93,3 %) наблюдается на сильно деградированных участках в двух точках. Мхи отсутствуют. Проектное покрытие травяного покрова составляет около 40 %, из них 50 % — луговые травы.

Наименьшее значение фитотоксичности (66,7 %) зафиксировано в ненарушенных экосистемах в трех точках. Подрост, подлесок и напочвенный покров не нарушены и являются характерными для данного типа леса. Проектное покрытие мхов составляет 30...40 %, травостоя из лесных видов — 20...30 %. Средние значения фитотоксичности (82,6 %) зарегистрированы в точке, для которой характерно незначительное изменение экосистемы. Проектное покрытие мохового покрова уменьшается до 20 %, травяного покрова увеличивается до 50 %. Появляются в травяном покрове луговые травы (5...10 %), не характерные для данного типа экосистемы. В подросте и подлеске поврежденные и усыхающие экземпляры составляют 5...20 %.

В результате проведенных исследований выявлена достоверная положительная корреляция между показателями фитотоксичности и степенью дигрессии экосистемы: чем выше степень нарушенности экосистемы, тем выше значения фитотоксичности почвы (коэффициент корреляции равен 0,8).

Для оценки экологического состояния парков и лесопарков в городской среде может применяться такой показатель, как *плотный остаток водной вытяжки почвы*, под которым подразумевают сухой остаток после упаривания отфильтрованного раствора (водной вытяжки). Этот показатель измеряется в % для твердых объектов и в мг/л для растворов [15]. Основным критерием оценки является степень засоленности почв. При оценке засоления, как правило, определяются анионы (CO_3^{2-} ; HCO_3^- ; Cl^- ; SO_4^{2-}) и катионы (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ ; K^+) легкорастворимых солей.

Степень засоления почв оценивают либо по общему содержанию легкорастворимых солей в почве, либо по концентрации солей в почвенных растворах или фильтратах из насыщенных водой почвенных паст. Уровни этих показателей используют в качестве диагностических. Так, к засоленным относят почвы, у которых концентрация легкорастворимых солей в почвенных растворах превышает 5...7 г/л, или почвы, содержащие 0,05...0,15 % легкорастворимых солей в зависимости от их состава. Динамика показателя степени засоления почв определяет наличие тех или иных стадий дигрессии с сопутствующим антропогенным прессингом. Степень засоленности почв может возрастать. На ненарушенных территориях этот показатель держится на низком уровне.

Максимальное значение рассматриваемого показателя (1,73 мг/л) свидетельствует о высокой степени засоления почвы в данной маршрутной точке. Среднее значение (0,40 мг/л) наблюдается в точке, в которой отмечается переходная стадия дигрессии. Минимальное значение (0,02 мг/л) означает, что это ненарушенные участки. Стандартное отклонение степени засоления почв имеет значение 0,49 мг/л. Отмечено постепенное повышение уровня засоленности почв, приводящее к обеднению растительных сообществ экосистемы ПКиО "Заельцовский".

Показатель влагоемкости почвы характеризует способность почвы поглощать и удерживать то или иное количество воды. Различают полную, капиллярную и наименьшую влагоемкость. Последняя соответствует максимальному количеству влаги, удерживаемой почвой при глубоком залегании грунтовых вод. Этот показатель носит вариативный характер, т. е. он непостоянен. Тем не менее он дает возможность фиксировать влажность почвы в определенный момент времени. Именно поэтому показатель влагоемкости почвы удобен для оценки современного состояния экосистемы. Показатель влагоемкости почвы на исследованной территории имеет некоторую тенденцию к снижению: от участков, практически ненарушенных, до значительно деградированных.

Максимальное значение влагоемкости почвы (67 %) характерно для точки, где изменение экосистемы не наблюдается. Подрост, подлесок и напочвенный покров не нарушены и являются характерными для данного типа леса. Минимальное значение влагоемкости почвы (15,12 %) наблюдается в точке с нарушенной экосистемой. Подрост и подлесок отсутствуют. Среднее

значение показателя влагоемкости почвы равно 43,53 %. С определенной долей вероятности, можно констатировать, что показатель влагоемкости почвы зависит от стадии ненарушенности экосистемы. Выявлена достоверная отрицательная корреляция между степенью нарушения растительного покрова и показателями влагоемкости почвы: чем меньше стадия ненарушенности, тем выше показатель влагоемкости почвы (коэффициент корреляции равен 0,7). Следует отметить, что на большей части исследованной территории показатель влагоемкости почвы имеет относительно постоянное значение.

Массовая доля сухого вещества — отношение массы сухого остатка почвы к массе почвы до ее высушивания, выраженное в процентах, показывает содержание органических и неорганических веществ в почве в отсутствие газов и воды. Максимальное значение показателя массовой доли сухого вещества (86,91 %) соответствует точке с ненарушенной экосистемой. Минимальное значение (69,22 %) соответствует точке с сильной степенью нарушения экосистемы. Среднее значение массовой доли сухого вещества всех проб почвы составляет 77,35 %. Стандартное отклонение 6,93. Наблюдается тенденция перехода от почв с меньшей долей сухого вещества с низкой стадией дигрессии к почвам с высокой долей сухого вещества с высокой стадией дигрессии. Данная тенденция не прослеживается в точках (с ненарушенной системой) и при средней стадии дигрессии.

Показатель массовой доли сухого вещества может быть использован для оценки состояния почвенного покрова. Почвы экосистем со значительными нарушениями имеют массовую долю сухого вещества несколько выше, чем почвы ненарушенных экосистем.

На основании анализа данных установлено, что направление почвообразования не только в ЦПКиО "Заельцовский", но и в других лесопарковых зонах Новосибирска, которые расположены ближе к центру города, имеет свою специфику, обусловленную определяющими почвы особенностями климата, рельефа, биоценоза и материнскими породами [16]. Немаловажную роль в настоящее время играет фактор почвообразования — *антропогенное воздействие* [17]. Отрицательное антропогенное воздействие связано с деятельностью огромного мегаполиса, со всеми его урбаногенными характеристиками (выбросы, стоки и накопление твердых и жидких отходов промышленных предприятий, предприятий ЖКХ). Исправить это положение



поможет воспитание подрастающего поколения в духе бережного отношения к окружающей природе, а также принятие законов и других нормативных и правовых актов, таких как законы "...О почве...", "...Об утилизации бытовых отходов..." и т. п.

Выводы

1. Выявлены тенденции изменения физико-химических и биологических свойств почвы, по которым можно судить о взаимосвязи дигрессии экосистем с уровнем рН, гидролитической кислотностью, содержанием органического вещества, фитотоксичностью, засоленностью и влагоемкостью почвы.

2. Определена достоверная отрицательная корреляция между степенью дигрессии растительного покрова экосистем ПКиО "Заельцовский" и содержанием органического вещества и влагоемкостью почвы; достоверная положительная корреляция между стадией дигрессии экосистем и фитотоксичностью почвы.

3. Фоновые дерново-подзолистые почвы деградируют под влиянием антропогенного воздействия, тем не менее почвенно-экологическое состояние парка следует считать хорошим.

4. Без проведения лесотехнических, агротехнических мероприятий по улучшению качества растительного и почвенного покровов, повышению бонитета древостоя и почв экосистема будет быстро деградировать, что приведет к появлению новых экологических систем с набором менее качественных характеристик.

5. С целью достижения максимального экологического эффекта, применимого к конкретному ландшафту, необходимо проводить мониторинг каждого этапа работ по восстановлению почвенного покрова и леса.

Список литературы

1. **Эколого-гигиеническая** оценка качества почв урбанизированных территорий / М. А. Водянова, И. А. Крятов, Л. Г. Донерьян и др. // Гигиена и санитария. — 2016. — Т. 95. — № 10. — С. 913—916.
2. **Фотографное** звено почв как показатель нарушенности экосистемы / Ж. Ф. Пивоварова, А. Г. Благодатнова, А. Е. Илюшенко и др. // *Фундаментальные и прикладные аспекты современных эколого-биологических и медико-технологических исследований: Коллективная монография: в 3-х томах. Сер. "Золотая монографическая серия"*. — Рижон Ле-Цион, 2016. — С. 109—135.
3. **Почвенные водоросли** антропогенно нарушенных экосистем / Ж. Ф. Пивоварова, А. Е. Илюшенко, А. Г. Благодатнова и др. — Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2014. — 146 с.
4. **Благодатнова А. Г.** Экологическая оценка почвенного покрова вдоль автомагистралей (город Новосибирск) // *Безопасность в техносфере*. — 2015. — Т. 4. — № 6. — С. 3—11.
5. **Эколого-гигиеническая** оценка качества почв Ивановской области / И. В. Румянцев, А. М. Дунаев, А. Н. Сивухин и др. // *Безопасность в техносфере*. — 2017. — Т. 6. — № 1. — С. 31—37.
6. **Писарева А. В., Степанова Л. П., Яковлева Е. В.** Физико-химическая оценка восстановления плодородия нарушенных серых лесных почв при их рекультивации // *Безопасность в техносфере*. — 2015. — Т. 4. — № 2. — С. 27—32.
7. **Зеленый Новосибирск.** Концепция развития озелененных общественных пространств общегородского значения / А. Ю. Ложкин, М. С. Смирнова, К. А. Голодяев и др. — Новосибирск: Издательский Дом "Вояж", 2017. — Книга 1. — 73 с.
8. **ГОСТ 17.4.3.01—83** Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. URL: <http://docs.cntd.ru/search/> (дата обращения 13.01.2017).
9. **ГОСТ Р ИСО 22030—2009** Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. URL: <http://www.consultant.ru/search/> (дата обращения 16.06.2016).
10. **ГОСТ Р ИСО 11465—2011** Качество почвы. Определение массовой доли сухого вещества и массового отношения влаги гравитическим методом. URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/51862/> (дата обращения 11.06.2017).
11. **ГОСТ 26423—85** Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. URL: <http://www.consultant.ru/search/> (дата обращения 16.06.2017).
12. **ГОСТ 26212—91** Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. URL: <http://docs.cntd.ru/search/> (дата обращения 06.06.2017).
13. **ГОСТ 27821—88** Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. URL: <http://www.gost.ru/28667.html> (дата обращения 16.06.2017).
14. **Пивоварова Ж. Ф., Благодатнова А. Г., Багаутдинова З. З.** Особенности таксономической организации цианобактериально-водорослевой флоры экстремальных мест обитания как отражение различных моделей сукцессионных перестроек // *Сибирский экологический журнал*. — 2016. — Т. 23. — № 6. — С. 877—887.
15. **Плюснин В. М.** Экологическая безопасность Сибири // *Сибирский экологический журнал*. — 2014. — № 6. — С. 807—815.
16. **Докучаев В. В.** О закономерности известного географического распределения наземно-растительных почв на территории Европейской России: Сочинения. Т. II. — М.-Л.: АН СССР, 1950. — 352 с.
17. **Двуреченский В. Г.** Географо-генетическая характеристика форм железа в эмбриоземах Кузбасса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Новосибирск, 2011. — 19 с.

V. G. Dvurechensky, Research Associate, e-mail: dvu-vadim@mail.ru, Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Associate Professor, Novosibirsk State Architectural and construction University, **A. G. Blagodatnova**, Associate Professor, Novosibirsk State Architectural and Construction University, Associate Professor, Novosibirsk State Pedagogical University

Monitoring of Ecological Condition of Recreational Objects of the Novosibirsk City

The soil-ecological assessment of one of the largest recreational facilities of the Novosibirsk city — the park of culture and recreation "Zaeltsovsky" is presented. An analysis is made of the physical-chemical and biological properties of the soil. A negative correlation between the degree of vegetation cover digression and the content of organic matter and the moisture capacity of the soil was determined; positive correlation between the stage degree of ecosystem and soil phytotoxicity.

Objective. To assess the soil-ecological state of a recreational landscape. Conclusions: 1) the physico-chemical and biological properties of soils formed on problem areas are analyzed; 2) the dependence of the state of the landscape on the properties of soils was determined; 3) tendencies of ecosystem degradation are revealed; 4) recommendations are given for maintaining the ecosystem in a stable state.

Keywords: recreational sites, soil cover, ecosystem degradation, physical and chemical properties of the soil, phytotoxicity

References

1. **Jekologo-gigienicheskaja** ocenka kachestva pochv urbanizirovannyh territorij / M. A. Vodjanova, I. A. Krjatov, L. G. Doner'jan i dr. *Gigiena i sanitarija*. 2016. Vol. 95. No. 10. P. 913–916.
2. **Fototrofnoe zveno** pochv kak pokazatel' narushennosti jekosistemy / Zh. F. Pivovarova, A. G. Blagodatnova, A. E. Iljushenko i dr. *Fundamental'nye i prikladnye aspekty sovremennyh jekologo-biologicheskikh i mediko-tehnologicheskikh issledovanij*. Kollektivnaja monografija: v 3-h tomah. Serija "Zolotaja monograficheskaja serija". Rishon Le-Cion, 2016. P. 109–135.
3. **Pochvennye vodorosli** antropogenno narushennyh jekosistem / Zh. F. Pivovarova, A. E. Iljushenko, A. G. Blagodatnova i dr. Novosibirsk: Izdatel'stvo NGPU, 2014. 146 p.
4. **Blagodatnova A. G.** Jekologicheskaja ocenka pochvennogo pokrova vdol' avtomagistralej (gorod Novosibirsk). *Bezopasnost' v tehnosfere*. 2015. Vol. 4. No. 6. P. 3–11.
5. **Jekologo-gigienicheskaja** ocenka kachestva pochv Ivanovskoj oblasti / I. V. Rumjancev, A. M. Dunaev, A. N. Sivuhin i dr. *Bezopasnost' v tehnosfere*. 2017. Vol. 6. No. 1. P. 31–37.
6. **Pisareva A. V., Stepanova L. P., Jakovleva E. V.** Fiziko-himicheskaja ocenka vosstanovlenija plodorodija narushennyh seryh lesnyh pochv pri ih rekul'tivacii. *Bezopasnost' v tehnosfere*. 2015. Vol. 4. No. 2. P. 27–32.
7. **Zeljonj Novosibirsk**. Konceptija razvitija ozelenennyh obshhestvennyh prostranstv obshhegorodskogo znachenija / A. Ju. Lozhkin, M. S. Smirnova, K. A. Golodjaev i dr. Novosibirsk: Izdatel'skij Dom "Vojazh", 2017. Kniga 1. 73 p.
8. **GOST 17.4.3.01–83** Ohrana prirody. Pochvy. Obshhie trebovanija k otboru prob. URL: <http://docs.cntd.ru/search/> (date of access 13.01.2017).
9. **GOST R ISO 22030–2009** Kachestvo pochvy. Biologicheskie metody. Hronicheskaja fitotoksichnost' v otnoshenii vysshih rastenij. URL: <http://www.consultant.ru/search/> (date of access 16.06.2016).
10. **GOST R IS O 11465–2011** Kachestvo pochvy. Opredelenie massovoj doli suhogo veshhestva i massovogo otnoshenija vlagi graviticheskim metodom. URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/51862/> (date of access 11.06.2017).
11. **GOST 26423–85** Pochvy. Metody opredelenija udel'noj jelektricheskoj provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoj vytjazhki. URL: <http://www.consultant.ru/search/> (date of access 16.06.2017).
12. **GOST 26212–91** Pochvy. Opredelenie gidroliticheskoj kislotnosti po metodu Kappena v modifikacii CINA0. URL: <http://docs.cntd.ru/search/> (date of access 06.06.2017).
13. **GOST 27821–88** Pochvy. Opredelenie summy pogloshhennyh osnovanij po metodu Kappena. URL: <http://www.g-ost.ru/28667.html> (date of access 16.06.2017).
14. **Pivovarova Zh. F., Blagodatnova A. G., Bagautdinova Z. Z.** Osobennosti taksonomicheskoy organizacii cianobakterial'no-vodoroslevoj flory jekstremal'nyh mest obitanija kak otrazhenie razlichnyh modelej sukcesionnyh perestroek. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*. 2016. Vol. 23. No. 6. P. 877–887.
15. **Pljusnin V. M.** Jekologicheskaja bezopasnost' Sibiri. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*. 2014. No. 6. P. 807–815.
16. **Dokuchaev V. V.** O zakonomernosti izvestnogo geograficheskogo raspredelenija nazemno-rastitel'nyh pochv na territorii Evropejskoj Rossii: Sochinenija. Vol. II. Moscow-Leningrad: Akademija of Sciences, 1950. 352 p.
17. **Dvurechensky V. G.** Geografo-geneticheskaja harakteristika form zheleza v jembriozemah Kuzbassa: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Novosibirsk, 2011. 19 p.



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Организационный комитет <http://safety.spmi.ru>

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА В XXI ВЕКЕ



25-26 октября

2018

Санкт-Петербург

Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромьинский 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 04.06.18. Подписано в печать 19.07.18. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ818.

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 "Авансед солюшнз".

Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru