



# 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.  
 ЧЕРЕШНЕВ В. А., акад. РАН,  
 д.м.н., проф.  
 АНТОНОВ Б. И.  
 (директор издательства)

**Главный редактор**

РУСАК О. Н., д.т.н., проф.

**Зам. главного редактора**

ПОЧТАРЕВА А. В.

**Редакционная коллегия:**

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

3(219)  
2019

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОХРАНА ТРУДА

Донцов С. А., Дроздова Л. Ф., Ивахнюк Г. К. Стратегия управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала ..... 3  
 Тимохин О. В. Условия труда, травматизм и заболеваемость работников сельского хозяйства Орловской области ..... 10

### ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ

Васильев С. В., Гаранина А. Э., Ким К. К., Кияшко М. Н., Спичкин Г. Л. Использование природных факторов для реабилитации условно здоровых людей ..... 15

### ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Котельников В. С., Грозовский Г. И., Сидорчук В. В., Созинова Д. Н. Оценка риска объектов хранения жидкой серы ..... 21  
 Алекина Е. В., Мельникова Д. А., Сорокина Л. В., Гашенко Ю. В. Оптимизация обучения работников знаниям, умениям и навыкам по обеспечению безопасной деятельности ..... 26

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Рыжова Л. В., Титова Т. С., Гендлер С. Г. Особенности проведения экологического мониторинга почвогрунтов при сооружении объектов метрополитена в мегаполисах ..... 31

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Наташкина Е. Ю., Сидельников С. А., Шевлякова А. Д. Проведение эвакуационных мероприятий в вузе во время чрезвычайной ситуации (на примере опыта Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского) ..... 36

### ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Квашнин А. В., Кошкарров Р. В., Бабич М. Е. Прогнозирование рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов ..... 42  
 Сперанский А. А., Мамагин С. В., Гитцович Г. А. Огнетушащая эффективность системы пожаротушения с использованием азотно-водяной смеси для защиты судовых машинных помещений ..... 48  
 Мурзинов В. Л., Мурзинов П. В., Мурзинов Ю. В. Динамические характеристики устройства спасательного прыжкового пневматического для спасения падающих с высоты людей ..... 52

### ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Буйкова Н. В., Закарюкин В. П., Крюков А. В. Электромагнитная безопасность на трассах высокоамперных токопроводов ..... 57

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, так как он включен в Международную базу данных Chemical Abstracts. Журнал также индексируется в Российском индексе научного цитирования.



# LIFE SAFETY

## БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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. (Phys.-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.)  
SHVARTSBERG L. E.,  
Dr. Sci. (Tech.)

3(219)  
2019

## CONTENTS

### LABOUR PROTECTION

- Dontsov S. A., Drozdova L. F., Ivahnjuk G. K.** Strategy for the Management of Safety and Health Personnel ..... 3  
**Timokhin O. V.** Working Conditions, Injuries and Illness of Workers of Agriculture of the Orel Region ..... 10

### HEALTH PROTECTION

- Vasil'yev S. V., Garanina A. E., Kim K. K., Kiyashko M. N., Spichkin G. L.** Use of Natural Factors for the Rehabilitation of Healthy Individuals ..... 15

### INDUSTRIAL SAFETY

- Kotelnikov V. S., Grozovsky G. I., Sidorchuk V. V., Sozinova D. N.** Risk Assessment of Liquid Sulphur Storage ..... 21  
**Alekina E. V., Melnikova D. A., Sorokina L. V., Gashenko Yu. V.** Optimizing the Employee Training to Ensure Safe Operations ..... 26

### ECOLOGICAL MONITORING

- Ryzhova L. V., Titova T. S., Gendler S. G.** Specific Features of Carrying out Ecological Monitoring of Soil Pollution During the Construction of the Subway in Megapolises ..... 31

### SITUATION OF EMERGENCY

- Natashkina E. Yu., Sidelnikov S. A., Shevlyakova A. D.** Carrying out Evacuation at the University in Emergency Situation (Based on the Experience of the Saratov State Medical University Named after V. I. Razumovsky) ..... 36

### FIRE SAFETY

- Kvashnin A. V., Koshkarov R. V., Babich M. E.** Forecasting the Risks of Fires in Case of Emergency Oil Spills ..... 42  
**Speransky A. A., Mamagin S. V., Gittcovich G. A.** Extinguishing Effectiveness of the Fire Extinguishing System Using a Nitrogen-Water Mixture for the Protection of Ship Machinery Spaces ..... 48  
**Murzinov V. L., Murzinov P. V., Murzinov Yu. V.** Dynamic Characteristics of the Device Hopping to the Pneumatic Rescue Falling People ..... 52

### SITUATION OF EMERGENCY

- Buyakova N. V., Zakaryukin V. P., Kryukov A. V.** Electromagnetic Safety in the Routes of High Current Electrical Pathways ..... 57

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

УДК 614.8.084

**С. А. Донцов**, канд. техн. наук, доц., Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II МГУПС МИИТ,  
**Л. Ф. Дроздова**, канд. техн. наук, проф., e-mail: drozdovalf@yandex.ru,  
Балтийский государственный технический университет БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, **Г. К. Ивахнюк**, д-р хим. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет)

## Стратегия управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала

*Рассмотрены вопросы оценки условий и охраны труда в ОАО "РЖД" и основные проблемы в существующей системе управления безопасностью труда. Для дальнейшего совершенствования и прогнозирования безопасности труда персонала в отрасли предложена "Стратегия управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала" (Стратегия), позволяющая сформулировать основные направления развития по предупреждению и сокращению производственного травматизма, формированию корпоративной культуры. Рассмотрены планируемые источники и механизмы ресурсного обеспечения Стратегии. Приведены приоритетные цели и контролируемые индикаторы, инструменты оценки достижения цели Стратегии.*

**Ключевые слова:** стратегия, железнодорожный транспорт, охрана здоровья, безопасность труда, производственный травматизм, риск-менеджмент

### Введение

В современных условиях создание безопасных условий труда, направленных на сохранение жизни и здоровья персонала железнодорожного транспорта, является одной из основных задач, которой ОАО "РЖД" уделяет постоянное внимание. Так, в 2017 г. в Компании число случаев производственного травматизма снижено на 19 % — с 223 человек в 2016 г. до 182 человек в 2017 г. Травматизм со смертельным исходом (число погибших) снижен на 8 % — с 28 до 26 человек. Тяжелый травматизм (число травмированных с тяжелым исходом) снижен на 21 % — с 64 до 51 человека.

Коэффициент частоты общего производственного травматизма, характеризующий число травмированных на 1000 работающих, снижен в 2017 г. на 16 %:

$K_{\text{ч0}} = 0,25$  в 2017 г. при  $K_{\text{ч0}} = 0,29$  в 2016 г.

Коэффициент частоты смертельного травматизма, характеризующий число погибших на 100 работающих, снижен на 5 %:

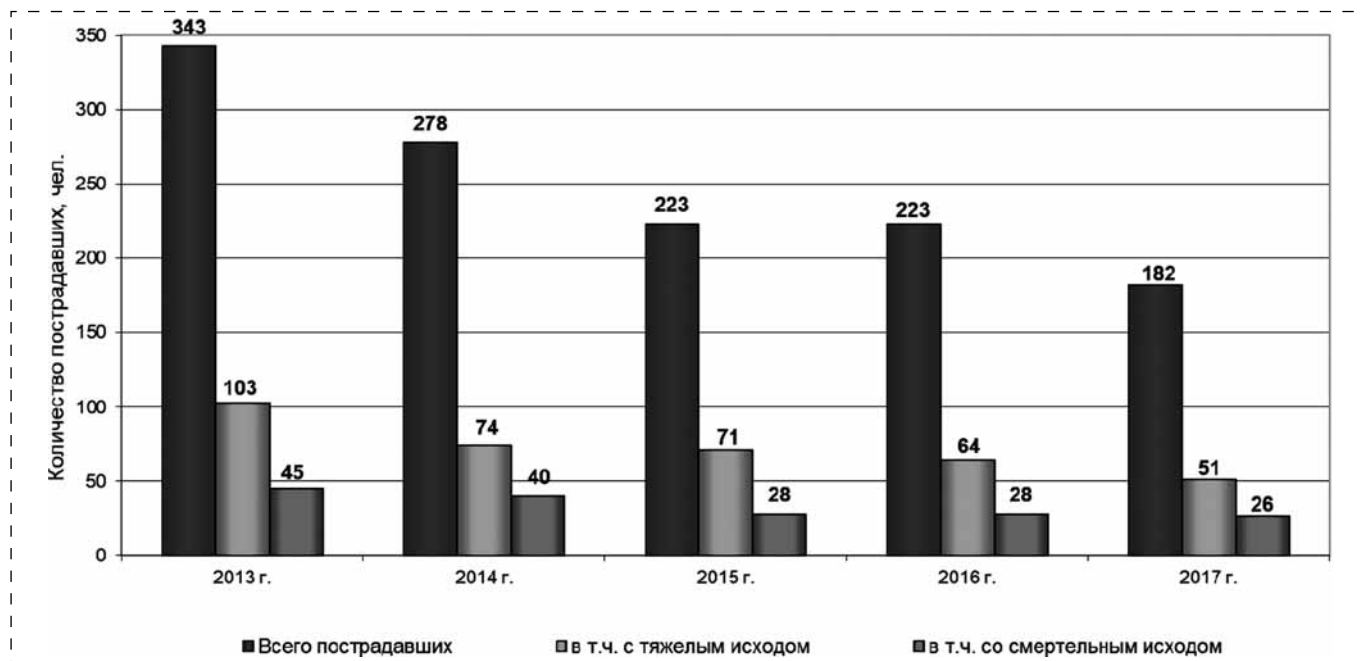
$K_{\text{чс}} = 0,036$  в 2017 г. при  $K_{\text{чс}} = 0,038$  в 2016 г.

Следует отметить также, что коэффициент травмпотерь  $K_{\text{тп}}$ , характеризующий число дней нетрудоспособности на 1000 работающих (в связи с травмами на производстве), возрос с 23 до 26 [1].

Динамика показателей производственного травматизма в ОАО "РЖД" за период с 2013 по 2017 г. представлена на рисунке. Эти данные свидетельствуют о том, что существующая система управления охраной труда (СУОТ) без внедрения новых элементов и инструментария не может уже решить данную проблему.

### Разработка "Стратегии управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала"

Департаментом охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля ОАО "РЖД" проделана большая работа: введено в действие много нормативно-методических документов по охране и безопасности труда, в частности несколько десятков стандартов организации (СТО), 36 правил и 136 инструкций, однако даже такое обилие внедряемой документации не позволяет в полной мере выполнить установленные целевые показатели по предотвращению



Динамика производственного травматизма в ОАО "РЖД" за период 2013—2017 гг.

(минимизации) травматизма персонала и в первую очередь смертельного [2].

Одной из причин этого является то, что в условиях постоянного реформирования Холдинга по разделению на уровни управления нет единого концептуального документа по безопасности труда и охране здоровья работников, а существующая "Политика ОАО "Российские железные дороги" в области охраны труда, защиты окружающей среды и промышленной безопасности" [3] является скорее декларативной и не содержит конкретной информации по механизму действия, целевым показателям, возможным рискам и путям достижения поставленных целей и задач.

По мнению авторов, в этих условиях необходим комплексный документ в виде "Стратегии управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала" (далее — Стратегия), которая будет являться базовым документом стратегического планирования, определяющим развитие политики ОАО "РЖД" в области безопасности труда и охраны здоровья персонала, направленной на обеспечение устойчивого развития Компании на долгосрочную перспективу.

Стратегия должна реализовываться путем проведения единой политики, представляющей собой комплекс скоординированных мер нормативно-распорядительного, экономического, организационного, информационного и иного характера, направленных на предотвращение и/или минимизацию профессиональных рисков в ОАО "РЖД".

Реализацию Стратегии необходимо осуществлять во взаимосвязи с "Перспективной

комплексной программой по улучшению условий и охраны труда в ОАО "РЖД" на 2016—2018 гг. и "Программой инновационного развития ОАО "РЖД" на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года".

Источниками ресурсного обеспечения программ реализации целевых параметров Стратегии будут инвестиционные программы и проекты: "Затраты на мероприятия по обеспечению условий и охраны труда", "Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте", инвестиционные проекты филиалов ОАО "РЖД", бюджеты затрат филиалов и структурных подразделений ОАО "РЖД" по направлениям деятельности.

Целевые показатели Стратегии управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала ОАО "РЖД" и сценарии ее развития приведены в табл. 1. В качестве базового года использован 2016 год — как наиболее типичный по уровню травмирования персонала ОАО "РЖД".

#### **Возможные риски при реализации "Стратегии управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала"**

Реализация Стратегии сопряжена с рисками, которые могут препятствовать достижению запланированных целей. Эти риски можно объединить в пять основных групп.

1. Макроэкономические риски. Снижение темпов роста мировой и национальной экономики и, следовательно, уменьшение норм инвестирования,

Приоритетные цели "Стратегии управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала"

| № п/п | Цель   | Сценарии развития Стратегии до 2020 года |                |
|-------|--|--|----------------|
|       |  | Инновационный                            | Консервативный |
| 1     | Повышение уровня подготовки обучаемого персонала по вопросам охраны труда, %     | 90                                       | 80             |
| 2     | Повышение соответствия системы управления охраной труда, %                       | 95                                       | 80             |
| 3     | Снижение коэффициента частоты несчастных случаев                                 | 0,25                                     | 0,27           |
| 4     | Повышение обеспеченности нормативно-методическими документами по охране труда, % | 100                                      | 95             |
| 5     | Снижение причастности работника к несчастному случаю на производстве             | 40                                       | 50             |
| 6     | Внедрение безлюдной технологии, %  | 50                                       | 25             |

сохранение высокого уровня инфляции, колебания курса национальной валюты, возможность сокращения расходов государственного бюджета на железнодорожный транспорт, высокие проценты по кредитам, усиленная конкуренция на транспортном рынке — эти макроэкономические факторы могут оказать значительное влияние на экономическую составляющую деятельности ОАО "РЖД" и, как следствие, повлиять на финансирование мероприятий, направленных на реализацию Стратегии.

2. Законодательные риски. Изменения законодательных требований, ужесточение регуляторной среды могут затруднить выполнение мероприятий, направленных на реализацию Стратегии. При отсутствии своевременного реагирования на изменения законодательства существуют риски несоответствия деятельности ОАО "РЖД" установленным требованиям.

3. Техногенные, природные и социальные риски. Крупные катастрофы техногенного (высокая степень физического и морального износа технических средств, человеческий фактор), природного (наводнения, землетрясения, оползни и т. п.) или социального характера (неправомерное вмешательство в функционирование предприятий и т. п.) могут существенно повлиять на производственные показатели деятельности, а также потребовать дополнительных капиталовложений со стороны ОАО "РЖД", что может привести к отвлечению средств от мероприятий по реализации Стратегии.

4. Инновационные риски. Главным инновационным риском является то, что в условиях нехватки профессиональных кадров и недостаточного технического обеспечения исследовательских центров проведение необходимого объема НИОКР затруднено, что может привести к снижению

темпов инновационного развития деятельности в области безопасности труда и охраны здоровья.

5. Риски, связанные со структурной реформой ОАО "РЖД". Структурная реформа в ОАО "РЖД" и организационное развитие Компании привело к образованию новых филиалов, дочерних и зависимых обществ ОАО "РЖД" и соответствующему перераспределению задач, функций и ответственности между ними. Взаимодействие в сфере безопасности труда и охраны здоровья персонала между ОАО "РЖД", дочерними и зависимыми обществами осуществляется на основании заключения соответствующих соглашений.

### Инструменты управления рисками

Управление рисками при реализации Стратегии обеспечивает возможность своевременной и эффективной выработки мер по предотвращению рисков или снижению ущерба от их наступления.

Важным моментом является контроль реализации Стратегии. Для этого предлагается сравнительная прогнозная оценка достижения запланированных значений показателей с учетом их текущего значения, в том числе с использованием аналитического инструмента — матрицы достижения целей, которая позволяет достаточно просто и корректно оценить достижения поставленной цели и задач при реализации Стратегии. Расчет целесообразно проводить 1 раз в год для структур центрального и регионального уровней.

Графическая форма матрицы для количественной оценки достижения стратегических целей приведена в табл. 2. Выделяются производственные параметры, которые в наибольшей степени определяют состояние реализации политики безопасности труда и охраны здоровья персонала



Таблица 2

Матрица количественной оценки достижения целей "Стратегии управления безопасностью труда и охраной здоровья персонала ОАО "РЖД"

| Последовательность действий для количественной оценки достижения целей (шаги 1...7) | То же будущий год   |   |  |   |  |                                       |  | Экспертные значения контролируемых показателей  | Производственные параметры |
|---|---|---|--|---|--|---------------------------------------|--|---|----------------------------|
|   | Параметры реализации политики безопасности труда и охраны здоровья персонала ОАО "РЖД" и их количественные показатели — текущий год |   |  |   |  |                                       |  |   |                            |
|   | Эксплуатационно-техническая деятельность  | Программа улучшения условий труда персонала | Организационно-управленческая деятельность | Научно-техническая деятельность                                     | Анализ и контроль человеческого фактора в области обеспечения безопасности труда | Инновационная деятельность            | Контролируемые показатели                            |   |                            |
| Шаг 1   | Уровень подготовки обучаемого персонала по вопросам охраны труда  | Аудиты безопасности                         | Коэффициент частоты несчастных случаев     | Обеспеченность нормативно-методическими документами по охране труда | Оценка причастности работника к несчастному случаю на производстве               | Оценка внедрения безлюдной технологии | Исходный уровень значений контролируемых показателей | Контролируемые показатели   |                            |
|   | 75 %  | 80 %  | 0,29                                       | 90 %  | 50 %   | 20 %                                  | Исходный уровень значений контролируемых показателей |   |                            |
| Шаг 2   | (ежегодное увеличение на 5 %)   | 90 %  | (ежегодное снижение на 5 %)                | 95 %  | (ежегодное снижение на 5 %)  | (ежегодное увеличение на 10 %)        | То же, будущий год                                   | Итоговые дискретные очки (от 0 до 10) для II вариантов значений контролируемых показателей, определяемых экспертным путем |                            |
|   | I   | 100   | 0,05                                       | 100   | 0,5  | 100                                   | 10   |   |                            |
|   | II  | 95  | 0,1  | 90  | 0,45   | 90                                    | 9  |   |                            |
|   | III   | 90  | 0,15                                       | 80  | 0,40   | 80                                    | 8  |   |                            |
|   | IV  | 85  | 0,20                                       | 70  | 0,35   | 70                                    | 7  |   |                            |
|   | V   | 80  | 0,25                                       | 60  | 0,30   | 60                                    | 6  |   |                            |
|   | VI  | 75  | 0,30                                       | 50  | 0,25   | 50                                    | 5  |   |                            |
|   | VII   | 70  | 0,35                                       | 40  | 0,20   | 40                                    | 4  |   |                            |
|   | VIII  | 65  | 0,40                                       | 30  | 0,15   | 30                                    | 3  |   |                            |
|   | IX  | 60  | 0,45                                       | 20  | 0,10   | 20                                    | 2  |   |                            |
|   | X   | 55  | 0,50                                       | 10  | 0,05   | 10                                    | 1  |   |                            |
| XI  | 50  | 0,55  | 5  | 0   | 5  | 0                                     |  |   |                            |



| Последовательность действий для количественной оценки достижения целей (шаги 1...7) | Параметры реализации политики безопасности труда и охраны здоровья персонала ОАО "РЖД" и их количественные показатели — текущий год |   |  |                                 |  |                            | Экспертные значения контролируемых показателей                | Производственные параметры |
|---|---|---|--|---------------------------------|--|----------------------------|---|----------------------------|
|   | То же будущий год   |   |  |                                 |  |                            |   |                            |
|   | Эксплуатационно-техническая деятельность  | Программа улучшения условий труда персонала | Организационно-управленческая деятельность | Научно-техническая деятельность | Анализ и контроль человеческого фактора в области обеспечения безопасности труда | Инновационная деятельность |   |                            |
| Шаг 4   | 5   | 8   | 5  | 9                               | 10   | 1                          | Очки исходного уровня контролируемых показателей, текущий год |                            |
|   | 6   | 9   | 6  | 10                              | 9  | 2                          | То же, будущий год  |                            |
| Шаг 5   | 15 %  | 15 %  | 25 %                                       | 10 %                            | 15 %   | 20 %                       | Весы значимости контролируемых показателей, текущий год       |                            |
|   | 75  | 120   | 125  | 90                              | 150  | 20                         | Оценка индекса контролируемых показателей, текущий год        |                            |
| Шаг 6   | 90  | 135   | 150  | 100                             | 135  | 40                         | То же, будущий год  |                            |
| Шаг 7   | Итоговый индекс контролируемых показателей А = 580,0  |   |  |                                 |  |                            | Оценка итогового индекса, текущий год                         |                            |
|   | А = 650,0   |   |  |                                 |  |                            | То же, будущий год  |                            |



ОАО "РЖД" (верхняя строка табл. 2). Для каждого параметра выбирается контролируемый показатель, наилучшим образом характеризующий данный параметр (шаг 1).

Фактически достигнутый по каждому контролируемому показателю результат (на текущий год) принимается за исходный уровень (шаг 2).

Экспертным путем определяется предельный результат, который может быть достигнут по каждому показателю Стратегии, и эти значения показателей оценивают максимально — 10 дискретными очками (шаг 3, верхняя строка (I)).

Так как допускается возможность ухудшения ситуации по отдельным показателям, то с помощью экспертных оценок добавляются значения показателей, оцениваемых в 0 дискретных очков (шаг 3, нижняя строка (XI)).

С помощью экспертных оценок проставляются значения контролируемых показателей, которым соответствуют дискретные очки, равные 1, 2, ..., 10 (шаг 3, с X по I строку снизу вверх). Причем дискретное очко 1 выставляется при минимальном улучшении условий и охраны труда, а 10 — при максимальном. В результате фиксируется шкала возможных оценок по безопасности труда и охране здоровья персонала для различных ситуаций по каждому из контролируемых показателей (шаг 3).

Для каждого контролируемого показателя определяются дискретные очки, соответствующие исходному уровню значений этих показателей (шаг 4). Для этого исходный уровень значений контролируемых показателей (шаг 2) сопоставляется с 11 вариантами (I—XI) его возможных значений (шаг 3). Например, показатель "Коэффициент частоты несчастных случаев" в текущем году составил 0,29 (шаг 2). Это соответствует (в данном случае приблизительно) значению 0,3 (строка VI, шаг 3), выбираемому из 11 вариантов (I—XI). Этой строке VI соответствует 5 очков (девятый столбец таблицы). Значение 5 очков записывается в столбец, соответствующий показателю "Коэффициент частоты несчастных случаев", на уровне верхней строки шага 4. В нижней строке шага 4 записываются очки на будущий год. Эта процедура повторяется для всех показателей, в результате заполняется вся строка, соответствующая шагу 4.

Каждому из контролируемых показателей присваиваются веса значимости, в сумме равные 100 (шаг 5), для показателя "Коэффициент частоты несчастных случаев" это 25 %. Конкретные значения зависят от целей и задач организации в области безопасности труда и охраны здоровья и определяются экспертным путем.

Перемножение полученного значения 5 в строке (шаг 4) на веса значимости (шаг 5) дает оценку

индекса контролируемых показателей (шаг 6). В рассматриваемом примере  $5 \times 25 \% = 125$ . Эта процедура повторяется для всех показателей, в результате заполняется вся верхняя строка (шаг 6). Сумма значений этих индексов дает итоговый индекс контролируемых показателей, равный 580 для текущего года (шаг 7).

Далее выполняются такие же операции на будущий год, а полученные итоговые индексы сравниваются. При выполнении условия А (текущий год < будущий год) Стратегия эффективна. В приведенной таблице  $A = 580$  (текущий год) < 650 (будущий год) — шаг 7 Стратегия достигла поставленных целей, а политика в области безопасности труда и охраны здоровья персонала эффективна. Перечень целевых показателей может уточняться по результатам контроля эффективности.

На основе постоянного мониторинга реализации Стратегии предусматривается проведение корректировки управленческих решений. Известно, что главной целью ОАО "РЖД" в области безопасности труда и охраны здоровья является сохранение жизни и здоровья работников, создание сбалансированной системы управления охраной труда, позволяющей повысить эффективность управления в условиях быстро изменяющихся внешних и внутренних факторов.

## Выводы

Реализация Стратегии позволит:

— обеспечить приоритет сохранения и защиты жизни и здоровья работников в процессе производственной деятельности;

— соблюсти положения международных договоров, соглашений, федеральных законов и иных нормативных правовых актов, содержащих государственные нормативные требования охраны труда, требований нормативных документов ОАО "РЖД" по охране труда, а также выполнение коллективных договоров и программ улучшения условий и охраны труда;

— содействовать общественному контролю за соблюдением прав и законных интересов работников и информировать их в области охраны труда;

— координировать деятельность филиалов и структурных подразделений ОАО "РЖД" и взаимодействие их с дочерними обществами и подрядными организациями по вопросам охраны труда;

— разрабатывать и внедрять прогрессивные и безопасные технические средства, оборудование и технологические процессы, средства механизации и автоматизации, направленные на вывод работников из опасных зон, устранение ручного труда;



— обеспечить соответствие деятельности в области охраны труда современному уровню развития науки и техники;

— организовать проведение научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области охраны труда и внедрение их результатов;

— снизить потенциальные профессиональные риски при осуществлении производственной деятельности и обеспечить такой уровень охраны труда, при котором профессиональный риск возникновения несчастных случаев на производстве, аварий и профессиональных заболеваний минимален;

— осуществлять комплексные профилактические меры по предупреждению несчастных случаев на производстве, аварий на производственных объектах и минимизации их последствий;

— повысить корпоративную культуру безопасности труда и ответственное отношение к здоровью работников;

— развивать международное сотрудничество, формирование и поддержание высокого имиджа и репутации ОАО "РЖД" в вопросах охраны труда на российском и международном транспортных рынках.

### Список литературы

1. **Анализ** состояния условий и охраны труда в ОАО "РЖД" за 2016 год. — М.: ОАО "РЖД", 2017. — 115 с.
2. **Донцов С. А.** Повышение безопасности труда на основе совершенствования системы предупреждения вредностей и опасностей на железнодорожном транспорте: Монография. — М.: ООО "Горизонт", 2013. — 184 с.
3. **Политика** ОАО "РЖД" в области охраны труда, защиты окружающей среды и промышленной безопасности, одобренная решением правления ОАО "РЖД" от 10 октября 2008 г., протокол № 34.

**S. A. Dontsov**, Associate Professor, Moscow State University of communication of Emperor Nicholas II MGUPS MIIT, **L. F. Drozdova**, Professor, e-mail: drozdovalf@yandex.ru, Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, **G. K. Ivahnjuk**, Professor, Saint-Petersburg State Technological Institute (Technical University)

## Strategy for the Management of Safety and Health Personnel

*The assessment of conditions and labor protection is given in the largest national carrier of OJSC "Russian Railways", the main problems in the existing control system of safety of work are considered. For further improvement and forecasting safety of work of personnel in branch has offered "The strategy of management of safety of work and health protection of personnel of railway transport on the basis of a risk management", allowing to formulate the main directions of development in the prevention and reduction of industrial injuries, to formation of corporate culture. The planned sources and mechanisms of resource ensuring Strategy are considered. The priority purposes and controlled indicators, tools of an assessment of achievement of goals of Strategy are given.*

**Keywords:** strategy, railway transport, health and labour safety, industrial injuries, risk management

### References

1. **Анализ** состояния условий и охраны труда в ОАО "РЖД" за 2016 год. Moscow: ОАО "РЖД", 2017. 115 p.
2. **Донцов С. А.** Повышение безопасности труда на основе совершенствования системы предупреждения вредностей и

- опасностей на железнодорожном транспорте. Монография. Moscow: ООО "Горизонт", 2013. 184 p.
3. **Политика** ОАО "РЖД" в области охраны труда, защиты окружающей среды и промышленной безопасности, одобренная решением правления ОАО "РЖД" от 10 октября 2008, протокол No. 34.



УДК 614.8.028.4:331.4

**О. В. Тимохин**, канд. техн. наук, генеральный директор, e-mail: vniiorelsau@mail.ru, ОАО "Опытно-производственное хозяйство "Красная Звезда", Орел

## Условия труда, травматизм и заболеваемость работников сельского хозяйства Орловской области

*Приведены данные исследования временной нетрудоспособности работников сельского хозяйства на примере одной из организаций Орловской области, которое показало, что причинами нетрудоспособности являются заболевания, на долю которых ежегодно приходилось от 48,5 % до 79,3 %, а также травмы и др. Отмечено, что причинами травм сельских жителей на производстве и в быту чаще всего являются падения, контактные удары и т. п. Причинами падений послужили обледенение территорий, ступеней лестниц, захламленность территории дворов и отсутствие освещения.*

*Для предупреждения травматизма и заболеваемости на рабочих местах в сельскохозяйственном производстве предложено внедрять инновационные безопасные технологии, совершенствовать подготовку работников по безопасности труда, стимулировать дальнейшие исследования в решении проблем травматизма.*

**Ключевые слова:** охрана труда, условия труда, сельское хозяйство, травматизм, заболеваемость, причины несчастных случаев

**Введение.** Сельское хозяйство во всем мире и в Российской Федерации признано одним из самых травмоопасных секторов экономики, а многие производственные процессы в сельском хозяйстве протекают в опасных и вредных условиях труда.

По оценкам Международной организации труда (МОТ) ежегодно во всех странах регистрируется примерно 340 млн несчастных случаев на производстве и 160 млн случаев профессиональных заболеваний. Экономические расходы на лечение и компенсационные выплаты, а также ущерб от потерянных рабочих дней превышают 1,25 трлн долл., что составляет примерно 4 % мирового ВВП [1]. Несмотря на многочисленные и многосторонние исследования в сфере охраны труда, уровень травматизма и количество заболеваний в сельском хозяйстве остается выше, чем в других отраслях экономики.

Сельскохозяйственные работы являются одним из основных видов экономической деятельности практически во всех странах мира. На работы в сельское хозяйство привлекается огромное число временных и постоянных работников. Сельскохозяйственная отрасль оказывает значительное влияние на экономику отдельных регионов и страны в целом. При этом сельскохозяйственные работы имеют многочисленные риски, такие как воздействие приводящих к травмам подвижных (отлетающих) твердых частиц, а также загрязняющих воздух веществ, воздействие которых может иметь потенциально неблагоприятные последствия для здоровья [2].

Во многих странах мира считается, что работники сельского хозяйства в процессе трудовой деятельности ежедневно подвергаются многочисленным рискам, угрожающим жизни и здоровью. Например, риски могут реализоваться в травмы по причине перенапряжения и повторяющихся движений, ухудшения слуха из-за сильного шума от сельскохозяйственной техники, а также от воздействия вредных пестицидов, органических и неорганических токсинов [3]. Травмы являются одной из ведущих причин смерти и инвалидности в Европе, и ученые призывают организации и правительства планировать и осуществлять программы по профилактике травматизма [4]. Из многих проблем общественного здравоохранения именно травматическое повреждение является наиболее значимым, поскольку травмы имеют широкий спектр тяжести, от легких до тяжелых.

Проводимые за рубежом исследования показывают, что фермеры не восприимчивы к исследованиям в области здравоохранения и безопасности в сельском хозяйстве. Они не доверяют результатам исследований и опасаются, что внедрение результатов исследований будет иметь для них отрицательные экономические последствия [5]. По мнению зарубежных авторов, изучение причин и распространенности травм может внести решающий вклад в улучшение системы предупреждения травматизма [6].

**Методика.** Исследование заболеваемости работников сельского хозяйства было проведено на примере одной из организаций сельского хозяйства Орловской области. Анализ заболеваемости

проводился за период с 2012 по 2016 г. с использованием данных листков временной нетрудоспособности, актов расследования несчастных случаев. Обзор состояния травматизма и условий труда работников сельского хозяйства Орловской области был проведен на основании данных Государственной инспекции труда в Орловской области и территориального органа государственной статистики по Орловской области (Орелстата).

**Результаты.** В настоящее время в Российской Федерации охрана труда является одним из основных направлений в социальной политике государства, без соблюдения требований которой, а также без обеспечения инновационных мер по обеспечению безопасных условий труда на предприятиях невозможно эффективное развитие бизнеса. Начиная с 2015 г. в РФ ведется федеральное наблюдение за состоянием условий труда работников, осуществляющих деятельность в сельском хозяйстве, охоте, лесном хозяйстве.

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ, в 2016 г. 30,8 % работников сельского хозяйства в нашей стране были заняты на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, из них 9,1 % находились под воздействием шума, ультразвука, инфразвука, 5,5 % — химического фактора, 4,9 % — вибрации (общей и локальной), 2,4 % — биологического фактора, 2,1 % — аэрозолей, преимущественно фиброгенного действия, 0,6 % — неионизирующего и ионизирующего излучения [7].

Около 5 % работников трудились в неудовлетворительных микроклиматических условиях, 15,8 % — в условиях тяжелого трудового процесса, 5,2 % — напряженного трудового процесса. В 2016 г., по сравнению с предыдущим годом, число работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, увеличилось на 1,2 %. Источниками шума в сельском хозяйстве являются работа двигателей, трансмиссии, вибрация ограждений тракторов, сельскохозяйственных машин, автомобилей, комбайнов и др. В зависимости от уровня и продолжительности воздействия вредных условий труда у работников сельского хозяйства могут развиваться профессиональные заболевания, такие как аллергический контактный дерматит, аллергический ринит, агрохимическое отравление, стойкость к антибиотикам, болезнь фермерского легкого, синдром отравления органической пылью, костно-мышечные нарушения, стресс, тугоухость и др. Воздух кабин сельскохозяйственной техники загрязнен выхлопными газами дизельных двигателей, являющимися канцерогенами [8]. Таким образом, в процессе труда работники сельского хозяйства подвергаются сочетанному воздействию

широкого спектра вредных и опасных производственных факторов.

В Орловской области в 2016 г., по данным Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, количество обследованных по условиям труда рабочих по сравнению с предыдущим годом увеличилось более чем в 2 раза [9]. В сельском и лесном хозяйстве Орловской области в 2016 г. доля работающих во вредных и опасных условиях труда составила 15,9 %, превысив показатель предыдущего года на 1,8 %.

В сельском хозяйстве Орловской области было отмечено увеличение доли рабочих мест, не отвечающих гигиеническим нормативам по показателям шума, вибрации и освещенности, а также мест, находящихся под воздействием аэрозолей, преимущественно фиброгенного действия, и одновременно снижение доли рабочих мест, не отвечающих гигиеническим нормативам по воздействию биологического фактора и электромагнитных полей (табл. 1).

По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Орловской области, на территории области в 2016 г. осуществляли предпринимательскую деятельность 187 организаций сельского хозяйства (без учета индивидуальных предпринимателей,

Таблица 1

Доля работников сельского хозяйства Орловской области, работающих под воздействием вредных и (или) опасных условий труда

| Вредные и (или) опасные условия труда                  | Доля занятых |         |
|--|--------------|---------|
|  | 2015 г.      | 2016 г. |
| Всего, в том числе работающих под воздействием:        | 14,1         | 15,9    |
| шума, ультразвука воздушного, инфразвука               | 4,6          | 5,2     |
| химического фактора                                    | 3,7          | 4,2     |
| вибрации (общей и локальной)                           | 3,5          | 3,9     |
| аэрозолей, преимущественно фиброгенного действия       | 0,7          | 1,6     |
| биологического фактора                                 | 1,8          | 1,4     |
| неионизирующего излучения                              | 0,3          | 0,3     |
| ионизирующего излучения                                | 0,5          | 0,1     |
| Неудовлетворительные условия микроклимата              | 1,1          | 1,2     |
| Неудовлетворительная световая среда                    | 2,1          | 2,2     |
| Работающие в условиях тяжести трудового процесса       | 7,2          | 6,1     |
| Работающие в условиях напряженности трудового процесса | 2,1          | 1,9     |



Таблица 2

**Динамика коэффициента частоты  $K_{\text{ч}}$  общего производственного травматизма и травматизма со смертельным исходом в РФ, Орловской области и в сельском хозяйстве Орловской области**

| Показатель   | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. |
|--|---------|---------|---------|
| В целом по РФ  |         |         |         |
| $K_{\text{ч}}$ общий   | 1,4     | 1,3     | 1,3     |
| $K_{\text{ч}}$ смертельный                                       | 0,067   | 0,062   | 0,062   |
| Орловская область  |         |         |         |
| $K_{\text{ч}}$ общий   | 1,9     | 1,7     | 1,35    |
| $K_{\text{ч}}$ смертельный                                       | 0,057   | 0,051   | 0,088   |
| Сельское хозяйство, охота и предоставление услуг в этих областях |         |         |         |
| $K_{\text{ч}}$ общий   | 1,9     | 1,3     | 1,2     |
| $K_{\text{ч}}$ смертельный                                       | 0,124   | 0,065   | 0,174   |

малых предприятий, фермерских хозяйств), из них в 15 были зарегистрированы несчастные случаи на производстве. В течение трех лет в Орловской области и в ее сельском хозяйстве регистрируется снижение уровня общего травматизма, в то же время в 2016 г. наблюдалось увеличение уровня травматизма со смертельным исходом. В целом по области, по сравнению с предыдущим годом, уровень травматизма со смертельным исходом увеличился на 0,037, а в сельском хозяйстве — на 0,109 единиц (табл. 2).

Уровень травматизма со смертельным исходом в сельском хозяйстве Орловской области во все годы наблюдения превышал среднероссийские

показатели. Таким образом, в организациях сельского хозяйства, в условиях наращивания темпов производства, необходимо усилить меры предупреждения рисков травмирования, особенно тех, которые приводят к смертельному и тяжелому исходу.

По сведениям Государственной инспекции труда по Орловской области, в 2016 г. в организациях, зарегистрированных на территории Орловской области, произошел 31 несчастный случай с тяжелыми последствиями, из них 2 несчастных случая были групповыми, в которых 3 работника были смертельно травмированы и 1 работник получил травму, относящуюся к категории тяжелых. Самое большое число несчастных случаев с тяжелыми последствиями было зарегистрировано в сельском хозяйстве (табл. 3).

Мониторинг причин и видов несчастных случаев, осуществляемый Государственной инспекцией труда по Орловской области, показал, что наибольшее число несчастных случаев произошло в результате воздействия движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов и деталей (13 несчастных случаев) и падений с высоты (10 несчастных случаев). Среди причин несчастных случаев была зарегистрирована неудовлетворительная организация производства работ (58 % от общего числа несчастных случаев) и недостатки в организации и проведении подготовки работников по охране труда (10 %). Одной из основных причин несчастных случаев с тяжелыми последствиями также послужили нарушения правил дорожного движения пострадавшими (16 %).

Таблица 3

**Распределение числа пострадавших с тяжелыми последствиями в организациях Орловской области в 2016 г. по видам экономической деятельности**

| Виды экономической деятельности  | Всего | Число несчастных случаев, в том числе: |                        |
|--|-------|--|------------------------|
|  |       | с тяжелым исходом                      | со смертельным исходом |
| Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство   | 10    | 6                                      | 4                      |
| Обрабатывающие производства  | 3     | 3                                      | 0                      |
| Строительство  | 6     | 4                                      | 2                      |
| Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования | 5     | 5                                      | 0                      |
| Транспорт (автомобильный)  | 3     | 2                                      | 1                      |
| Образование  | 1     | 1                                      | 0                      |
| Здравоохранение и предоставление социальных услуг  | 1     | 0                                      | 1                      |
| Предоставление прочих коммунальных, социальных услуг   | 1     | 1                                      | 0                      |
| Другие виды экономической деятельности   | 1     | 0                                      | 1                      |
| Всего  | 31    | 22                                     | 9                      |

Исследование заболеваемости работников сельского хозяйства было проведено на примере одной из сельскохозяйственных организаций Орловской области, основными видами деятельности которой является выращивание зерновых, технических и прочих сельскохозяйственных культур и разведение крупного рогатого скота. Анализ заболеваемости работников проводился за период с 2012 по 2016 г. с использованием данных листков временной нетрудоспособности, актов расследования несчастных случаев, формы статистической отчетности № 5-АПК. Основная часть работников (94,4 %), в соответствии со спецификой организации, представлена работниками сельскохозяйственного производства, из них 21,6 % составляют животноводы, 10,8 % — операторы машинного доения, 9,5 % — слесари, 5,4 % — трактористы, 5,4 % — водители.

Анализ показал, что причинами временной нетрудоспособности работников явились непосредственно заболевания, на долю которых ежегодно приходилось от 48,5 % до 79,3 %, а также травмы, уход за несовершеннолетними членами семьи, беременность и роды. Было установлено, что женщины болели чаще, чем мужчины (табл. 4). Причинами травм сельских жителей на производстве и в быту чаще всего являются падения, контактные удары при столкновении с движущимися и неподвижными предметами, деталями машин, ожоги горячими жидкостями. Причинами падений послужили обледенение территорий, ступеней лестниц, захлапленность территории дворов и отсутствие освещения.

По мнению ряда специалистов в области технологической безопасности, причинами неудовлетворительных условий труда остаются: старение и износ основных производственных фондов и технологического оборудования; низкий уровень механизации технологических процессов; невысокие темпы модернизации предприятий; существенное сокращение работ по реконструкции и технологическому перевооружению, созданию и закупке новых современных безопасных

производственных технологий и техники; сокращение объемов капитального и профилактического ремонта промышленных зданий, сооружений, машин и оборудования и пр. [10].

**Выводы.** Для улучшения условий труда и предупреждения травматизма работников сельского хозяйства, по мнению авторов, необходимы следующие мероприятия:

- модернизация технологических процессов, реконструкция и обновление оборудования и машинно-тракторного парка;
- восстановление или установка отсутствующих средств коллективной защиты;
- уменьшение доли ручного труда и оптимизация трудовых процессов;
- внедрение рациональных режимов труда и отдыха, ограничение времени контакта с вредными и опасными факторами в течение как рабочей смены, так и профессионального стажа (защита временем);
- пропаганда безопасности труда и здорового образа жизни;
- совершенствование системы контроля за соблюдением гигиенических и санитарных требований к условиям труда;
- совершенствование системы непрерывного образования и обучения в области охраны труда различных категорий работников;
- разработка систем информирования работников по вопросам охраны труда и здоровья на основе принципов управления профессиональными рисками;
- повышение ответственности работодателя за нарушение санитарного законодательства и его мотивация к улучшению условий труда.

Результаты проводимых исследований в РФ и за рубежом показали, что профессиональные травмы и болезни способствуют снижению производительности труда. Необходимо, чтобы на сельскохозяйственных предприятиях всех форм собственности вопросы безопасности и охраны труда, а также сохранения здоровья работников были приоритетными. Следует учитывать, что бытовой и производственный травматизм является одной из причин сокращения численности сельского населения [11].

Таблица 4

Распределение числа заболевших по годам и тяжести заболевания

| Годы | Всего заболевших | в том числе: |         | Число дней нетрудоспособности | Тяжесть заболевания |
|------|------------------|--------------|---------|-------------------------------|---------------------|
|      |                  | женщины      | мужчины |                               |                     |
| 2012 | 57               | 36           | 21      | 812                           | 14,2                |
| 2013 | 46               | 32           | 14      | 549                           | 11,9                |
| 2014 | 45               | 35           | 10      | 669                           | 14,9                |
| 2015 | 15               | 10           | 5       | 187                           | 12,5                |
| 2016 | 31               | 22           | 9       | 284                           | 9,2                 |

### Список литературы

1. **Тяжкое бремя** плохих условий. URL: [http://www.ilo.org/moscow/areas-ofwork/occupational-safety-andhealth/WCMS\\_249276/lang--ru/index.htm](http://www.ilo.org/moscow/areas-ofwork/occupational-safety-andhealth/WCMS_249276/lang--ru/index.htm) (дата обращения 01.08.2016).
2. **Brandi J., Matthew W.** Nonnenmann Public health science in agriculture: Farmers' perspectives on respiratory protection research // Journal of Rural Studies. — 2017. — Vol. 55, October. — P. 122—130.
3. **Rebecca E. Moran, Deborah H. Bennett, John Garcia, Marc B. Schenker** Occupational exposure to particulate matter from



- three agricultural crops in California // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2014. Vol. 217. — Iss. 2–3, March. — P. 226–230.
8. **Perry M. J.** Agricultural Health Safety. Reference Module in Biomedical Sciences, 2014. — P. 168–179.
  9. **Hyder A. A., Aggarwal A.** The Increasing Burden of Injuries in Eastern Europe and Eurasia: Making the Case for Safety Investments // *Health Policy*. 2009. Vol. 89. — Iss. 1. — P. 1–13.
  6. **Kate Curtis, Erica Caldwell, Andrea Delprado, Belinda Munroe.** Traumatic injury in Australia and New Zealand // *Australasian Emergency Nursing Journal*. — 2012. Vol. 15. — Iss. 1, February. — P. 45–54.
  7. **Состояние** условий труда работников, осуществляющих деятельность по сельскому хозяйству, охоте, лесному хозяйству, добыче полезных ископаемых, в обрабатывающих производствах, по производству и распределению электроэнергии, газа и воды, в строительстве, на транспорте и в связи Российской Федерации в 2016 году. Том 1. Росстат. — Москва, ГМЦ.
  8. **Курчевенко С. И., Боденкова Г. М.** Формирование естественной реактивности организма при воздействии производственных физических факторов. XXI век // *Техносферная безопасность*. — 2016. — Том 1. — № 4. — С. 73–78.
  9. **О состоянии** санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Орловской области в 2016 году: Доклад. — Орел: Управление Роспотребнадзора по Орловской области, 2017. — 179 с.
  10. **Тимофеева С. С.** Инновации в охране труда. XXI Век // *Техносферная безопасность*. — 2016. — Том 1. — № 3. — С. 10–21.
  11. **Гальянов И. В., Студенникова Н. С.** Виды и причины несчастных случаев с тяжелыми последствиями в сельском хозяйстве и основные направления их предупреждения // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. — 2015. — № 2. — С. 47–60.

**O. V. Timokhin**, General Director, e-mail: vniiorelsau@mail.ru, Joint-Stock Company Experimental-Industrial Farm "Red Star", Orel

## Working Conditions, Injuries and Illness of Workers of Agriculture of the Orel Region

*Agriculture throughout the world and in the Russian Federation is recognized as one of the most traumatic sectors of the economy, and many production processes in agriculture take place in dangerous and harmful working conditions. A study of temporary disability of agricultural workers was conducted on the example of one of the organizations of the Orel region, which showed that its causes are diseases, which annually accounted for from 48.5 % to 79.3 % and injuries. The analysis of the causes of temporary disability of employees of the organization was carried out for the period from 2012 to 2016 using the data sheets of temporary disability and accident investigation acts. The review of the state of injuries and working conditions of agricultural workers of the Orel region was carried out on the basis of the data of the State labour Inspectorate in the Orel region and the territorial body of state statistics of the Orel region (orelstat).*

*It was found that the causes of injuries to rural residents in the workplace and in everyday life are most often falls, contact strikes in a collision with moving and stationary objects, machine parts, burns with hot liquids. The reasons for the fall were the slippery condition of the territories, stairs, cluttered territory of the yards and the lack of lighting.*

*To prevent injuries and diseases in the workplace in agricultural production, it is necessary to introduce innovative safe technologies, improve the training of workers in occupational safety, and stimulate further research in solving problems of injuries.*

**Keywords:** labor protection, working conditions, agriculture, traumatism, morbidity, causes of accidents

### References

1. **Tyazhkoe** bremya plohih uslovij. URL: [http://www.ilo.org/moscow/areas-ofwork/occupational-safety-andhealth/WCMS\\_249276/lang--ru/index.htm](http://www.ilo.org/moscow/areas-ofwork/occupational-safety-andhealth/WCMS_249276/lang--ru/index.htm) (date of access: 01.08.2016).
2. **Rebecca E. Moran, Deborah H. Bennett, John Garcia, Marc B. Schenker** Occupational exposure to particulate matter from three agricultural crops in California. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2014. Vol. 217. Iss. 2–3. March. P. 226–230.
3. **Perry M. J.** Agricultural Health Safety. Reference Module in Biomedical Sciences, 2014. P. 168–179.
4. **Hyder A. A., Aggarwal A.** The Increasing Burden of Injuries in Eastern Europe and Eurasia: Making the Case for Safety Investments. *Health Policy*. 2009. Vol. 89. Iss. 1. P. 1–13.
5. **Brandt Janssen, Matthew W.** Nonnenmann Public health science in agriculture: Farmers' perspectives on respiratory protection research. *Journal of Rural Studies*. 2017. Vol. 55. October. P. 122–130.
6. **Kate Curtis, Erica Caldwell, Andrea Delprado, Belinda Munroe.** Traumatic injury in Australia and New Zealand. *Australasian Emergency Nursing Journal*. 2012. Vol. 15. Iss. 1. February. P. 45–54.
7. **Состояние** условий труда работников, осуществлvjayushhих dejatel'nost' po sel'skomu hozjastvu, ohotе, lesnomu hozjastvu, dobyche poleznyh iskopaemyh, v obrabatyvayushhих proizvodstvвах, no proizvodstvu i raspredeleniju jelektrojenergii, gaza i vody, v stroitel'stve, na transporte u v svjazi Rossijskoj Federacii v 2016 godu. Vol. 1. Rosstat. — Moscow, GMC.
8. **Kurchevenco S. I., Bodiенkova G. M.** Formirovanie estestvennoj reaktivnosti organizma pri vozdejstvii proizvodstvennyh fizicheskikh faktorov. XXI vek. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2016. Vol. 1. No. 4. P. 73–78.
9. **О состоjании** санитарно-jepidеmиологического blagopoluchija naselenija v Орловской области v 2016 godu. Doklad. Орел. Upravlenie Rospotrebнадзора po Орловской области, 2017. 179 p.
10. **Тимофеева С. С.** Innovacii v ohrane труда. XXI Vek. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2016. Vol. 1. No. 3. P. 10–21.
11. **Gal'yanov I. V., Studennikova N. S.** Vidy i prichiny neschastnyh sluchaeв s tyazhelymi posledstviyami v sel'skom hozjajstve i osnovnye napravleniya ih preduprezhdeniya. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. 2015. No. 2. P. 47–60.

УДК 615.8

**С. В. Васильев**, генеральный директор, ПАО "МЕДИУС", Санкт-Петербург,  
**А. Э. Гаранина**, врач-невролог, клиника "Диона", Санкт-Петербург,  
**К. К. Ким**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, e-mail: kimkk@inbox.ru,  
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора  
Александра I, **М. Н. Кияшко**, канд. мед. наук, доц. кафедры, Северо-западный  
государственный медицинский университет, Санкт-Петербург,  
**Г. Л. Спичкин**, канд. техн. наук, ген. директор, ООО "НПО "Фитотехнология",  
Санкт-Петербург

## Использование природных факторов для реабилитации условно здоровых людей

*Предложена концепция релаксации с применением природных факторов. Рассмотрено влияние природных факторов — света видимого, УФ и ИК диапазонов, звуков живой природы в сочетании с музыкальными произведениями, чистого и свежего воздуха на организм человека. Описан биологический метод очистки воздуха с помощью растений, входящих в состав аппаратно-биологических комплексов. Приведен пример оснащения кабинетов психосоматической релаксации оборудованием для воспроизведения природных условий в социальных учреждениях с целью реабилитации персонала — аппаратно-биологическими комплексами, устройствами искусственного солнечного света, аудиальными модулями. Представлены данные результатов обследований сотрудников, посещавших кабинеты. Отмечено, что у подавляющего числа посещавших кабинет (до 94 %) наступало улучшение общего состояния и настроения, снижались уровень стресса и усталость, повышалась работоспособность. Даны предложения по использованию кабинетов психосоматической релаксации для людей, занятых интенсивным и напряженным трудом. Показано, что показатели аппаратных и биологических средств, формирующих факторы релаксации в кабинетах, должны соответствовать аналогичным природным показателям (интенсивность и спектр солнечного света, ритмы и тембры звуков, концентрация активных форм кислорода, набор биологически активных веществ и т. д.).*

**Ключевые слова:** реабилитация, релаксация, природные факторы, свет, звуки живой природы, свежий и чистый воздух, аппаратно-биологические комплексы, устройства искусственного солнечного света, кабинеты психосоматической релаксации

### Введение

Реабилитация по определению Комитета Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ)— это активный процесс, целью которого является достижение полного восстановления нарушенных вследствие заболевания или травмы функций. Реабилитация рассматривает не только состояние органов и систем организма, но и функциональные возможности человека в его повседневной жизни. В последние годы в понятие "реабилитация" введено понятие "качество жизни, связанное со здоровьем" (healthrelated quality of life). При этом именно качество жизни рассматривают как интегральную характеристику, на которую надо ориентироваться при оценке эффективности реабилитации.

Реабилитация условно здоровых людей обычно связана либо с восстановлением физической

формы после физических нагрузок, либо с восстановлением эмоционального баланса после эмоциональных нагрузок. При этом следует понимать, что и физические, и эмоциональные нагрузки в пределах физиологических норм не требуют реабилитации, поэтому можно рассматривать реабилитацию как воздействие, применяемое в условиях надпороговых нагрузок, которые воспринимаются организмом как стресс. Поскольку стресс связан с перенапряжением, то наиболее логичным методом снижения уровня стресса является релаксация.

### Обоснование реабилитационных мероприятий

Поскольку в сфере современного производства и производственных отношений люди наиболее часто подвергаются стрессам, связанным с надпороговыми эмоциональными нагрузками,



обоснование реабилитационных мероприятий может быть проиллюстрировано на примере потерь от синдрома эмоционального выгорания (СЭВ) ("burnout"). В литературе в качестве синонима СЭВ иногда используется термин "синдром психического выгорания".

Синдром эмоционального выгорания — это:

— реакция организма, возникающая вследствие продолжительного воздействия профессиональных стрессов средней интенсивности. На Европейской конференции ВОЗ (2005 г.) было отмечено, что стресс, связанный с работой, является важной проблемой примерно для одной трети трудящихся стран Европейского союза и стоимость решения проблем с психическим здоровьем в связи с этим составляет в среднем 3...4 % валового национального дохода [1];

— процесс постепенной утраты эмоциональной, когнитивной и физической энергии, проявляющийся в симптомах эмоционального, умственного истощения, физического утомления, личной отстраненности и снижения удовлетворения исполнением работы;

— выработанный личностью механизм психологической защиты в форме полного или частичного исключения эмоций в ответ на избранные психотравмирующие воздействия;

— это приобретенный стереотип эмоционального, чаще всего профессионального, поведения.

Выгорание — отчасти функциональный стереотип, поскольку позволяет дозировать и экономно расходовать энергетические ресурсы. В то же время могут возникать его дисфункциональные последствия, когда выгорание отрицательно сказывается на исполнении профессиональной деятельности и отношениях с партнерами. Иногда понятие синдрома эмоционального выгорания заменяется понятием "профессиональное выгорание", что позволяет рассматривать это явление в аспекте личной деформации под влиянием профессиональных стрессов [1].

### Механизм релаксации

Известно, что левое полушарие нашего мозга отвечает за речь и логическое мышление, а правое — за воображение, мечты и интуицию. В те моменты, когда правое полушарие работает более активно, чем левое, обычные для состояния бодрствования и напряжения *бета-ритмы* сменяются *альфа-ритмами*, которые, как правило, предшествуют сну. В моменты "правополушарной" жизни человек гораздо спокойнее и у него появляется способность к творческой деятельности. Этого состояния можно легко достигнуть в состоянии релаксации или расслабления. Таким образом, благодаря релаксации могут быть полностью восстановлены силы и внесена гармония в человеческую жизнь.

Регулярная релаксация меняет химию организма — во время глубокой стадии расслабления в человеческом мозге выделяются эндорфины, поднимающие настроение. Частое и стойкое снижение настроения связано именно с недостатком эндорфинов. Эндорфины — группа полипептидных химических соединений, по структуре сходных с опиатами (морфиноподобными соединениями), которые естественным путем вырабатываются в нейронах головного мозга. Эндорфины обладают способностью уменьшать боль аналогично опиатам и влиять на эмоциональное состояние.

### Концепция релаксации с применением "природных" факторов

Где наиболее быстро восстанавливается современный человек, занимающийся интенсивной трудовой деятельностью? Один из самых быстрых и эффективных путей, не требующих значительных физических нагрузок по схеме "тренажерный зал — сауна — застолье", это выезд на природу, в лес, к речке. Каких-то полчаса, и усталость проходит, человек опять готов к активной жизни.

Что же способствует быстрому восстановлению усталого организма? Ведь на природе мы только смотрим, слушаем и дышим. Скорее, всего, восстановлению организма способствует комплексное воздействие на него. Действительно, солнечный свет и природные цвета благоприятно действуют на состояние систем нервной и эндокринной регуляции за счет непосредственного воздействия света определенной волны на фоторецепторы, а также за счет опосредованного воздействия, связанного с нахождением человека в привычной визуальной среде обитания.

Звуки живой природы в сочетании с классической музыкой способствуют релаксации, так как моделируют природные звуки, характерные для экологической ниши вида *Homo sapiens*, и обеспечивают комфортное состояние в условиях звуковых оптимумов.

При вдыхании чистого и свежего воздуха леса, реки, моря, насыщенного биологически активными веществами природного происхождения и активными формами кислорода, осуществляется благоприятное влияние на организм, интенсифицируются жизненно важные биохимические обменные процессы.

### Воздействующие природные факторы

**Действие света.** Влияние света на организм обусловлено тремя его составляющими: видимое излучение, УФ излучение, ИК излучение.

*Видимое излучение* способно проникать через кожу на глубину до одного сантиметра. В основном видимый спектр солнечного излучения воздействует на организм через сетчатку глаза и



в дальнейшем через нервную систему. Цвета действуют по-разному. Так, например, красный и оранжевый цвета возбуждают деятельность головного мозга, зеленый и желтый — успокаивают, синий — тормозит нервно-психическую деятельность. На особенности действия цветов на организм следует обращать внимание при оформлении интерьеров помещений соответствующего назначения.

*Ультрафиолетовое излучение* оказывает наибольшее воздействие на организм. Ультрафиолетовые лучи имеют наименьшую длину волны и поэтому обладают наибольшей энергией. Они проникают в ткани всего на один миллиметр, но при этом оказывают мощное воздействие (положительное или отрицательное — все зависит от дозировки) как на поверхностные ткани, так и на внутренние органы. Под действием ультрафиолета образуется огромное количество биологически активных веществ (гистамин, серотонин и так далее), которые вместе с кровью разносятся по всему организму, оказывая сложное воздействие на органы и системы человека. При умеренном облучении благодаря этому достигается хороший оздоровительный эффект, так как уничтожаются многие болезнетворные микроорганизмы. Под действием ультрафиолетового излучения в коже образуется витамин D.

*Инфракрасные лучи* проникают в среднем на 2...3 см (до 8 см) в ткани и очень активно воздействуют на кровеносные сосуды, которые расширяются и усиливают кровообращение в коже и подкожно-жировой клетчатке. Благодаря этому активизируются окислительно-восстановительные процессы в этих тканях.

Существуют дающие свет лампы и светодиоды, спектр которых максимально приближен к спектру естественного солнечного света. Свет этих ламп содержит часть спектра ультрафиолетового излучения (UVA, 315...380 нм), которая отвечает за самочувствие человека и необходима для поддержания биологических процессов в организме.

Источники искусственного солнечного света применяются в помещениях, не имеющих достаточно естественного дневного света и в которых долгое время находятся люди.

Существуют также источники искусственного солнечного света, который содержит часть спектра ультрафиолетового излучения (UVB, 280...315 нм). Свет этого спектрального диапазона благотворно влияет на физиологическую и психическую функции человека, стимулирует выработку меланина в коже человека. Источники с данным спектром идеально подходят для целей светотерапии.

Благодаря высокой температуре цвета и превосходной цветопередаче источники искусственного солнечного света являются идеальными источниками света, к спектру которого адаптирован человек.

## Звуки живой природы, музыка

Из медицины и биологии известно, что самое сильное воздействие на организм человека оказывает именно ритм музыкального произведения — самый древний компонент музыки. Ритмы музыкальных произведений лежат в диапазоне 0,6...1,5 Гц, что является биологически ощутимой частотой, близкой частоте дыхания и сердцебиения. Организм человека обладает способностью подстраиваться под внешние воздействия, вследствие чего работа сердца и дыхания пытаются подстроиться под ритм музыкального произведения. Таким образом, можно восстанавливать стабильную частоту работы органов, нарушенную вследствие болезни, с помощью музыки.

Так называемые позитивные звуки живой природы представляют собой смесь звуков, характерных для естественной среды обитания, и обеспечивают аудиоконтакт человека с окружающей средой, которая характеризуется отсутствием угрозы и наличием важных биогенных ритмов. Данная среда не вызывает стрессовых реакций и способствует реабилитации [2].

**Чистый и свежий воздух.** В первую очередь чистоту воздуха характеризует количество содержащихся в нем аэрозолей (пыли), органических и неорганических газовых загрязнителей и вредных микроорганизмов. Самый лучший в мире "моющий пылесос" — дождь.

В городе воздух, загрязненный уличными газами с большим содержанием органики, оксидов углерода и азота, поступает в жилые и производственные помещения, где человек проводит много времени. Мало кто знает, что уровни основных загрязнителей воздуха и углекислого газа внутри помещений превышают таковые в наружном воздухе [3]. Человек, длительное время пребывающий в помещении, постоянно подвергается токсичному и микробному воздействию. Современные системы приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования способны в основном решить проблему очистки воздуха от пыли, а также поддерживать оптимальные параметры микроклимата в помещении.

Известно, что ощущение свежести воздуху придают так называемые активные формы кислорода (АФК), в частности легкие ионы кислорода [4]. Человеческий организм за годы эволюции адаптировался к концентрациям АФК, наиболее часто встречающимся в природе. Чистый атмосферный воздух насыщен легкими кислородными ионами каждого знака в концентрациях 1000...5000 ионов/см<sup>3</sup> (лесной и морской воздух), 5000...10 000 ионов/см<sup>3</sup> (воздух горных курортов), 10 000 ионов/см<sup>3</sup> и более (воздух у водопада).

К сожалению, воздух помещений, подвергаясь фильтрации и проходя по вентиляционным воздуховодам, теряет ионы, деионизируется, становится "мертвым воздухом" [5]. Так называемый



синдром "мертвого воздуха" часто проявляется у людей, вынужденных длительное время находиться в атмосфере деионизированного воздуха.

Сегодня очевидно, что дефицит, а чаще всего практически полное отсутствие легких ионов в воздухе помещений является основной причиной возникновения недомоганий, головных болей, головокружений, хронической усталости, расстройств сна, частых простудных заболеваний, аллергических проявлений у людей, пребывающих в таких помещениях длительное время. Биологическое воздействие АФК на организм — явление многостороннее, поликомпонентное и разнонаправленное. Некоторые исследователи сравнивали влияние ионов воздуха с эффектом витаминов и гормонов, подчеркивая колоссальный отклик организма на ничтожные дозы АФК. А. Л. Чижевский называл легкие отрицательные аэроионы витаминами воздуха [6].

В настоящее время экспериментально доказано, что легкие отрицательные аэроионы повышают количество эритроцитов и гемоглобина, увеличивают скорость регенерации тканей, снижают артериальное давление у гипертоников, уменьшают частоту сердечных сокращений, нормализуют функциональную деятельность коры головного мозга, водный обмен, морфологические и физико-химические свойства крови [7].

Установлено, что легкие отрицательные ионы кислорода повышают устойчивость организма к недостатку кислорода, витаминов, к холоду, бактериальной интоксикации, к статической и динамической работе. Интенсивная кислородная ингаляция с отрицательной ионизацией используется для быстрого восстановления и реабилитации персонала, занятого интенсивным трудом (диспетчеров, операторов, машинистов поездов и т. д.).

Механизм действия ионов на организм человека, в первую очередь, связан с изменением метаболизма в мозгу и, соответственно, с выработкой мозговых медиаторов, включая и эндорфины. Имеются данные о связи между электрической активностью обонятельных луковиц и переднего отдела гипоталамуса, что указывает на возможность влияния воздуха, насыщенного ионами, на вегетативные процессы в организме. Выраженный благоприятный эффект отрицательных ионов проявляется при общей слабости, снижении физической и умственной работоспособности, при бессоннице, головных болях любой этиологии, аллергических проявлениях, неврозах. Отмечено положительное влияние ионов на способности человека повышать внимание и восприятие; ионы оказывают антидепрессивное действие, активизируют метаболизм, стабилизируют процессы вегетативной регуляции. Таким образом, насыщение ионами воздуха помещений выступает как один из простых и эффективных способов профилактики и восстановления патологических изменений в организме.

При использовании активных форм кислорода, как одного из важнейших параметров системы управления качеством воздушной среды в помещении, необходимо помнить, что положительное воздействие ионов на организм возможно в том и только в том случае, если кондиционный воздух предварительно качественно очищен от аэрозольных и газовых загрязнителей. В противном случае АФК, активизируя дыхательные процессы в организме, способствуют усилению проникновения в организм выше упомянутых загрязнителей, что неизменно неблагоприятно скажется на нашем самочувствии.

Традиционно задачи, связанные с повышением качества воздуха в помещениях, решались с помощью различных технических средств: фильтров разной степени очистки, систем вентиляции и кондиционирования и т. д. Данные системы имеют как достоинства, так и недостатки. Принципиальным недостатком является то, что технические средства не способны полностью воссоздать воздушную среду, адекватную природному воздуху, к которому адаптирован человек. Кроме этого, технические средства иногда способствуют снижению качества среды обитания человека вследствие увеличения шумовой и электромагнитной нагрузки, деионизации воздуха, поступающего в помещение, внесения в воздух помещения солевых аэрозольных и паровых увлажнителей и т. д. В результате конкуренцию техническим средствам и технологиям очистки воздуха начинают составлять биотехнологии, в основу которых положен эффект повышения качества воздуха, в том числе очистка воздуха с помощью комнатных растений [8, 9].

Одни растения эффективно очищают воздух от органических загрязнений, другие растения, благодаря выраженному фитонцидному эффекту, снижают микробную загрязненность воздуха. Растения продуцируют кислород, поглощают углекислый газ. Многие растения интенсивно увлажняют воздух помещения. Комнатные растения в помещении способствуют приданию воздуху физико-химических свойств, характерных для природного воздуха. Растения являются идеальным природным увлажнителем. Кроме того, являясь элементами фитодизайна, комнатные растения положительно влияют на психоэмоциональное состояние находящихся в помещении людей.

Растения воздействуют на мозговые процессы следующим образом. Они выделяют биологически активные вещества, среди которых алкалоиды, эфирные масла, терпены и другие. Многие из этих веществ влияют на нервную и мышечную системы человека. Большинство гормонов и медиаторов в организме (амины или пептиды) — производные аминокислот — это ацетилхолин, адреналин, норадреналин, серотонин, дофамин, эндорфины и др. Алкалоиды в химическом отношении похожи на

них. Попав в тело человека, они связываются с рецепторами, предназначенными для регуляторных молекул самого организма, и блокируют или запускают разнообразные процессы, например передачу сигнала от нервных окончаний мышцам.

Эфирные масла, выделяемые растениями, также оказывают сильное действие на человека: некоторые компоненты эфирных масел обладают гормоноподобной структурой, что позволяет им влиять на психофизические функции организма. Эфирные масла обладают способностью влиять на гипофиз и вызывать образование эндорфинов.

Эффективно функционировать растения могут в условиях аппаратно-биологических комплексов [8, 9]. Аппаратно-биологические комплексы в сочетании с источниками искусственного солнечного света составляют основу кабинетов психосоматической релаксации, предназначенных для реабилитации персонала. Такие кабинеты были созданы в Доме-интернате для детей с отклонениями в умственном развитии № 4 (ДДИ № 4) в Павловске и в Психоневрологическом интернате № 3 (ПНИ № 3) в Петергофе.

В ДДИ № 4 кабинет психосоматической релаксации в течение 11 месяцев посетили 200 человек, преимущественно сотрудники. Из них получили курсовое лечение (от 8 до 12 процедур) — 152 человека, среди которых 15 человек дважды прошли курсовое лечение. 48 человек получали лечение спорадически: кто-то с большими разрывами между процедурами, кто-то получил единичные процедуры.

Перед началом лечения сотрудники проходили тестирование по основным жалобам. На каждого сотрудника заводилась таблица, где отмечалась интенсивность жалоб по дням лечения: первый день, второй день, третий день и т. д.

У посещавших кабинет психологом фиксировалось: чувство хронической усталости; ухудшение состояния по основному заболеванию; раздражительность; рост заболеваемости; нарушение сна; нарушение аппетита; тревожность; падение интереса к жизни; негативное отношение к окружающим; оскудение репертуара рабочих действий; потеря интереса к профессии.

Во время процедуры посещавшие кабинет располагались на кушетке с платформой для тракционной релаксации, предназначенной для снятия нагрузки с позвоночника, и с помощью аудиального модуля слушали звуки живой природы в сочетании с классической музыкой. Искусственный солнечный свет с интенсивностью 3...5 клк попадал на руки, ноги, лицо и зону декольте. Вдоль одной из стен кабинета релаксации была установлена "зеленая" стена с общим числом растений около 200. Использовались растения, наиболее эффективно чистящие воздух и продуцирующие биологически активные вещества [5]. Продолжительность процедуры составляла около 40 мин.

На основании результатов обследований был сделан вывод, что у 94 % посещавших кабинет наступало улучшение общего состояния, при этом у 64 % — в первую неделю, у 20 % — во время второй недели посещения, у 10 % состояние улучшалось через 7—10 дней после окончания посещения. У 6 % посещавших кабинет процедуры не вызвали никаких изменений в самочувствии. И только у одного человека наступило ухудшение общего самочувствия на фоне проводимого лечения, в связи с чем оно было прекращено.

Нужно отметить, что у сотрудников, вошедших в 6 % якобы безрезультатного лечения, имелись симптомы, которые можно расценить как обострение хронической патологии данного человека, требующее комплексного лечения, включая, возможно, медикаментозное.

В ПНИ № 3 кабинет психосоматической релаксации в течение 12 месяцев посетили 276 человек. В их числе 246 проживающих и 30 сотрудников. Сеансы релаксации как с сотрудниками, так и с проживающими проводились ежедневно индивидуально и в группах максимум по 3 человека. В общей сложности было проведено около 800 сеансов.

Большинство пользователей кабинета (96 %) дали ему положительную оценку. У сотрудников улучшалось настроение, снижался уровень стресса, снижалась усталость, повышалась работоспособность.

По данным наблюдений врачей (психиатров) у проживающих улучшалось общение с окружающими, повышалось настроение. Проживающие стали более упорядочены в поведении, более активно стали участвовать в трудовых процессах, стали строить реальные планы на будущее.

В целом комплексное воздействие всех факторов при посещении кабинета психосоматической релаксации направлено на поддержание здоровья и оптимальной работоспособности, на развитие устойчивости к стрессовым ситуациям, активизацию собственных защитных сил организма, общую гармонизацию всех сфер жизни.

Показатели аппаратных и биологических средств, формирующих факторы релаксации в кабинете, должны соответствовать аналогичным природным показателям (интенсивность и спектр солнечного света, ритмы и тембры звуков, концентрация активных форм кислорода, набор биологически активных веществ и т. д.). Именно сочетание всех перечисленных факторов релаксации должно обеспечить наиболее интенсивную и эффективную релаксацию и реабилитацию пациентов кабинета.

Кабинеты психосоматической релаксации целесообразно организовывать в помещениях организаций, персонал которых занят интенсивным и напряженным трудом и которому необходимо восстановление эмоционального баланса после эмоциональных нагрузок — диспетчеры и



управленцы авиа, железнодорожных и автопоездов, машинистов на дистанции, летчиков, врачей, педагогов, военных и т. д.

### Заклучение

Факторы релаксации подсказаны самой природой. Это — природные цвета и солнечный свет, правильно подобранная музыка и звуки живой природы, чистый и свежий воздух, насыщенный биологически активными веществами.

### Список литературы

1. **Европейская** декларация по охране психического здоровья. Проблемы и пути их решения. — Хельсинки, Финляндия, 12—15 января 2005.
2. **Декер-Фойгт Г.-Г.** Введение в музыкотерапию: Монография. — СПб.: Питер, 2003. — 208 с.

3. **Федоров М. П., Воробьев К. В., Спичкин Г. Л.** Применение аппаратно-биологических комплексов для снижения уровня углекислого газа в воздухе помещений // Инженерные системы. АВОК—Северо-Запад. — 2010. — № 9. — С. 56—59.
4. **Бурцев С. И., Дударев А. А., Спичкин Г. Л.** Современные подходы к ионизации и озонированию воздуха вентилируемых помещений // Инженерные системы. АВОК—Северо-Запад. — 2006. — № 4 (25). — С. 46—49.
5. **Аэроионы** для здоровья / М. П. Федоров [и др.] // Экология и жизнь. — 2008. — № 8 (81). — С. 76—82.
6. **Чижевский А. Л.** Аэроионы и жизнь. Беседы с Циолковским (сборник): Монография. — М.: Мысль, 1999. — 716 с.
7. **Влияние** аэроионов, генерируемых при работе аппаратно-биологических комплексов, на функции различных органов и систем организма / Кирьянова А. А. [и др.] // Биосфера. — 2018. — № 1 (55). — С. 38—43.
8. **Федоров М. П., Спичкин Г. Л., Воробьев К. В.** Комнатные растения против органических загрязнителей // Экология и жизнь. — 2018. — № 11 (84). — С. 80—85.
9. **Воробьев К. В., Спичкин Г. Л., Федоров М. П.** Использование аппаратно-биологических комплексов для повышения качества воздуха помещений // Инженерные системы. АВОК—Северо-Запад. — 2011. — № 1. — С. 58—62.

**S. V. Vasil'yev**, General Director, PJSC "MEDIUS", Saint-Petersburg,  
**A. E. Garanina**, Doctor-neurologist, Clinic "Diona", Saint-Petersburg,  
**K. K. Kim**, Professor, Head of Chair, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, e-mail: kimkk@inbox.ru, **M. N. Kiyashko**, Associate Professor, North-Western State Medical University, Saint-Petersburg, **G. L. Spichkin**, General Director, LTD "NPO "Fitotekhnologiya", Saint-Petersburg,

## Use of Natural Factors for the Rehabilitation of Healthy Individuals

*The concept of relaxation with using "natural" factors is proposed. We consider the influence of each "natural" factor (visible light, UV and IR radiations, sounds of wildlife in combination with music, clean and fresh air formed with the help of active forms of oxygen) on the human body. We describe the biological method of air purification with the help of plants included in the hardware-biological complexes. We give an example of equipping rooms of psychosomatic relaxation by the equipment for reproducing the "natural" conditions in social institutions for the rehabilitation of the staff. This equipment is the hardware-biological complexes, artificial sunlight devices and audio modules. The article presents the statistical data of results of the medical examinations of the employees who visited these rooms, it was concluded on the basis of these data that the overwhelming number of visitors of these rooms (up to 94 %) have an improvement in the general health and mood, a decrease in the level of stress and fatigue and increasing working capacity. We give proposals how to use the psychosomatic relaxation rooms for the people engaged in intensive and intense work. It is shown that the parameters of hardware and biological means forming the relaxation factors in the rooms should be correspond to the similar "natural" indicators (intensity and spectrum of sunlight, rhythms and timbres of sounds, the concentration of active forms of oxygen, a set of biologically active substances, etc.).*

**Keywords:** rehabilitation, relaxation, natural factors, light, sounds of wildlife, fresh and clean air, hardware and biological complexes, artificial sunlight devices, psychosomatic relaxation rooms

### References

1. **Европейская** декларация по охране психического здоровья. Проблемы и пути их решения. Хельсинки, Финляндия, 12—15 января 2005.
2. **Декер-Фойгт Г.-Г.** Введение в музыкотерапию: Монография. Saint-Petersburg. Питер, 2003. — 208 с.
3. **Федоров М. П., Воробьев К. В., Спичкин Г. Л.** Применение аппаратно-биологических комплексов для снижения уровня углекислого газа в воздухе помещений. *Inzhenernyye sistemy. AVOK—Severo-Zapad*. 2010. No. 9. P. 56—59.
4. **Burtsev S. I., Dudarev A. A., Spichkin G. L.** Sovremennyye podkhody k ionizatsii i ozonirovaniyu vozdukhа ventiliruemyykh pomeshcheniy. *Inzhenernyye sistemy. AVOK—Severo-Zapad*. 2006. No. 4 (25). P. 46—49.

5. **Aeroiony** dlya zdorov'ya. M. P. Fedorov [et al.]. *Ekologiya i zhizn'*. 2008. No. 8 (81). P. 76—82.
6. **Chizhevskiy A. L.** Aeroiony i zhizn'. Besedy s Tsiolkovskim (sbornik): Monografiya. Moscow: Mysl', 1999. 716 p.
7. **Vliyanie** aeroionov, generiruemykh pri rabote apparatno-biologicheskikh kompleksov, na funktsii razlichnykh organov i sistem organizma / Kir'yanova A. A. [i dr.]. *Biosfera*, 2018. No. 1 (55). P. 38—43.
8. **Fedorov M. P., Spichkin G. L., Vorob'yev K. V.** Komnatnye rasteniya protiv organicheskikh zagryazniteley. *Ekologiya i zhizn'*. 2018. No. 11 (84). P. 80—85.
9. **Vorob'yev K. V., Spichkin G. L., Fedorov M. P.** Ispol'zovanie apparatno-biologicheskikh kompleksov dlya povysheniya kachestva vozdukhа pomeshcheniy. *Inzhenernyye sistemy. AVOK—Severo-Zapad*. 2011. No. 1. P. 58—62.

УДК 661.214.23

**В. С. Котельников**, д-р техн. наук, проф., генеральный директор,  
**Г. И. Грозовский**, д-р техн. наук, проф., зам. генерального директора,  
**В. В. Сидорчук**, ст. науч. сотр., **Д. Н. Созинова**, мл. науч. сотр.,  
e-mail: sozinovadn@gmail.com, АО "НТЦ "Промышленная безопасность", Москва

## Оценка риска объектов хранения жидкой серы

*Рассмотрены основные виды опасностей, которые могут возникнуть при длительном хранении жидкой серы. Определены размеры зон поражения при возможном полном разрушении резервуаров хранения. По результатам исследований предложен комплекс мер для снижения вероятности разрушения резервуаров и уменьшения последствий возможных аварий.*

**Ключевые слова:** сера, хранение жидкой серы, разрушение резервуара с серой, токсичные газы, сероводород, диоксид серы

Постоянное расширение сфер применения серы обеспечивает возрастающий спрос на данный вид сырья. В России большую часть серы получают в процессе переработки природного газа с высоким содержанием сероводорода (газовая сера), что подтверждается данными Росстата — рис. 1 [1]. Сера, полученная таким способом, имеет температуру, превышающую температуру плавления, т. е. находится в жидком виде.

В настоящее время наблюдается общая тенденция увеличения спроса на жидкую серу, поскольку ее использование более выгодно. Возникающие опасности, связанные с длительным хранением жидкой серы, рассмотрены ниже.

В жидкой сере, получаемой по так называемому методу Клауса (метод каталитической окислительной конверсии сероводорода), содержится растворенный сероводород ( $H_2S$ ).

При взаимодействии с кислородом воздуха сера, особенно жидкая, легко окисляется с образованием диоксида серы ( $SO_2$ ). Оба газа тяжелее воздуха, поэтому при хранении жидкой серы эти газы могут скапливаться над "зеркалом" жидкой серы, но концентрация этих газов в жидкой сере, поступающей на предприятие, менее 10 ppm.

Сероводород  $H_2S$ , относящийся к 3-му классу опасности [2], при воздействии на человека поражает слизистые оболочки организма человека. Максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей

зоны  $10 \text{ мг/м}^3$  [2]. При концентрации сероводорода в воздухе  $6 \text{ мг/м}^3$  у людей через 4 ч появляются головные боли и слезотечение. Увеличение концентрации до значений более  $1000 \text{ мг/м}^3$  приводит к практически мгновенному смертельному исходу по причине остановки дыхания и/или паралича сердца. При наличии источника воспламенения сероводород может взрываться, если его содержание в воздухе составляет от 4 % об. до 45,5 % об. Температура самовоспламенения сероводорода  $246 \text{ }^\circ\text{C}$  [3].

Диоксид серы  $SO_2$  оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки. Максимальная разовая ПДК  $SO_2$  в воздухе рабочей зоны составляет  $10 \text{ мг/м}^3$  [2]. Превышение этой концентрации может привести к одышке и потере сознания, хотя смертельные случаи, как непосредственное следствие отравления, так и в длительной перспективе,

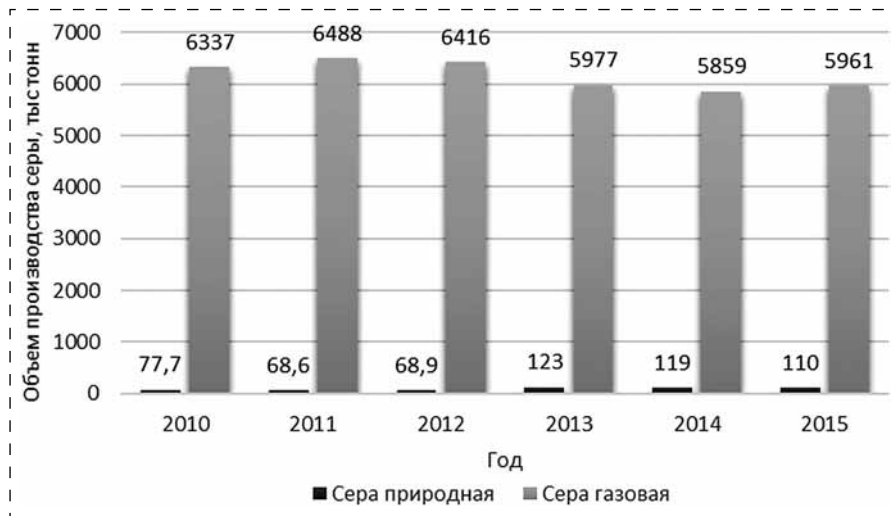


Рис. 1. Ежегодный объем получения жидкой серы



как результат развития сопутствующих заболеваний, достаточно редки.

Рассмотрим возможные опасности при хранении жидкой серы в резервуаре объемом 1500 м<sup>3</sup>. Исходным событием, приводящим к разливу жидкой серы, являются полное или частичное разрушение указанного резервуара. Рассмотрим сценарий полного разрушения резервуара как более опасного события.

Вариант развития аварийной ситуации, при которой сера может подвергнуться длительному нагреванию с последующим воспламенением, не рассматривался, поскольку вокруг резервуара и в области, где может разлиться сера, отсутствуют соответствующие источники тепла.

Считалось, что поверхность, по которой при полном разрушении резервуара будет растекаться жидкая сера, — бетонная, плоская и неограниченная. Согласно методике [4] площадь пролива  $F_{пр}$  (м<sup>2</sup>) может быть определена по формуле

$$F_{пр} = f_p V_{ж}, \quad (1)$$

где  $f_p$  — коэффициент разлива, м<sup>-1</sup>, который по данным Патента [5] для случая растекания жидкой серы может быть принят равным 10 м<sup>-1</sup>. Поскольку в твердом состоянии сера имеет молекулярную кристаллическую решетку, то скрытая теплота кристаллизации на границе фаз жидкость/твердое вещество достаточно мала. Это позволяет предположить, что переход серы в твердую фазу будет достаточно быстрым, а толщина образовавшегося твердого слоя ~10 см (0,1 м);

$V_{ж}$  — объем жидкой серы, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, м<sup>3</sup>.

Принято, что объем жидкой серы  $V_{ж}$  равен всему объему серы в резервуаре — 1500 м<sup>3</sup>. Тогда площадь пролива равна 15 000 м<sup>2</sup>. Считая, что растекание жидкой серы происходит равномерно во все стороны, получим, что радиус зоны поражения при непосредственном контакте персонала с расплавом серы:

$$R = \sqrt{\frac{F_{пр}}{\pi}} = 69 \text{ м}. \quad (2)$$

Для определения количества сероводорода и диоксида серы, которое может выделиться при полном разрушении резервуара, использовались данные анализа состава газовой фазы внутри резервуара, полученные персоналом лаборатории предприятия, эксплуатирующего подобные резервуары.

Полученные по результатам анализа объемные концентрации (кг/м<sup>3</sup>), объемные проценты (% об.) и массовые доли (ppm), а также общее количество

Таблица 1

Содержание токсичных веществ  
в объеме газовой фазы резервуара

| Показатель            | Единицы измерения | H <sub>2</sub> S | SO <sub>2</sub> |
|-----------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Объемная концентрация | мг/м <sup>3</sup> | 90               | 730             |
| Объемные проценты     | % об.             | 0,31             | 2,5             |
| Массовая доля         | ppm               | 63,5             | 274             |
| Общая масса вещества  | кг                | 0,068            | 0,55            |

токсичных газообразных веществ, находящихся в резервуаре, при условии, что максимальный объем газовой фазы в этом случае 750 м<sup>3</sup>, приведены в табл. 1.

По данным таблицы можно сделать вывод, что концентрация сероводорода в объеме газовой фазы резервуара в 10 раз меньше нижнего концентрационного предела распространения пламени, равного 4,3 %, следовательно, взрыв и/или возгорание смеси H<sub>2</sub>S с воздухом невозможен.

Расчет распространения после разрушения резервуара сероводорода и диоксида серы, находившихся в объеме газовой фазы резервуара, проведен в соответствии с Методикой [6]. При прогнозировании площади заражения в качестве исходных данных были приняты наиболее неблагоприятные метеорологические условия — класс устойчивости атмосферы — инверсия, скорость ветра —  $u = 1$  м/с.

Полученные изменения возможных максимальных значений концентраций H<sub>2</sub>S и SO<sub>2</sub> (мг/м<sup>3</sup>) в зависимости от расстояния до резервуара в направлении по ветру представлены на рис. 2.

Согласно Методике [6] значения пороговой и смертельной токсодоз для сероводорода — 1 и 10 мг·мин/л соответственно. Определено, что максимальная достижимая концентрация сероводорода может составлять 90 мг/м<sup>3</sup>. При условии, что такая концентрация остается постоянной,

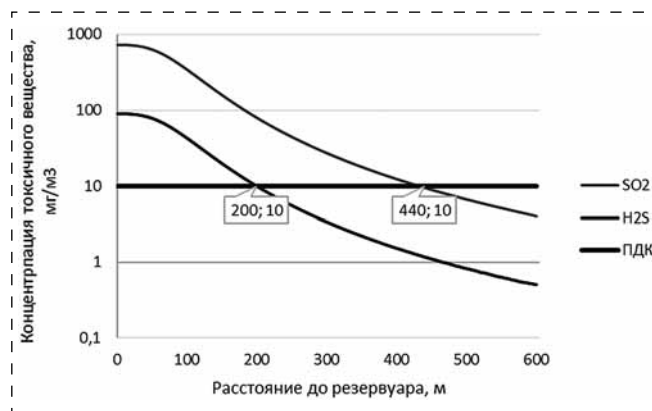


Рис. 2. Изменение максимальной концентрации токсичных газов в зависимости от расстояния до резервуара

**Размеры зон поражения при воздействии различных поражающих факторов**

| Поражающий фактор                     | Характеристика воздействия                 | Радиус зоны поражения, м              |
|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Жидкая сера                           | Температура жидкой серы                    | 69                                    |
| Давление взрывной волны               | Избыточное давление фронта ударной волны   | —                                     |
| Токсическое воздействие сероводорода  | Концентрация при ингаляционном воздействии | 115 (пороговая токсодоза за 30 мин)   |
| Токсическое воздействие диоксида серы | Концентрация при ингаляционном воздействии | 115 (смертельная токсодоза за 30 мин) |

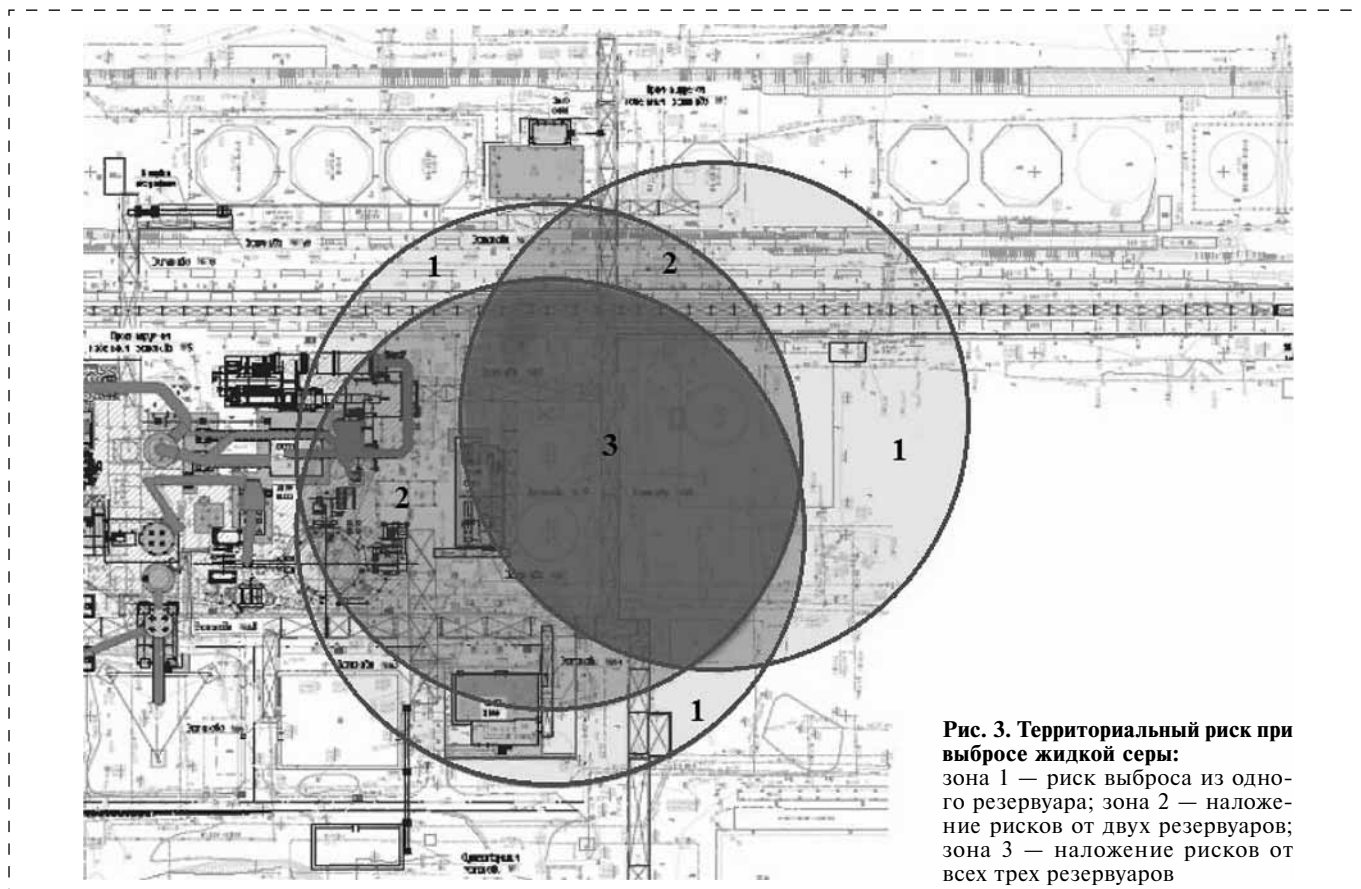
время ингаляционного воздействия до получения пороговой токсодозы при отсутствии средств индивидуальной защиты равно ~11 мин, до получения летальной токсодозы ~166 мин.

Было установлено, что на расстоянии 115 м, при концентрации сероводорода ~33 мг/м<sup>3</sup> пороговая токсодоза при ингаляционном воздействии может быть получена примерно за 30 мин. При этих же условиях летальная токсодоза получена быть не может. Определено, что превышение ПДК по сероводороду возможно в области, ограниченной окружностью радиусом менее 200 м от резервуара.

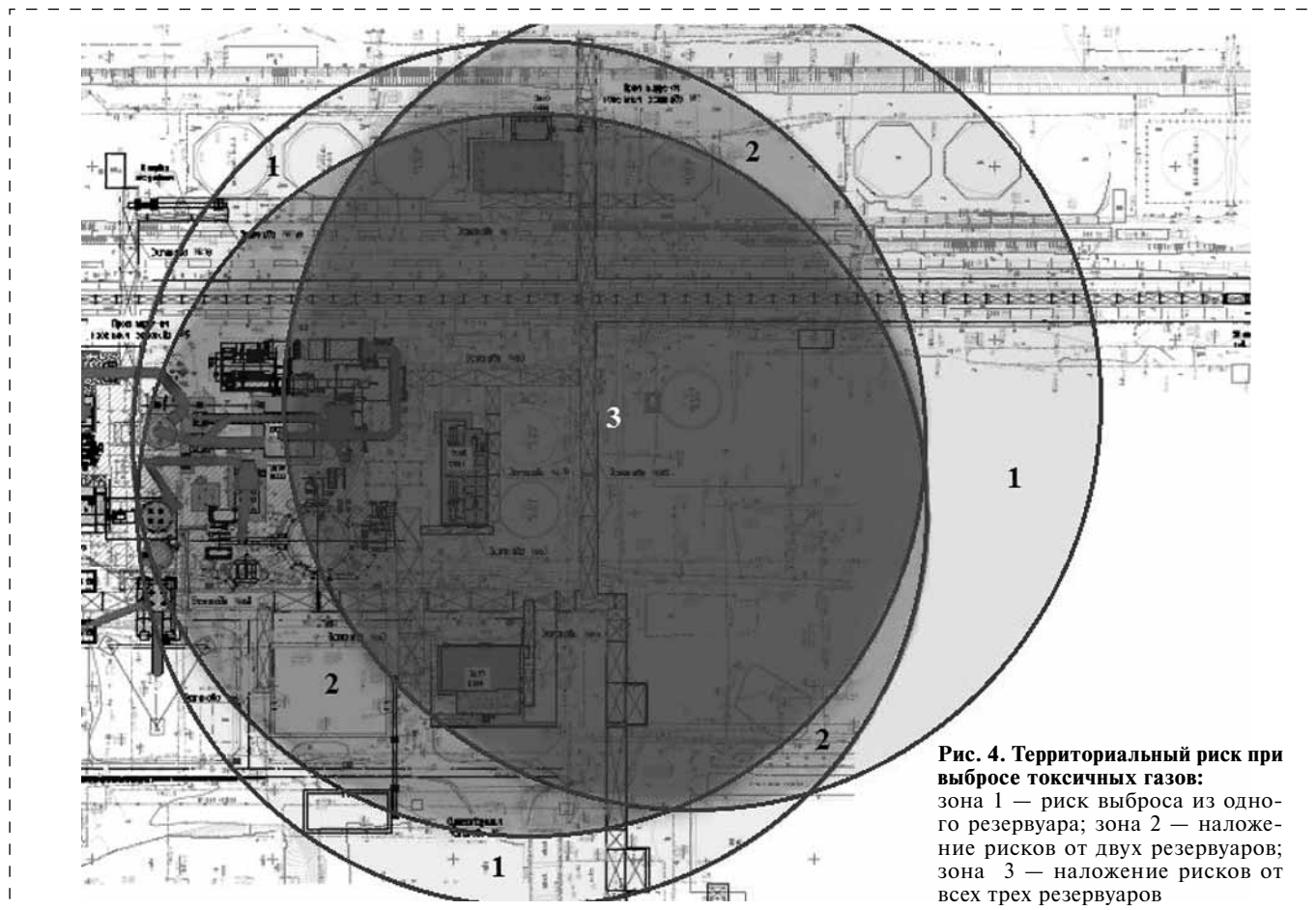
Установлено, что смертельная концентрация диоксида серы — 100 ppm (266 мг/м<sup>3</sup>) при вдыхании более 30 мин [7] может быть получена на расстоянии 115 м до резервуара. Превышение же ПДК по диоксиду серы возможно во всем пространстве, ограниченном в плане окружностью радиусом ~440 м с центром в месте нахождения резервуара.

Результаты расчетов размеров зон поражения при воздействии различных поражающих факторов приведены в табл. 2.

На рис. 3 показана интерференция границ зон разлития жидкой серы (радиусом зоны



**Рис. 3. Территориальный риск при выбросе жидкой серы:**  
 зона 1 — риск выброса из одного резервуара; зона 2 — наложение рисков от двух резервуаров; зона 3 — наложение рисков от всех трех резервуаров



**Рис. 4. Территориальный риск при выбросе токсичных газов:**  
 зона 1 — риск выброса из одного резервуара; зона 2 — наложение рисков от двух резервуаров; зона 3 — наложение рисков от всех трех резервуаров

поражения 69 м) при возможном разрушении резервуаров.

На рис. 4 обозначены границы зон распространения диоксида серы (сероводорода) радиусом 115 м для случаев возможного разрушения одного, двух или трех резервуаров.

Полученные данные подтверждают, что возможное разрушение резервуара с жидкой серой, ее разлив на прилегающую территорию и выделение токсичных газов представляют опасность для персонала и окружающей среды в пределах зон, размеры которых были определены и приведены выше.

Для снижения вероятности разрушения резервуаров, предназначенных для хранения жидкой серы, и уменьшения последствий возможных аварий необходимо в течение всего срока эксплуатации резервуаров выполнять перечисленные ниже меры безопасности.

1. Соблюдать нормативные требования к способам хранения, загрузки и выгрузки жидкой серы.

2. Проводить органолептический контроль состояния резервуаров.

3. Проводить контроль состояния материала резервуара методами неразрушающего контроля резервуара.

4. Проводить с установленной периодичностью техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты резервуаров с жидкой серой.

5. Разработать и установить автоматизированную систему, определяющую нарушение целостности резервуара.

6. Обеспечить всех сотрудников, которые могут находиться в опасной зоне, необходимыми средствами индивидуальной защиты.

7. Разработать и постоянно актуализировать необходимый перечень инструкций.

8. Разработать комплекс мер по ликвидации чрезвычайных ситуаций, включая обучение и проверку знаний персонала, техническое обеспечение и т. п.

#### Список литературы

1. **Промышленное производство** в России. 2016: Статистический сборник / Росстат. — М., 2016. — 347 с.
2. **ГН 2.2.5.1313—03** Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.





3. **ГОСТ 30852.19—2002** (МЭК 60079-20:1996) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 20. Данные по горючим газам и парам, относящиеся к эксплуатации электрооборудования.
4. **Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404** (ред. от 14.12.2010) "Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах" (Зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2009 № 14541).
5. **Pat. WO 2012101002 A1 (US)**. Method for solidifying a mass of liquid sulfur and relative solid sulfur block obtainable with said method.
6. **Приказ** Ростехнадзора от 20.04.2015 № 158 "Об утверждении Руководства по безопасности "Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ".
7. **Agency for Toxic Substances and Disease Registry**. Public Health Statement for Sulfur Dioxide, 1998.

**V. S. Kotelnikov**, Professor, Director General, **G. I. Grozovsky**, Professor, Deputy General Director, **V. V. Sidorchuk**, Senior Researcher, **D. N. Sozinova**, Junior Researcher, e-mail: sozinovadn@gmail.com., JSC "STC "Industrial safety", Moscow

## Risk Assessment of Liquid Sulphur Storage

*This paper considers basic risks that can occur during long-term storage of liquid sulfur. The size of the affected areas is determined with the possible total destruction of the storage tanks. Based on the results of the study, a set of measures is proposed to reduce the probability of storage tank rupture and reduce the consequences of possible accidents.*

**Keywords:** sulphur, liquid sulphur storage, sulphur storage tank rupture, toxic gases, hydrogen sulfide, sulphur dioxide

### References

1. **Industrial Production** in Russia. 2016: Statistical Compendium / Rosstat. Moscow, 2016. 347 p.
2. **Health Standards No. 2.2.5.1313—03** Maximum Permissible Concentration (MPC) for Harmful Substances in the Air of the Working Zone.
3. **ГОСТ 30852.19—2002** (IEC 60079—20:1996) Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres. Part 20. Data for Flammable Gases and Vapors Relating to the Use of Electrical Apparatus.
4. **Order** of EMERCOM of Russia dated July, 10, 2009 No. 404 (in the version of December 14, 2010) "On the Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk at Production Facilities" (Registered with the Ministry of Justice as of August 17, 2009, No. 14541).
5. **Pat. WO 2012101002 A1 (US)**. Method for Solidifying a Mass of Liquid Sulfur and Relative Solid Sulfur Block Obtainable with Said Method.
6. **Order** of Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia dated April, 20, 2015 No. 158 "On approval of the Safety Manual Method for Modeling the Accidental Discharges of Hazardous Substances."
7. **Agency for Toxic Substances and Disease Registry**. Public Health Statement for Sulfur Dioxide, 1998.

## Информация

### 28-я Международная Конференция

### "Экология и безопасность"

28 Июня — 2 Июля 2019

Выставочный зал ФЛОРА, Бургас, Болгария

### Тематические направления конференции

*Энергия, климат и глобальная безопасность в 21-ом столетии:* Выбросы парниковых газов. Жизнеспособные и чистые технологии. Спутниковый мониторинг окружающей среды и др.

*Экология воздуха, почвы и воды:* Леса и рациональное использование природных ресурсов. Экологический контроль и оценка экологического статуса. Управление отходами и планы по утилизации отходов и др.

*Экология человека — здоровье и безопасность:* Зеленые технологии. Медицинский и экологический фитодизайн. Профессиональная и экологическая гигиена и др.

*Гражданская оборона и борьба со стихийными бедствиями:* Индустриальная безопасность и риск-менеджмент. Индустриальная экология и трансграничное загрязнение. Инновационные технологии для систем раннего оповещения о стихийных бедствиях и авариях и др.

Подробности: <https://www.sciencebg.net/ru/conferences/ecology-and-safety/>

**Е. В. Алекина**, доц. кафедры, alekina-samgtu@mail.ru, **Д. А. Мельникова**, доц. кафедры, **Л. В. Сорокина**, доц. кафедры, **Ю. В. Гашенко**, ассистент кафедры, Самарский государственный технический университет

## Оптимизация обучения работников знаниям, умениям и навыкам по обеспечению безопасной деятельности

*Рассмотрены вопросы оптимизации системы обучения и формирования профессионально значимых знаний, умений, навыков по обеспечению безопасной деятельности. Приведено описание процесса формирования модели, включающее этапы анализа системы, синтеза модели, проверки адекватности модели. Представлена концептуальная модель, предполагающая наличие элементов управления обучением безопасной деятельности и установления связей.*

**Ключевые слова:** обучение, система, безопасная деятельность, концептуальная модель, оптимальное управление, критерий управления, умения и навыки, контроль качества обучения, технология обучения, логико-динамическая модель

Оптимизация обучения и выработка знаний, умений, навыков по обеспечению безопасной деятельности осуществляются в процессе профессиональной подготовки. При этом решаются три взаимосвязанные задачи [1]:

- обучение каждого работника методам и способам снижения числа ошибочных действий;
- периодическое обучение в течение всей трудовой деятельности;
- совершенствование обучения, его организации и методического обеспечения в соответствии с изменениями в требованиях законодательных и нормативных правовых актов по обеспечению безопасности труда.

Организационно-методические аспекты подготовки к безопасной деятельности обеспечивают системой обучения. Совокупность решаемых при этом задач представлена в виде структуры, определяющей последовательность взаимосвязанных понятий, за которыми стоят соответствующие действия и процедуры (рис. 1).

Формируемая на основе этой структуры система обучения безопасной деятельности строится в следующей последовательности [2]:

- разработка модели системы и изучение ее динамики;
- выделение элементов системы и установление их взаимодействия;
- анализ назначения системы и выработка допущений и ограничений;
- формирование принципов управления;
- определение состава элементов управления, ресурсов и ограничений;
- выбор совокупности критериев и их ранжирование посредством использования системы предпочтений;
- назначение цели как требуемого конечного состояния;
- выработка концепции и алгоритма оптимального управления.

Модель формирования системы обучения в соответствии со структурой, приведенной на рис. 1, представлена на рис. 2.

Процесс формирования модели происходит в три этапа.

1. *Анализ системы.* Действия, составляющие этап, направлены на изучение системы в целях получения концептуальной модели. Основным содержанием такой модели является представление системы в виде совокупности элементов (декомпозиции), последовательное обследование каждого элемента и функциональных связей между ними.

2. *Синтез модели.* На этом этапе получают модели отдельных элементов, формализуют их связи и последовательно переходят

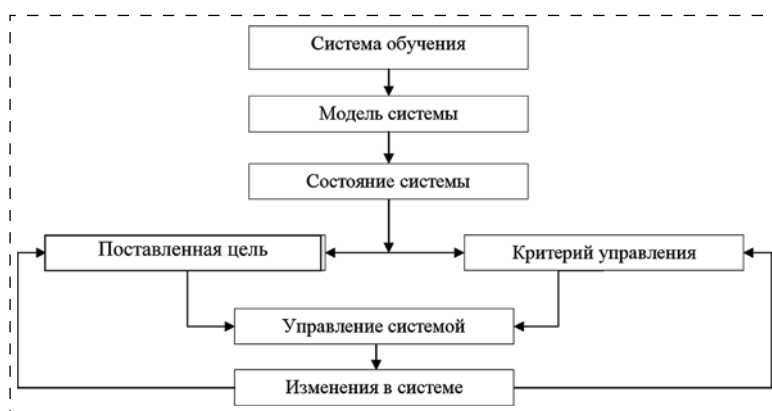


Рис. 1. Структура системы обучения



**Рис. 2. Модель формирования системы обучения безопасной деятельности**

от элементов к целостной динамической модели. Этот этап может завершаться созданием математической модели системы, которая позволяет использовать количественные методы анализа. Естественно, для плохо формализуемых систем можно довольствоваться наличием лишь строгого описания фрагментов системы (концептуальной моделью), тогда часть системы будет охарактеризована вербально, на естественном языке. Однако исследование такого симбиоза формализма с вербальностью представляет далеко не тривиальную задачу.

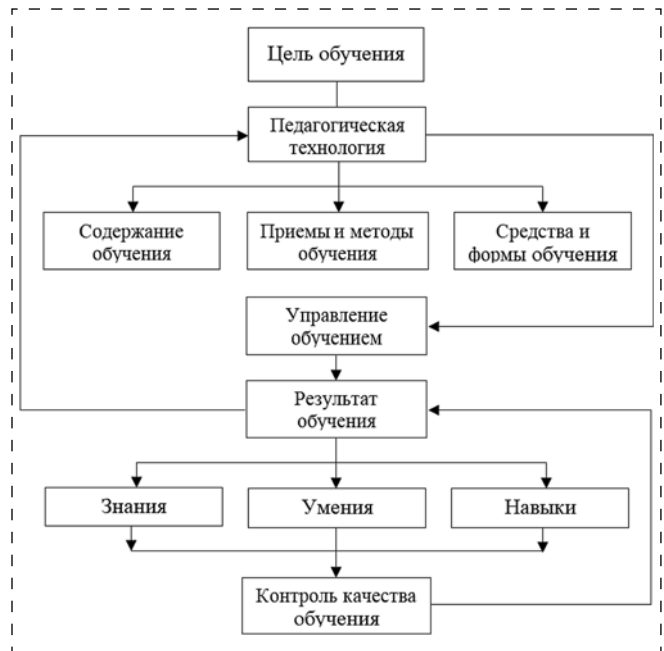
3. *Проверка адекватности модели.* Эта процедура сопутствует всем этапам построения модели. Задача заключается в удовлетворении требований по обеспечению адекватности модели и исследуемой системы в плане достижения необходимой точности описания процессов, представлявших интерес для субъекта.

Конечный продукт — концептуальная модель, предполагающая наличие элементов управления обучением безопасной деятельности и установление связей (рис. 3).

Критерием для формирования блока целей обучения является четкое представление о результатах обучения, которые должны быть достигнуты обучаемым. Диагностическое задание целей соблюдается при выполнении следующих требований:

- используемые исходные понятия точно определены;
- проявления и факты, обозначаемые понятием, обладают категорией меры, т. е. их величина поддается прямому или косвенному измерению;
- результаты измерения могут быть соотношены с определенной шкалой, т. е. соответственно оцениваться.

Применительно к обеспечению безопасной деятельности целью обучения является снижение числа ошибочных действий персонала, которые приводят к аварийности и травматизму.



**Рис. 3. Концептуальная модель системы обучения безопасной деятельности**

Задачи проектирования технологии обучения безопасной деятельности формулируются следующим образом.

1. Постановка целей обучения.
2. Планирование последовательности технологических операций учебного процесса.
3. Разработка критериев оценки качества учебного процесса.
4. Управление познавательной деятельностью с помощью определенных регулируемых параметров.

Далее нужно выделить наиболее существенные признаки и характеристики технологии обучения безопасной деятельности [3], разрабатываемой под конкретный замысел, который опирается на методологические, дидактические, психологические, философские основы:

- цепочка технологических операций и связей реализуется в полном соответствии с принятыми целевыми установками и конкретными ожидаемыми результатами;
- предусматриваются взаимосвязанная деятельность преподавателя и обучаемого с учетом возможностей индивидуализации и дифференциации обучения и использование технических, в том числе компьютерных, средств обучения;
- разрабатывается и реализуется как решение многокритериальной задачи с получением максимальных планируемых результатов при минимуме затрачиваемых на это средств;
- планируется с учетом того, что она может обеспечить достижение намеченных результатов;



— включает диагностические (дидактические, психологические, социометрические и др.) процедуры, содержащие критерии, показатели и инструментари;

— предусматривает измерения результатов деятельности субъектов процесса обучения.

Технология обучения безопасной деятельности состоит из трех блоков: содержание обучения, методы, средства и форма обучения.

Сначала осуществляется отбор теоретического материала в соответствии с поставленными целями, а также на основе анализа дидактических характеристик обучения проводится отбор учебных элементов с указанием для них уровня усвоения и степени фундаментальности.

Содержание обучения по обеспечению безопасной деятельности включает три направления формирования знаний:

- 1) организация безопасной деятельности;
- 2) правила и нормы, обеспечивающие безопасный труд в зависимости от направления деятельности обучаемых;
- 3) умения и навыки обеспечения безопасности обучаемыми выполнения производственной деятельности.

Первое направление включает знание общих вопросов обеспечения безопасности независимо от вида деятельности обучаемых.

Содержание второго направления включает в себя знание требований обеспечения безопасности, предъявляемых к оборудованию, персоналу и организации выполнения работ. Содержание определяется видом деятельности персонала.

Третье направление предполагает воспитание у персонала умений и навыков, исключающих возникновение ошибочных действий как в штатных ситуациях, так и в аварийных.

Методы, используемые при реализации этих направлений, служат для формирования у обучаемых прочной системы фундаментальных научно обоснованных знаний, практических умений и навыков [4].

Каждый метод состоит из взаимосвязанных элементов, называемых методическими приемами обучения, которые, в свою очередь, являются средствами реализации метода обучения. Одни и те же приемы могут входить в состав различных методов и позволяют активизировать познавательную деятельность обучаемых.

Методы обучения тесно связаны друг с другом и образуют систему, применение которой обеспечивает овладение знаниями, выработку у обучаемых профессиональных умений и навыков обеспечения безопасной деятельности.

Использование информационных технологий при реализации методов обучения безопасной

деятельности позволяет создать дополнительные возможности и изыскать организационно-технические ресурсы, т. е. решить следующие тактические задачи:

— обеспечение доступа к большому объему учебной информации;

— образная наглядная форма представления изучаемого материала;

— поддержка активных методов обучения;

— модульный прием построения технологии обучения, что позволяет тиражировать отдельные составные части информационной технологии;

— поддержка информационной технологии соответствующим научно-методическим обеспечением.

Информационная технология реализована в виде системы обучения и контроля знаний. Она выбрана модульной, т. е. можно проходить обучение и контроль знаний как по разделам, так и в целом.

Особенности информационных технологий заключаются в следующем.

При самостоятельном изучении требований правил и норм обеспечения безопасной деятельности после каждого ответа, в случае если таковой неверен или частично верен, предоставляется возможность просмотреть верный ответ. В режиме контроля такая возможность недоступна (правильные ответы доступны только после окончания тестирования по данному билету).

При обучении можно вернуться к произвольному вопросу из предшествующих данному и вновь ответить на него. При повторном ответе время не засекается, а результаты ответа не учитываются.

Контроль усвоения обучаемыми изучаемого материала включает нахождение опорных сигналов — ключевых слов, которые наиболее полно раскрывают содержание. Определение ключевого слова или словосочетания из текста, которое несет в данном тексте существенную с точки зрения информационного поиска информацию. Расположение ключевых слов в списке, формируемом каждым обучаемым, составляет логическую основу излагаемого материала (тезаурус связей) [5]. Совокупность ключевых слов как главная информация темы способствует оптимальному усвоению материала обучаемым. Благодаря использованию сопоставления совокупности ключевых слов обучаемых с совокупностью ключевых слов, составленных обучающим, появилась возможность внедрить в учебный процесс программированную систему контроля усвоения пройденного материала.

Основой для получения шкалы возможностей обучаемого (интегральной оценки) служат:

— ключевые слова, составленные обучающим в количестве 15;

- ключевые слова, составляемые каждым обучаемым (от 5 до 15);
- количество ключевых слов, совпавших со словами всех обучаемых и обучающего;
- количество ключевых слов, не совпавших со всеми словами обучаемых;
- количество лишних слов;
- степень важности каждого ключевого слова в зависимости от сложности материала (от 1 до 5 баллов).

В интегральную оценку усвоения материала обучаемыми входят такие показатели, как: уровень знаний; уровень мышления; уровень сложности материала; уровень подготовки группы обучаемых.

Одной из задач обучающего является поиск способа систематической проверки и оценки уровня знаний каждого обучаемого. Оперативное управление познавательной деятельностью обучаемых имеет большое значение не только для формирования прочных знаний, умения ориентироваться, принимать правильные решения, но также и для развития интересов и внутренних мотивов во время обучения.

Результаты позволяют определить "шкалу возможности обучаемого", указать на его недооценку или переоценку своих возможностей с тем, чтобы на следующем занятии обучаемый мог более правильно выбрать тактику обучения, лучше усваивать материал.

Если обучаемый улучшает свой результат по мере обучения, то он обладает гибким умом, что позволяет ему критически пересмотреть первоначальные оценки и видеть в развитии сложные процессы обучения.

Получение практических знаний и формирование навыков безопасного выполнения операций достигается применением для обучения тренажеров [6], которые должны воспроизводить копию объекта управления.

Особенностями применения тренажера являются [7]:

- уникальность, связанная с точным воспроизведением реальной деятельности;
- сложность логико-динамической модели, вызванная всережимностью, полномасштабностью и сопряженностью (требуется использование дифференциальных уравнений в частных производных высокого порядка);
- потребность в высококвалифицированном обслуживающем персонале;
- необходимость использования математиков, системотехников, кибернетиков и технологов при создании тренажеров;
- ограниченные дидактические возможности, которые необходимы для формирования психологических характеристик обучаемых.

Тренажер должен:

- преобразовывать информацию о реальном состоянии объекта управления;
- выявлять из потока информации критические ситуации и задачи;
- предъявлять задачи и ситуации в виде, удобном для усвоения и овладения приемами решения выхода из аварийной ситуации.

Существуют различные критерии точности моделирования производственной обстановки тренажером, но в целом статическая точность имеет порядок 10 %, динамическая — 20 % [8]. Под динамической точностью обычно понимается сохранение постоянных времени переходного процесса, который считается протекающим по экспоненте (при моделировании процессов линейными дифференциальными уравнениями первого порядка).

Объект управления, фактически имитируемый тренажером, может быть описан только с некоторой погрешностью в связи с множеством факторов, влияние которых учесть не удастся. Однако эта погрешность не вносит методическую ошибку в процесс обучения, так как человек практически не реагирует на незначительные (в пределах нескольких процентов), медленно протекающие переходные процессы в объекте управления. Поэтому нет необходимости стремиться к точному моделированию органов управления при обучении навыкам безопасной деятельности с использованием тренажеров [9].

Алгоритм формирования у персонала навыков безопасной работы с учетом интеллектуальных возможностей можно представить в следующем виде [10]: знания → решения → умения и навыки.

Главная цель обучения — развитие оперативного мышления. При этом выделяются следующие моменты деятельности:

- контроль и наблюдение;
- распознавание ситуации;
- диагностика неисправностей оборудования;
- планирование действий;
- выбор программы деятельности;
- коррекция программы действий в процессе управления.

Для целей оценки приобретения и утраты навыков применена модель, где в качестве показателей степени совершенства любого из навыков используют безошибочность и длительность выполнения действий работающим. Математически эти показатели описываются уравнениями [11]:

$$K(n) = K_0 f(n);$$
$$\tau(n) = \tau_{\min} + \varphi(n),$$

где  $K(n)$  — число ошибок, допущенных специалистом при выполнении заданного объема работ в  $n$ -м цикле тренировки;



$K_0$  — число ошибок, допускаемых специалистом при выполнении заданного объема работ до начала тренировок;

$f(n)$  — убывающая функция, характеризующая уменьшение числа ошибок в  $n$ -м цикле в процессе тренировки;

$\tau(n)$  — время, затрачиваемое специалистом на выполнение заданного объема работ в  $n$ -м цикле тренировки;

$\tau_{\min}$  — минимальное время, затрачиваемое специалистом на выполнение заданного объема работ;

$\varphi(n)$  — убывающая функция, характеризующая снижение продолжительности выполнения заданного объема работ в процессе тренировки.

Результативность системы обучения контролируется в процессе апробации концептуальной модели, после чего в нее вносятся необходимые коррективы.

Разработанные теоретические положения легли в основу систем обучения безопасной деятельности, используемых при изучении студентами дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" в СамГТУ, при обучении правилам и нормам безопасности труда и навыков по обеспечению безопасной деятельности в послевузовском образовании.

## Список литературы

1. **Чернова Ю. К.** Квалитивные технологии обучения: Монография. — Тольятти: изд-во фонда "Развитие через образование", 1998. — 149 с.
2. **Могилевский В. Д.** Методология систем. — М.: Экономика, 1999. — 251 с.
3. **Беспалько В. П.** Слагаемые педагогической технологии. — М.: Педагогика, 1989. — 192 с.
4. **Лернер А. Я.** Дидактические основы методов обучения. — М.: Педагогика, 1981. — 181 с.
5. **ГОСТ 7.27—80** Система стандартов по информации и издательскому делу. Научно-информационная деятельность. Основные термины и определения.
6. **Чачко А. Г.** Тренажеры и учебно-тренировочные центры. — Киев: Знание, 1977. — 28 с.
7. **Жукова Н. В.** Возможности использования электронных тест-тренажеров при обучении // *Фундаментальные исследования*. — 2013. — № 10—12. — С. 2778—2781.
8. **Плотинский В. И., Охотин В. В.** Требования к точности динамических моделей тренажеров // *Электронное моделирование*. — 1985. — № 1. — С. 81—85.
9. **Ackerman P. H., Wickens C. D., Schneider W.** Deciding the existence of a time-sharing ability: A combined methodology and the critical" approach // *Human Factors*. — 1984. — No. 26. — P. 71—82.
10. **Мельникова Д. А., Яговкин Г. Н.** Оценка влияния психологических характеристик человека на обеспечение безопасности его труда. // *Вестник Самарского государственного технического университета*. — 2015. — № 0 (26). — С. 132—138.

**E. V. Alekina**, Associate Professor, e-mail: alekina-samgtu@mail.ru,

**D. A. Melnikova**, Associate Professor, **L. V. Sorokina**, Associate Professor,

**Yu. V. Gashenko**, Assistant, Samara State Technical University

## Optimizing the Employee Training to Ensure Safe Operations

*The paper considers the training system optimization and formation of professionally significant knowledge and skills to ensure safe activity. The description of the model formation process is presented. It includes the stages of the system analysis, the model synthesis, and the model adequacy check. A conceptual model has been developed that presupposes the availability of management elements for the safe activity training and the links establishment.*

**Keywords:** training, system, safe activity, conceptual model, optimal control, management criterion, skills and abilities, training quality control, teaching technology, logical-dynamic model

### References

1. **Chernova Y. K.** Kvalitivnye tekhnologii obucheniya: Monografiya. — Tol'yatti: izd-vo fonda "Razvitie cherez obrazovanie", 1998. 149 p.
2. **Mogilevskij V. D.** Metodologiya sistem. M.: Ekonomika, 1999. 251 p.
3. **Bespalko V. P.** Slagaemye pedagogicheskoy tekhnologii. M.: Pedagogika, 1989. 192 p.
4. **Lerner A. Ya.** Didakticheskie osnovy metodov obucheniya. M.: Pedagogika, 1981. 181 p.
5. **ГОСТ 7.27—80** Sistema standartov no informatizacii i izdatel'skomu delu. Nauchno-informacionnaya deyatelnost'. Osnovnye terminy i opredeleniya.
6. **Chachko A. G.** Trenazhery i uchebno-trenirovochnye centry. Kiev: Znanie. 1977. 28 p.
7. **Zhukova N. V.** Vozmozhnosti ispol'zovaniya ehlektronnyh test-trenazherov pri obuchenii. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. No. 10—12. P. 2778—2781.
8. **Plotninskij V. I., Ohotin V. V.** Trebovaniya k tochnosti dinamicheskikh modelej trenazherov. *Elektronnoe modelirovanie*. 1985. No. 1. P. 81—85.
9. **Ackerman R. N., Wickens C. D., Schneider W.** Deciding the existence of a time-sharing ability: A combined methodology and the critical" approach. *Human Factors*. 1984. No. 26. P. 71—82.
10. **Melnikova D. A., Yagovkin G. N.** Ocenka vliyaniya psikhologicheskikh harakteristik cheloveka na obespechenie bezopasnosti ego truda. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015. No. 0 (26). P. 132—138.

УДК 504.06

**Л. В. Рыжова**, асп., e-mail: ryzhova\_lv@mail.ru, **Т. С. Титова**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, проректор, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, **С. Г. Гендлер**, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский горный университет

## Особенности проведения экологического мониторинга почвогрунтов при сооружении объектов метрополитена в мегаполисах

*Рассмотрены данные о степени загрязнения грунтов тяжелыми металлами и бенз(а)пиреном. Приведены принципы и этапы построения 3D-моделей распространения загрязнения на поверхности и на глубину с помощью программы AUTOCAD CIVIL 3D 2017. Рассчитаны объемы грунта разной категории загрязнения. Обоснована необходимость проведения мониторинга почвогрунтов на этапе строительства объектов метрополитена.*

**Ключевые слова:** метрополитен, загрязнения почвогрунтов, тяжелые металлы, бенз(а)пирен, категория загрязнения, 3D-модель, объем грунта, мониторинг

Основой системы городского пассажирского транспорта в крупных городах России является метрополитен. Например, в Санкт-Петербурге удельный вес перевозок пассажиров составляет порядка 45 % [1]. Зона пешеходной доступности станций метрополитена покрывает около 32 % территории плотной застройки. Доля территорий в зоне пешеходной доступности станций метрополитена в центре города составляет 58 %, в северных районах — 24 %, в восточных — 23,5 %, в южных — 12,7 %. Не обслуживаются метрополитеном Красносельский район, значительные части Приморского, Красногвардейского, Фрунзенского, Калининского, Выборгского районов Санкт-Петербурга [1].

Главной задачей метрополитена является обеспечение магистральных внутригородских перевозок населения по направлениям, связывающим периферийные районы города с его центром и между собой и характеризующимся наиболее устойчивыми пассажиропотоками [1].

Таким образом, с каждым годом растет необходимость как строительства продолжения

существующих линий метрополитена в периферийные районы города, так и сооружения новых линий метрополитена и новых станций метро.

В соответствии с "Государственной программой Санкт-Петербурга "Развитие транспортной системы Санкт-Петербурга" к 2022 году планируется увеличить эксплуатационную длину линий метрополитена до 133,8 км, ввести в действие девять новых станций [1] (табл. 1).

Следует отметить, что в процессе строительства объектов метрополитена образуются значительные объемы грунтов. В большинстве случаев этот грунт существенно отличается по своему химическому составу от начального состава, определяемого геологическими особенностями района строительства. Эти отличия в исторической части города связаны с длительным техногенным воздействием процессов жизнедеятельности населения, проживавшего в данных районах.

В периферийных районах города, которые раньше находились за чертой города или на его окраине, характер и величина загрязнения грунта определяются типом и химическим составом

Таблица 1

Плановые показатели развития Петербургского метрополитена до 2022 г.

| № п/п | Показатель                                  | Единица измерения | Год   |       |       |       |       |       |
|-------|---|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |   |                   | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  |
| 1     | Количество станций/вестибюлей метрополитена | Ед.               | 67/74 | 72/81 | 74/82 | 74/82 | 74/82 | 76/84 |
| 2     | Общая протяженность линий метрополитена     | км                | 113,6 | 125,0 | 128,7 | 128,7 | 128,7 | 133,8 |



твердых отходов, размещенных ранее на этих территориях. При осуществлении работ по сооружению объектов метрополитена часть этого грунта разрабатывается и удаляется на поверхность. Причем его количество зависит от технологии выполнения строительных работ.

Строительство станций и вестибюлей выполняется открытым способом работ (в котловане), проходка перегонных тоннелей осуществляется с помощью специализированных тоннелепроходческих комплексов (ТПМК) [2].

На стадии инженерно-экологических изысканий проводятся исследования загрязнения почвогрунтов тяжелыми металлами и органическими токсикантами на глубину планируемого использования пространства, образующегося, после извлечения слоя земли, прилегающего к поверхности. При этом появляется проблема последующего обращения с загрязненными почвогрунтами, в том числе выбор полигона отходов для их размещения, отвечающего классам опасности и категориям химического загрязнения грунта.

Возникающие при этом сложности связаны с определением фактического уровня загрязнения грунта в каждой точке объема разрабатываемой области. Причиной этого является положение действующих нормативных документов, определяющее достаточный объем инженерно-экологических изысканий, ориентированный на проведение лабораторных исследований в расчете 1 скважина на 1 га исследуемой площади. В связи с этим задача адекватного установления загрязнений разрабатываемого грунта в течение всего периода земляных работ имеет особое значение вследствие необходимости правильного выбора полигона для размещения грунта. Одним из путей решения данной задачи следует считать проведение экологического мониторинга в процессе разработки и извлечения почвогрунтов.

Для обоснования принципов проведения экологического мониторинга были осуществлены исследования площадки проектируемого строительства электродепо "Красносельское" Красносельско-Калининской линии Санкт-Петербургского метрополитена.

На данном участке было пробурено 11 скважин в 2010 г. и пять скважин в 2017 г. на глубину перспективного использования 4,0 м, из которых отбирались пробы на определение содержания тяжелых металлов и бенз(а)пирена. Аналитические исследования проб почв проводились в аккредитованных лабораториях. Оценка опасности загрязнения почв комплексом металлов для здоровья людей производилась по показателю суммарного загрязнения ( $Z_c$ ), который рассчитывался по формуле

$$Z_c = \sum \frac{C_i}{C_{\phi}} - (n - 1), \quad (1)$$

где  $C_i$  — фактическое содержание определяемого  $i$ -го вещества в почве, мг/кг;

$C_{\phi}$  — значение фонового содержания  $i$ -го вещества в почве, мг/кг;

$n$  — количество определяемых элементов [3].

За фоновое, т. е. соответствующее "норме", принимается содержание контролируемого химического элемента в зональных почвах вне сферы локального антропогенного воздействия.

Согласно существующим нормативам при величине суммарного показателя  $Z_c < 16$  почва относится к "допустимой" категории загрязнения,  $Z_c = 16...32$  — к "умеренно опасной",  $Z_c = 32...128$  — к "опасной",  $Z_c > 128$  — к "чрезвычайно-опасной" категории загрязнения [4].

Оценка уровней загрязнения почв органическими токсикантами производилась в соответствии с Приложением 1 к СанПиН 2.1.7.1287—03 [4]. В табл. 2 и 3 приведены результаты оценки загрязнения грунтов данной территории.

Анализ полученных результатов показал, что загрязнение данной территории неравномерно и не имеет явной тенденции к уменьшению содержания токсикантов с глубиной в силу неоднократного антропогенного вмешательства в пределах

Таблица 2

**Выявленное загрязнение грунтов  
тяжелыми металлами**

| Интервал<br>глубин, м | Степень суммарного загрязнения грунтов<br>тяжелыми металлами, % |         |                     |            |
|-----------------------|---|---------|---------------------|------------|
|                       | Чрезвычайно<br>опасная  | Опасная | Умеренно<br>опасная | Допустимая |
| 0,0...0,2             | 5,9   | 29,4    | 23,5                | 41,2       |
| 0,2...1,0             | 5,6   | 27,8    | 22,2                | 44,4       |
| 1,0...2,0             | 5,6   | 11,1    | 27,8                | 55,5       |
| 2,0...3,0             | 5,9   | 5,9     | 23,5                | 64,7       |
| 3,0...4,0             | 17,6  | 11,8    | 5,9                 | 64,7       |

Таблица 3

**Выявленное загрязнение грунтов  
бенз(а)пиреном**

| Интервал<br>глубин, м | Степень загрязнения грунтов<br>бенз(а)пиреном, % |         |            |        |
|-----------------------|--|---------|------------|--------|
|                       | Чрезвычайно<br>опасная                           | Опасная | Допустимая | Чистая |
| 0,0...0,2             | 41,2   | 5,9     | 11,7       | 41,2   |
| 0,2...1,0             | 44,4   | 22,2    | 11,1       | 22,2   |
| 1,0...2,0             | 44,4   | 22,2    | 5,6        | 27,8   |
| 2,0...3,0             | 47,0   | 11,8    | 11,8       | 29,4   |
| 3,0...4,0             | 29,4   | 11,8    | 23,5       | 35,3   |



данной территории. Уточнения распределения уровней загрязнений по объему исследуемой площади было предложено осуществлять на основе трехмерного моделирования.

### Принципы и этапы построения 3D-моделей

На первом этапе построения моделей были сравнены данные загрязненности по двум показателям: тяжелые металлы и бенз(а)пирен. Для этого была создана шкала, в которую встраиваются данные по этим показателям (табл. 4).

Далее в результате сопоставления уровней загрязнения от различных токсикантов было выяснено, какое загрязнение оказывает более значительное влияние на общий уровень. Результаты сопоставления приведены в табл. 5. Столбцы 4 и 5 — это пересчитанные показатели загрязнения, которые легко сравниваются друг с другом, столбец 6 — результирующий показатель загрязнения после сравнения, необходимый в дальнейшем для интерполяции данных по загрязнению.

Расчет и построение сеток распределения загрязнений для каждой модели производился с помощью программы Surfer 2011 интерполяционным

методом kriging на стандартных настройках. Размер ячейки сетки 10 на 10 м. Для получения наиболее достоверного результата были построены две сетки (по тяжелым металлам и бенз(а)пирену), далее с помощью введенной обобщающей шкалы в каждом узле сетки определялось, какой тип загрязнения является определяющим.

После получения общей сетки по загрязнению для каждого интервала глубин (0.0—0.2/0.2—1.0/1.0—2.0 и т. д.) с помощью программы AUTOCAD CIVIL 3D 2017 выполнялось построение 3D-модели с учетом рельефа территории со всеми топографически значимыми объектами (реки, каналы, овраги, насыпи).

После этого относительно поверхности рельефа были построены поверхности по интервалам глубин, полностью повторяющих рельеф, чтобы создать слои, по которым происходили экологические наблюдения.

Далее для каждого слоя была построена поверхность распределения типов опасности загрязнений на основании данных по сеткам из программы Surfer (рис. 1).

После этого строится уже модель в соответствии с распределением типов загрязнений.

Таблица 4

Шкала для сравнения результатов загрязнения

| Категория загрязнения | Показатель суммарного загрязнения тяжелыми металлами $Z_c$ | $C_i$ /ПДК по бенз(а)пирену, доли ПДК | Значения, принятые для расчетов после сравнения |
|-----------------------|--|---------------------------------------|---|
| Допустимая            | <16  | 0...2 ПДК                             | 0...1   |
| Опасная               | 16...128   | 2...5 ПДК                             | 1...2   |
| Чрезвычайно опасная   | >128   | >5 ПДК                                | 2...3   |

Таблица 5

Пример использования обобщающей шкалы

| Номер скважины | Показатель загрязнения   |                                       | Пересчет             |                   | Общий показатель загрязнения |
|----------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------------|
|                | тяжелыми металлами $Z_c$ | $C_i$ /ПДК по бенз(а)пирену, доли ПДК | для тяжелых металлов | для бенз(а)пирена |                              |
| 1              | 2                        | 3                                     | 4                    | 5                 | 6                            |
| с-100-8        | 49,83                    | 9,10                                  | 1,30                 | <b>2,51</b>       | <b>2,51</b>                  |
| с-100-11       | 14,51                    | 3,05                                  | 0,91                 | 1,35              | 1,35                         |
| с-100-20       | 8,20                     | 0,45                                  | 0,51                 | 0,23              | 0,51                         |
| с-100-22       | 5,28                     | 0,25                                  | 0,33                 | 0,13              | 0,33                         |
| с-100-23       | 5,83                     | 0,25                                  | 0,36                 | 0,13              | 0,36                         |
| с-100-31       | 6,76                     | 2,30                                  | 0,42                 | 1,10              | 1,10                         |
| 5859           | 19,00                    | 17,00                                 | 1,03                 | <b>3,00</b>       | <b>3,00</b>                  |
| 5860           | 96,00                    | 50,00                                 | 1,71                 | <b>3,00</b>       | <b>3,00</b>                  |
| с-100-5        | 36,70                    | 15,75                                 | 1,18                 | <b>3,00</b>       | <b>3,00</b>                  |
| 5858           | 0,50                     | 0,25                                  | 0,03                 | 0,13              | 0,13                         |
| с-100-29       | 90,71                    | 0,25                                  | 1,67                 | 0,13              | 1,67                         |
| с-100-35       | 4,66                     | 1,65                                  | 0,29                 | 0,83              | 0,83                         |

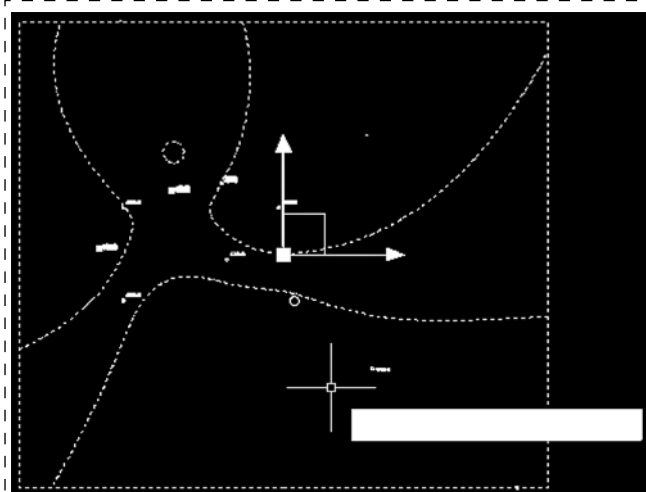


Рис. 1. Поверхность распределения типов опасности загрязнений (линиями показаны границы между типами загрязнений)

Используя данный метод и учитывая результаты опробования 8 скважин (рис. 2), 12 скважин и 16 скважин (рис. 3), были построены 3D-модели.

Данные построения были проведены для определения, насколько точным будет прогноз

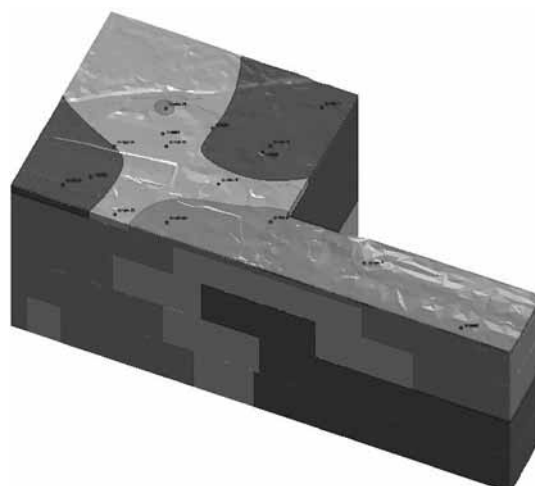


Рис. 2. 3D-модель распределения загрязнения до 4 м для 8 скважин

распространения грунтов определенной степени загрязнения на обследованном участке в зависимости от количества опробованных скважин.

Из рис. 2—3 наглядно видно, как изменяются области распространения загрязнения на поверхности, так и по интервалам глубин.

Таблица 6

Объемы грунта разных категорий загрязнения

| Интервал глубин, м                             | Категория загрязнения |           |            | Сумма            |
|--|-----------------------|-----------|------------|------------------|
|  | Чрезвычайно опасная   | Опасная   | Допустимая |                  |
| Объем грунта, м <sup>3</sup> , по 16 скважинам |                       |           |            |                  |
| 0,0...0,2                                      | 25 145,22             | 20 167,17 | 22 130,11  | 67 442,5         |
| 0,2...1,0                                      | 99 391,85             | 118 944   | 51 434,12  | 269 770          |
| 1,0...2,0                                      | 126 990,75            | 128 585,1 | 81 636,69  | 337 212,5        |
| 2,0...3,0                                      | 108 772,16            | 147 149,1 | 81 291,27  | 337 212,5        |
| 3,0...4,0                                      | 106 116,4             | 67 680,77 | 163 415,3  | 337 212,5        |
|  |                       |           |            | <u>1 348 850</u> |
| Объем грунта, м <sup>3</sup> , по 12 скважинам |                       |           |            |                  |
| 0,0...0,2                                      | 27 177,07             | 20 834,29 | 19 431,13  | 67 442,49        |
| 0,2...1,0                                      | 106 402,4             | 114 771,5 | 48 596,08  | 269 770          |
| 1,0...2,0                                      | 133 377,99            | 117 655,6 | 86 178,89  | 337 212,5        |
| 2,0...3,0                                      | 108 964,29            | 148 518,7 | 79 729,53  | 337 212,5        |
| 3,0...4,0                                      | 114 884,75            | 73 993,05 | 148 334,7  | 337 212,5        |
|  |                       |           |            | <u>1 348 850</u> |
| Объем грунта, м <sup>3</sup> , по 8 скважинам  |                       |           |            |                  |
| 0,0...0,2                                      | 19 667,14             | 25 312,31 | 22 463,06  | 67 442,51        |
| 0,2...1,0                                      | 58 792,84             | 79 799,27 | 131 177,9  | 269 770          |
| 1,0...2,0                                      | 107 294,65            | 79 652,97 | 150 264,9  | 337 212,5        |
| 2,0...3,0                                      | 131 351,05            | 66 632,6  | 139 228,9  | 337 212,5        |
| 3,0...4,0                                      | 117 977,5             | 61 578,1  | 157 656,9  | 337 212,5        |
|  |                       |           |            | <u>1 348 850</u> |

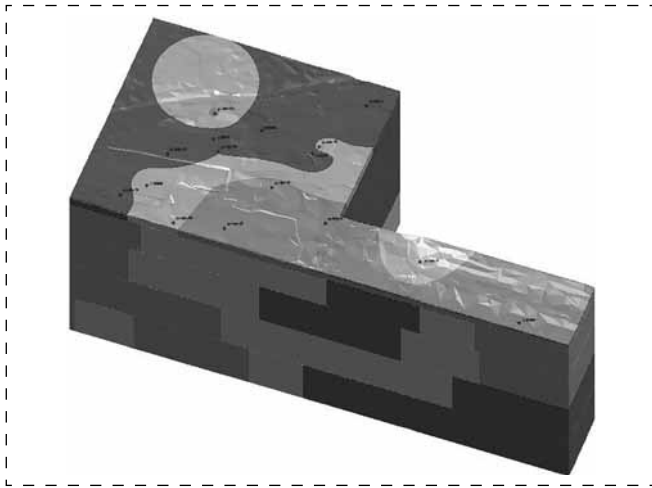


Рис. 3. 3D-модель распределения загрязнения до 4 м для 16 скважин

Однако, используя данный метод 3D-моделирования, возможно не только получить визуальное представление, но и определить объемы грунтов в каждой категории загрязнения (табл. 6).

В заключение следует отметить, что обработка данных, полученных на стадии инженерно-экологических изысканий, о степени загрязнения грунтов, планируемых к выемке при строительстве,

может проводиться с использованием методов интерполяции и 3D-моделирования. Результаты такой обработки данных могут использоваться для определения мест проведения мониторинга загрязнения грунтов непосредственно на стадии проведения строительных работ, чтобы наиболее точно установить объемы грунтов определенной категории загрязнения и выбора мест их дальнейшего размещения или утилизации (использования).

#### Список литературы

1. **Постановление** Правительства Санкт-Петербурга от 29.12.2017 № 1187 "О внесении изменений в постановление Правительства Санкт-Петербурга от 30.06.2014 № 552 "Государственная программа Санкт-Петербурга "Развитие транспортной системы Санкт-Петербурга". URL: Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [www.gov.spb.ru/norm\\_baza/npa](http://www.gov.spb.ru/norm_baza/npa) (дата обращения 07.02.2018).
2. **Рыжова Л. В.** Особенности экологического сопровождения проектирования и строительства метрополитена в Санкт-Петербурге // Безопасность жизнедеятельности. — 2017. — № 3. — С. 53—57.
3. **МУ 2.1.7.730—99** Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. — М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999.
4. **СанПиН 2.1.7.1287—03** Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. — Российская газета, № 119/1, 20.06.2003 (специальный выпуск).

**L. V. Ryzhova**, Postgraduate, e-mail: [ryzhova\\_lv@mail.ru](mailto:ryzhova_lv@mail.ru), **T. S. Titova**, Professor, Head of Chair, Pro-Rector, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, **S. G. Gendler**, Professor, Saint-Petersburg Mining University

## Specific Features of Carrying out Ecological Monitoring of Soil Pollution During the Construction of the Subway in Megapolises

*The degree of soil pollution with heavy metals and benz(a)pyrene are determined. The principles and stages of construction of 3D models of pollution distribution on the surface and to the depth with the help of AUTO-CAD CIVIL 3D 2017 are given. The volumes of soil of different pollution rates are calculated. The necessity of monitoring of soil pollution during the construction of subway is substantiated.*

**Keywords:** subway, soil pollution, heavy metals, benz(a)pyrene, pollution rate, 3D model, volumes of soil, monitoring

#### References

1. **Постановление** Правитель'ства Sankt-Peterburga ot 29.12.2017 № 1187 "O vnesenii izmenenij v postanovlenie Pravitel'stva Sankt-Peterburga ot 30.06.2014 № 552 "Gosudarstvennaya programma Sankt-Peterburga "Razvitie transportnoj sistemy Sankt-Peterburga". URL: Oficial'nyj sajt Administracii Sankt-Peterburga [www.gov.spb.ru/norm\\_baza/npa](http://www.gov.spb.ru/norm_baza/npa) (date of access 07.02.2018).

2. **Ryzhova L. V.** Osobennosti ekologicheskogo soprovozhdeniya proektirovaniya i stroitel'stva metropolitena v Sankt-Peterburge. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2017. No. 3. P. 53—57.
3. **МУ 2.1.7.730—99** Gigenicheskaya ocenka kachestva pochvy naselennyh mest. Moscow: Federal'nyj centr gossanepidnazora Minzdrava Rossii, 1999.
4. **SanPiN 2.1.7.1287—03** Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy. *Rossiyskaya gazeta*, No. 119/1, 20.06.2003 (special'nyj vypusk).

УДК 614.8.01

**Е. Ю. Наташкина**, канд. соц. наук, доц. кафедры, rogacheva.eu@yandex.ru,  
**С. А. Сидельников**, канд. мед. наук, доц., зав. кафедрой, **А. Д. Шевлякова**,  
студент, Саратовский государственный медицинский университет  
имени В. И. Разумовского

## **Проведение эвакуационных мероприятий в вузе во время чрезвычайной ситуации (на примере опыта Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского)**

*Рассмотрены особенности процесса эвакуации в условиях чрезвычайной ситуации в вузе. Приведены основные результаты социологического исследования, проведенного методом анкетирования среди студентов Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского (СГМУ). Проанализированы основные факторы, определяющие успешность эвакуационных мероприятий в вузе. Определены проблемные стороны данного процесса.*

**Ключевые слова:** эвакуация, вуз, пожарная безопасность, безопасность жизнедеятельности, чрезвычайная ситуация, культура безопасности

Защита человека от негативных воздействий антропогенного и естественного происхождения и достижение комфортных условий жизнедеятельности — основная цель безопасности жизнедеятельности как науки и первостепенная задача государства. В настоящее время в связи с научно-техническим прогрессом, ускорением процессов урбанизации и как следствие — расширением инфраструктуры проблема безопасности еще более обострилась. Общество несет огромные человеческие потери и экономические убытки от несчастных случаев, пожаров, аварий, катастроф. В зоне риска находятся места массового скопления людей: торговые и развлекательные центры, крупные предприятия, учебные заведения.

Целью исследования является анализ эвакуационных мероприятий в вузе на примере Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского (СГМУ). По мнению авторов работы [1], установки общего образования не актуализируют формирование готовности учащихся к безопасной деятельности. Единая методологическая основа обучения в вузах не соответствует особенностям чрезвычайных ситуаций (ЧС) в различных регионах. В государственном стандарте в большей степени акцент делается на охрану среды обитания, а не на безопасность человека в любых сферах жизни и деятельности. Поэтому актуальным является изучение особенностей процесса эвакуации

в условиях чрезвычайной ситуации в вузе и выявление проблемных сторон данного процесса.

В связи с определением, предложенным МЧС России, эвакуация — это один из основных способов защиты населения в чрезвычайных ситуациях. Одним из способов эвакуации является рассредоточение населения — организованный вывод его из потенциально опасных зон и размещение на безопасной территории [2].

Основанием для принятия решения о проведении эвакуации является наличие угрозы жизни и здоровью людей. Право на принятие такого решения имеют руководители органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и местного самоуправления, на территории которых прогнозируется или возникла ЧС. В случаях, требующих немедленных действий, экстренная эвакуация, носящая локальный характер, может осуществляться по указанию руководителя дежурно-диспетчерской службы потенциально опасного объекта.

Для успешного проведения эвакуации требуется четкая организация оповещения и информирования населения, наличие детально отработанных планов эвакуации, подготовленных маршрутов ее проведения, необходимых средств обеспечения. Немаловажным является обучение населения действиям во время эвакуации.

Чтобы проанализировать систему организации эвакуационных мероприятий в СГМУ, а также выявить основные проблемные стороны в данной

области, проведено социологическое исследование методом анкетирования ( $N = 149$ , Саратов, 2018). Респондентами являлись студенты лечебного (50 %), стоматологического (24 %), педиатрического (11 %), фармацевтического (7 %), медико-профилактического (8 %) факультетов. Выборка отражает структуру генеральной совокупности, является репрезентативной. В ходе анкетирования респондентами были оценены собственные знания об эвакуации во время ЧС, личный опыт в данной области.

По данным анкетирования при ответе на вопрос "Ознакомлены ли вы с правилами поведения во время эвакуации в вузе при ЧС?" большинство респондентов (81 %) ответили, что знакомы с правилами поведения во время эвакуации в вузе при чрезвычайной ситуации (ЧС). Более 9 % предпочли бы пройти дополнительное обучение и 9 % респондентов не знают, как действовать во время проведения эвакуационных мероприятий в вузе (рис. 1).

Наиболее частым ответом на вопрос "Какое обучение правилам поведения во время эвакуации в вузе при ЧС вы прошли?" стал "Занятия ОБЖ, БЖД" (78,5 %). Большая часть респондентов (60 %) приобрели знания об эвакуации в вузе на вводном инструктаже, 50 % получили необходимые навыки во время учебной эвакуации, 6 % никогда не обучались в данной области (рис. 2).

Для обучения мерам безопасности при чрезвычайных ситуациях в СГМУ используются стандартные методы проведения занятий: лекции по безопасности жизнедеятельности, инструктаж и реже — отработка навыков на практике.

Рассмотрим эффективность данных методов обучения на основе мнений респондентов. Более 65 % из них отметили, что наиболее эффективным

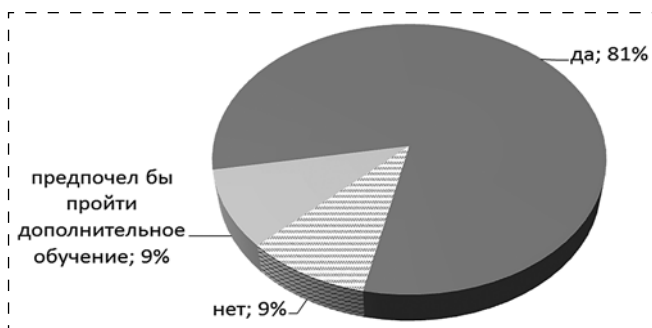


Рис. 1. Распределение ответов респондентов на вопрос "Ознакомлены ли вы с правилами поведения во время эвакуации в вузе при чрезвычайной ситуации (ЧС)?"

инструментом подготовки является учебная эвакуация. Действительно, учебная эвакуация позволяет максимально точно диагностировать ситуацию на объекте и разработать комплекс мер по совершенствованию подготовки людей к действиям при пожаре. При проведении учений формируются требуемые и закрепляются выработанные навыки и умения в ситуациях, приближенных к реальным. По мнению более 51 % респондентов, занятия по безопасности жизнедеятельности также являются важными и полезными. На данных занятиях формируется культура безопасности студентов, проводятся дискуссии и тренинги, отрабатываются практические навыки, изучаются материалы стендов, брошюры и видеоматериалы (рис. 3).

По мнению экспертов [3] в области проведения эвакуационных мероприятий, наиболее полезными средствами обучения являются компьютерные тренажеры. Основное преимущество указанных средств заключается в том, что обучаемым удается глубже погрузиться в проблему и попытаться представить себя в опасной ситуации. Согласно



Рис. 2. Распределение ответов респондентов на вопрос "Какое обучение правилам поведения во время эвакуации в вузе при ЧС вы прошли?"



Рис. 3. Распределение ответов респондентов на вопрос "По вашему мнению, какие виды обучения правилам поведения во время эвакуации при ЧС в вузе имеют наибольшую практическую пользу (не более трех вариантов)?"

медицинским данным 87 % информации человек получает через глаза, 9 % — через уши и 4 % — через остальные органы чувств [3].

При проведении обучения достаточно сложно продемонстрировать задымление помещений и воспроизвести пожар на объекте. Наиболее реалистичным способом тренировки является симуляция чрезвычайной ситуации на компьютерном тренажере. Однако только 17 % респондентов сочли данный подход действенным. По мнению авторов, этот феномен связан с отсутствием у студентов опыта обучения на компьютерных тренажерах-симуляторах. Только 0,7 % опрошенных использовали данный вид обучения.

Для того чтобы понять, какие действия необходимо выполнять во время эвакуации в вузе, рассмотрим приведенный ниже разработанный в СГМУ алгоритм проведения эвакуационных мероприятий при ЧС (в случае пожара).

1. Сообщить о пожаре в пожарную часть (при обнаружении пожара, возгорания или задымления необходимо: немедленно вызвать пожарную часть по тел. 01, 112, сообщив о месте возгорания и точном адресе, свою должность, ФИО; проинформировать руководителей университета, находящихся вблизи сотрудников, студентов и посетителей). Произвести оповещение о пожаре и порядке эвакуации (уточнить у начальника смены место и характер пожара, включить систему оповещения нажатием кнопки "Пуск", указать место пожара и пути эвакуации).

2. Произвести эвакуацию сотрудников, студентов и посетителей (открыть все эвакуационные выходы, немедленно вывести всех сотрудников, студентов и посетителей из здания через ближайшие коридоры и выходы в заранее определенное место сбора, эвакуация производится по указанию руководителя или лица, его заменяющего, а в случае прямой угрозы — незамедлительно, не ожидая указаний).

3. Все эвакуированные из здания люди перечисляются, и наличие их сверяется с имеющимися поименными списками.

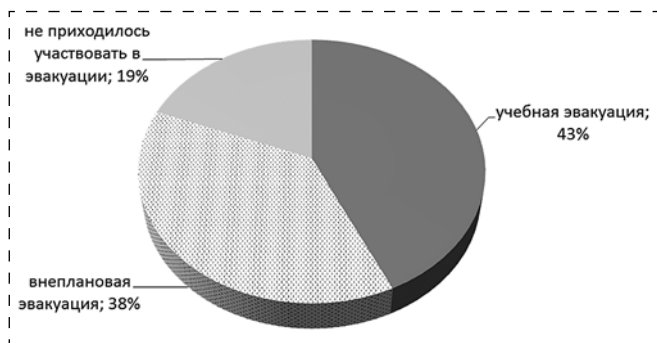
4. Все эвакуированные сотрудники, студенты и посетители размещаются на безопасном расстоянии от корпуса, при необходимости личный состав перемещается в другое безопасное место.

5. Тушение пожара или возгорания организуется и проводится немедленно с момента его обнаружения не занятыми эвакуацией сотрудниками. Для тушения используются все имеющиеся первичные средства пожаротушения. Материальные ценности и документация эвакуируются в соответствии с инструкциями в подразделениях.

6. Встреча пожарных подразделений. Встречающий представитель университета обязан проинформировать прибывающего начальника караула пожарной части о следующем: 1) все ли сотрудники, студенты и посетители эвакуированы из здания; 2) где произошел пожар, возгорание; 3) в каком помещении огонь, на каком этаже и куда он распространяется; 4) Указать место хранения материальных ценностей, взрывоопасных и токсичных веществ.

Проанализируем, как по мнению респондентов данный алгоритм действий выполнялся в СГМУ во время плановых и внеплановых эвакуаций. В СГМУ в течение 2017 г. проводились учебные эвакуации при пожарах, а также внеплановые эвакуации в связи с угрозой террористического акта. При ответе на вопрос "В каких эвакуационных мероприятиях в вузе вам приходилось принимать участие?" 19 % респондентов ответили, что не принимали участия в данных мероприятиях. Участвовали в учебной эвакуации 43 % респондентов, внеплановой эвакуации — 38 % (рис. 4).

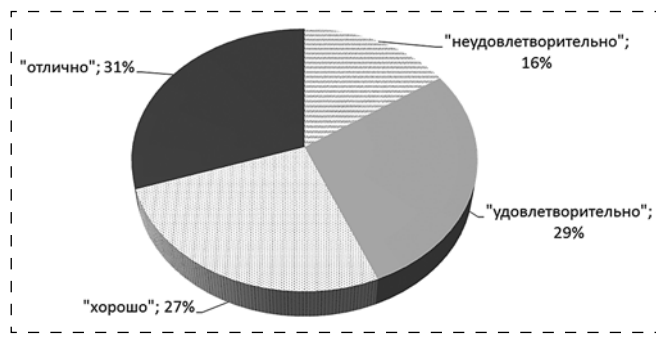
Респондентам было предложено оценить, насколько действия лиц, ответственных за эвакуа-



**Рис. 4.** Распределение ответов респондентов на вопрос "В каких эвакуационных мероприятиях в вузе вам приходилось принимать участие?"

цию в вузе (преподаватель, куратор, вахтер), были эффективными. Более половины (58 %) респондентов оценили действия ответственных лиц за эвакуацию в вузе положительно (отлично и хорошо), 29 % — удовлетворительно. Необходимо отметить, что 16 % респондентов охарактеризовали данные действия неудовлетворительно (рис. 5).

Для того чтобы понять причину дисбаланса мнений респондентов по данному вопросу, проанализируем основные ошибки, допущенные во время проведения эвакуационных мероприятий в СГМУ. Более половины респондентов (63 %) отметили, что во время эвакуации в вузе не была проведена проверка эвакуированных студентов по спискам групп. Однако данная проверка необходима при эвакуации, так как в случае обнаружения



**Рис. 5.** Распределение ответов респондентов на вопрос "Оцените, насколько действия ответственного за эвакуацию студентов в вузе (преподаватель, куратор, вахтер) были верными по вашему мнению"

отсутствия студента на площадке для построения будет возможность незамедлительно приступить к его поиску и избежать трагических исходов.

Респонденты отнесли к серьезным и частым во время эвакуационных мероприятий следующие нарушения: аварийные выходы не использовались (45 %), во время эвакуации имели место элементы паники, давки, спешки (34 %), построение студенческих групп было произведено на небезопасном расстоянии от места эвакуации (21 %) или вовсе не было произведено (29 %), система голосового оповещения не работала (22 %), службы экстренного реагирования (пожарная служба, полиция, скорая помощь) не были вызваны к месту эвакуации (22 %), помещения вуза были покинуты студентами несвоевременно (19 %) (рис. 6).



**Рис. 6.** Распределение ответов респондентов на вопрос "Какие ошибки во время эвакуации были допущены?"

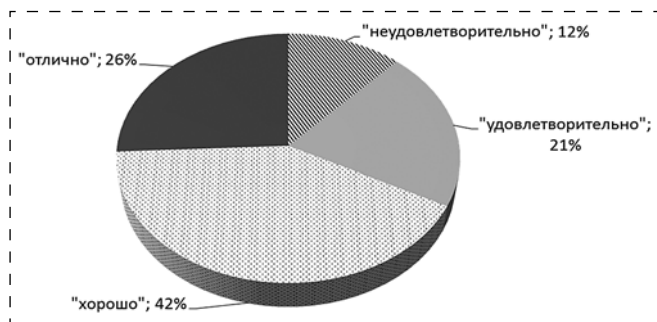


Рис. 7. Распределение ответов респондентов на вопрос "Оцените, насколько быстро была проведена эвакуация студентов"

Немаловажным фактором, определяющим успешность эвакуационных мероприятий, является временная. Задача ответственных лиц за эвакуацию студентов в вузе — максимально эффективно использовать временной ресурс таким образом, чтобы эвакуировать студентов на безопасное расстояние в кратчайшие сроки. По мнению респондентов, с данной задачей на отлично и хорошо справились 68 % преподавателей, ответственных за эвакуацию. Более 21 % респондентов оценили выполнение временных параметров "удовлетворительно", 12 % считают, что в данной области существуют значительные трудности и требования по количеству затраченного времени на эвакуацию не были выполнены (рис. 7).

По мнению авторов работы [4], значительные затраты времени во время эвакуации связаны с психологическими особенностями восприятия сигнала о пожаре (восприятие, проверка, сбор дополнительной информации, принятие решения, получение указаний и пр.), в том числе с эффективностью системы оповещения, и действиями, которые совершает человек (тушение пожара и ограничение его распространения, организация эвакуации, выбор маршрута эвакуации). К данным факторам также относится уровень безопасности здания, в котором была проведена эвакуация

(наличие планов эвакуации, запасных выходов, средств тушения пожара, средств голосового оповещения и т. д.). Респонденты отметили, что в 18 % случаев уровень безопасности здания вуза, откуда была произведена эвакуация, является удовлетворительным, в 10 % — неудовлетворительным (рис. 8). Таким образом, уровень безопасности зданий вуза, по мнению респондентов, не в полной мере соответствует необходимым параметрам безопасности.

В результате проведенного анкетирования были выявлены основные факторы, которые, по мнению респондентов, могут затруднить проведение эвакуационных мероприятий в СГМУ, приведенные на рис. 9.

Необходимо отметить, что безопасность людей при пожаре во многом зависит от того, насколько качественно была проведена их противопожарная подготовка. Большинство погибших на пожарах не имели должной противопожарной подготовки, как один из примеров этому — трагедия в городе Кемерово 25 марта 2018 года. Следовательно, большому риску подвергаются люди, не имеющие полного

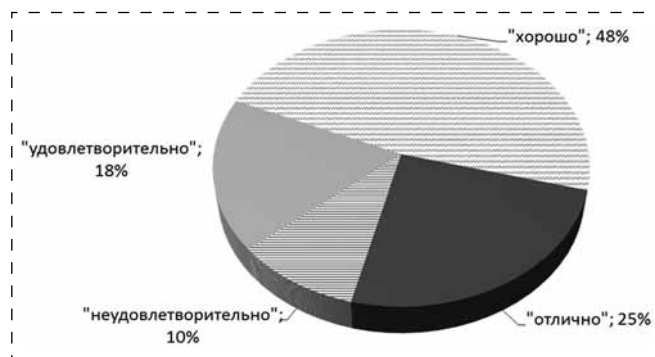


Рис. 8. Распределение ответов респондентов на вопрос "Оцените уровень безопасности здания, в котором была проведена эвакуация (например, пожарная безопасность: наличие планов эвакуации, запасных выходов, средств тушения пожара, средств голосового оповещения и т. д.)"

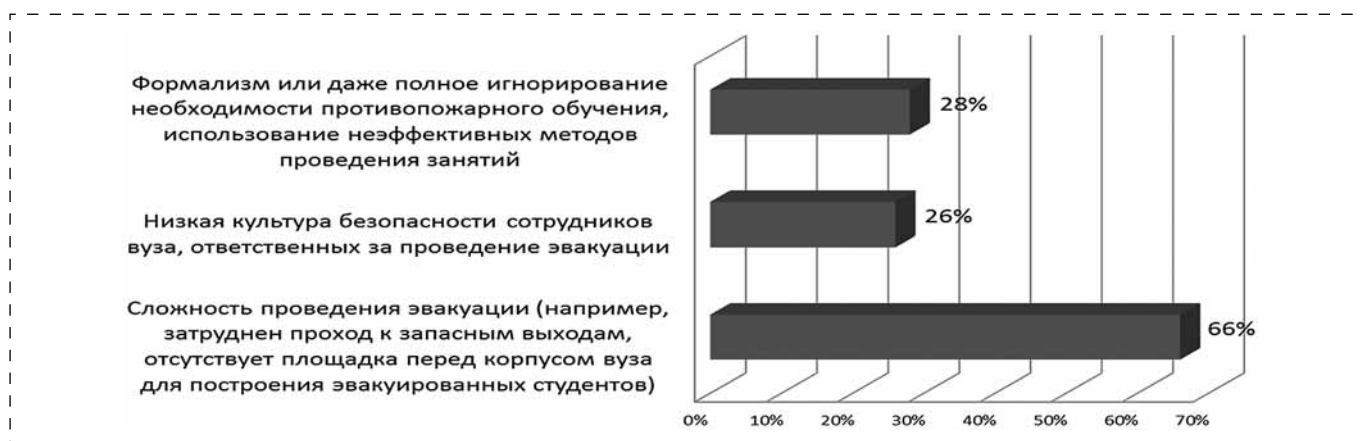


Рис. 9. Распределение ответов респондентов на вопрос "Что, по вашему мнению, может затруднить проведение эвакуационных мероприятий в вашем вузе?"



представления о процессе, в который они вовлечены. Поэтому наиболее важным является комплексное обучение в данной области с использованием всех существующих методов, включая отработку практических навыков во время учебной эвакуации, использование компьютерных тренажеров. Особое внимание стоит уделить обучению сотрудников вуза, ответственных за организацию эвакуации. Именно сотрудники вуза будут определять ход эвакуации студентов и полностью руководить данным процессом.

Важная роль также отводится грамотно составленным планам эвакуации, в которых должны быть предусмотрены все возможные ее сценарии. По мнению экспертов в области пожарной безопасности [3], существует необходимость перехода от статических планов эвакуации к программно-аппаратным комплексам, которые в динамическом режиме проектируют и представляют людям пути эвакуации в зависимости от текущего состояния среды в горящем здании. Такой план может заранее предугадать различные факторы, влияющие на выбор эвакуационного маршрута, и значительно улучшить временные показатели эвакуации.

На основе проведенного исследования сделан вывод, что качественное обучение действиям при

ЧС и повышение культуры безопасности в целом может существенно повысить уровень проведения эвакуационных мероприятий в вузе, снизить выявленные риски и сохранить множество жизней. Поэтому важно, чтобы не допускался формализм в области обучения безопасности, оно должно быть качественным и проходить на всех уровнях вуза от студентов до руководителей.

### Список литературы

1. **Сергин А. А., Петров С. В.** Подготовка учащихся к безопасной жизнедеятельности в условиях Северо-Востока России: Монография. — М-во образования и науки Российской Федерации, ФГАОУ ВПО "Сев.-Вост. федеральный ун-т им. М. К. Аммосова", Ин-т физ. культуры и спорта. — Якутск: СВФУ, 2011. — С. 3.
2. **Термины МЧС.** URL: <http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/87530/> (дата обращения 15.05.2018).
3. **Пространственно-распределенный мониторинг** опасных факторов пожара на основе микропроцессорных сенсорных узлов системы управления эвакуацией / В. М. Колодкин, Д. В. Варламов, Б. В. Чирков и др. // Безопасность в техносфере: сборник статей. Удмуртское региональное отделение Общероссийской общественной организации "Российское научное общество анализа риска"; ФГБОУ ВПО "Удмуртский государственный университет", 2016. — С. 17–27.
4. **Эвакуация** и поведение людей при пожарах: Учеб. пособие / Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П. и др. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. — 262 с.

**E. Yu. Natashkina**, Associate Professor, e-mail: [rogacheva.eu@yandex.ru](mailto:rogacheva.eu@yandex.ru),

**S. A. Sidelnikov**, Associate Professor, Head of Chair, **A. D. Shevlyakova**, Student, Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky

## Carrying out Evacuation at the University in Emergency Situation (Based on the Experience of the Saratov State Medical University Named after V. I. Razumovsky)

*The aim of the study was to investigate features of evacuation measures in Saratov state medical university named after V. I. Razumovsky. The peculiarities of evacuation process in the conditions of an emergency in the university are considered in the article. The main results of a sociological survey conducted by the method of questioning among students of the SSMU are given. The main factors determining the success of evacuation measures in the university are analyzed. The problem sides of this process in the SSMU are determined. As a result of the research, the main factors that, in the opinion of the respondents, can make it more difficult to conduct evacuation activities in the SSMU were identified, they include: difficulty in conducting evacuation (access to emergency exits is difficult, there is no site in front of the building of the university for building evacuees); formalism or even complete disregard for the need for firefighting, the use of inefficient methods of conducting classes. Conclusion: Qualitative training in the sphere of actions in emergency situations and improving the safety culture as a whole can significantly increase the level of evacuation activities in the university reduce the identified risks.*

**Keywords:** evacuation, university, fire safety, life safety, emergency situation, safety culture

### References

1. **Sergin A. A., Petrov S. V.** Podgotovka uchashchihhsya k bezopasnoj zhiznedeyatel'nosti v usloviyah Severo-Vostoka Rossii: Monografiya. — Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, FGAOU VPO "Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet imeni M. K. Ammosova", In-t fizicheskoy kul'tury i sporta. Yakutsk: SVFU, 2011. — P. 3.
2. **Terminy MCHS.** URL: <http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/87530/> (date of access 15.05.2018).
3. **Prostranstvenno-raspredeennyj monitoring** opasnyh faktorov pozhara na osnove mikroprocessornyh sensoryh uzlov sistemy upravleniya ehvakuaciej. V. M. Kolodkin, D. V. Varlamov, B. V. Chirkov et al. *Bezopasnost' v tekhnosfere: sbornik statej. Udmurtskoe regional'noe otdelenie Obshcherossijskoj obshchestvennoj organizacii "Rossijskoe nauchnoe obshchestvo analiza riska"*; FGBOU VPO "Udmurtskij gosudarstvennyj universitet", 2016. P. 17–27.
4. **Ehvakuaciya** i povedenie lyudej pri pozharah: ucheb. posobie. V. V. Holshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfenenko et al. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2015. 262 p.

УДК 37.012

**А. В. Квашнин**, начальник кафедры, **Р. В. Кошкаров**, начальник кафедры, e-mail: koshkarov79@mail.ru, **М. Е. Бабич**, канд. мед. наук, зав. кафедрой, Дальневосточная пожарно-спасательная академия — филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, Владивосток

## Прогнозирование рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов

*Статья посвящена рассмотрению различных подходов к прогнозированию рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов. Детально рассмотрены традиционные методы, такие как метод логического "дерева", инженерный подход. Отдельное внимание уделено аппарату нечетких множеств, который позволяет учесть широкий спектр факторов и их влияние на возникновение риска возгорания при разливах нефти.*

**Ключевые слова:** пожар, нефть, моделирование, риск, фактор

По данным ООН, во многих странах мира природные и техногенные катастрофы наносят ущерб, который составляет примерно 2—4 % валового внутреннего продукта страны [1].

Нефть и нефтепродукты наряду с пестицидами признаны в мире наиболее загрязняющими веществами. Сложно переоценить значение нефти для современной хозяйственной системы. Она представляет собой важное сырье для производства топлива, синтетических материалов, занимает ключевое место в топливно-энергетическом балансе, продукты переработки нефти используются для производства тепла и электроэнергии. Использование нефти влияет на уровень экономического развития современных общественных систем [2]. Вместе с тем следует отметить, что в процессах бурения скважин, добычи, транспортировки и хранения нефти, конденсата, нефтепродуктов часто наблюдаются разливы нефти, которые наносят огромный вред окружающей среде и провоцируют повышенные риски возникновения пожаров, поэтому данная отрасль является объектом повышенного внимания.

Пожары, возникающие на предприятиях по хранению и переработке нефти и нефтепродуктов, в производственных помещениях, где используются горючие жидкости, на транспорте сопровождаются быстрым распространением, высокой температурой, плотным тепловым излучением и задымлением. Взрывы паровоздушной смеси приводят к частичному или полному разрушению резервуаров, технологического оборудования и конструкций [3].

При хранении нефти и нефтепродуктов в нефтехранилищах в случае нарушения правил их

эксплуатации, несоблюдения требований техники безопасности персоналом, обслуживающим соответствующие сооружения и технические устройства, а также норм промышленной безопасности большую опасность представляют разливы нефти и нефтепродуктов.

При разливе нефтепродуктов происходит загрязнение ими почвенного слоя на значительную глубину, а в подпочвенных горизонтах образуются линзы нефтепродуктов, которые с грунтовыми водами могут мигрировать, загрязняя окружающую среду. Отсюда следует серьезная глобальная проблема — загрязнение почвенного покрова нефтью и нефтепродуктами.

Кроме перечисленных выше опасностей, наблюдается сильное геомеханическое воздействие из-за изъятия земель из сельскохозяйственного оборота, ухудшение качества почв, эрозия почв. Выжигание (особенно на поверхности почвы) является наиболее опасной формой ликвидации загрязнения окружающей среды, поскольку из-за неполного сгорания нефти образуются стойкие канцерогенные вещества, которые разносятся по большой площади и, попадая в пищевые цепи растительных сообществ и сообществ животных, в конечном счете приводят к резкому возрастанию числа онкологических заболеваний местного населения.

Большую опасность для окружающей среды представляют также аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, происходящие в результате эксплуатации линейных объектов нефтегазового комплекса — магистральных и иных нефтепроводов, нефтепродуктопроводов, а также других

связанных с ними объектов нефтетранспортной системы. Такие аварии составляют существенную проблему для российских нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих и нефтетранспортных компаний, учитывая, что Российская Федерация является одним из ведущих мировых экспортеров энергоносителей, в частности нефти и нефтепродуктов. Одним из основных способов транспортировки нефтепродуктов являются магистральные трубопроводы.

В Российской Федерации общая протяженность магистральных нефтепроводов в 2016 г. составляла более 55,3 тыс. км. Помимо магистральных трубопроводов, в технологической цепи транспортировки нефти используются также промышленные трубопроводы, общая протяженность которых значительно выше. Например, только на месторождениях Западной Сибири эксплуатируются свыше 100 тыс. км промышленных трубопроводов, большая часть из которых — нефтяные [4].

Аварии на таких трубопроводах приобретают существенный масштаб. На территории России ежегодно происходит до 20 тыс. официально зарегистрированных аварий, сопровождающихся значительными разливами нефти. Только в 2016 г. произошло 3 048 разливов нефти и ее производных. Общая площадь загрязнения нефтепродуктами составила 7 430,8 га, объем поступивших в окружающую среду нефтепродуктов — 2 269,4 м<sup>3</sup> [5].

В распределении аварий по причинам их происхождения прорывы нефтепроводов занимают второе место, на первом месте нарушения технологических процессов на промышленных предприятиях. При этом аварии, связанные с разливами нефти и нефтепродуктов, наносят существенный материальный ущерб как частным компаниям, так и государству.

Общий ущерб от произошедших в 2016 г. аварий составил 488,2 млн руб. (в 2015 г. — 96,5 млн руб.), из них прямые потери от аварий составили 284,9 млн руб. (в 2015 г. — 66,4 млн руб.), затраты на локализацию и ликвидацию последствий аварий — 191 млн руб. (в 2015 г. — 27,95 млн руб.), экологический ущерб — 12 млн руб. (в 2015 г. — 1,74 млн руб.), ущерб, нанесенный третьим лицам, — 300 тыс. руб. (в 2015 г. — 453,4 тыс. руб.) [5].

Убытки от пожаров включают в себя убытки от уничтожения и повреждения технологического оборудования вследствие избыточного давления при взрыве, потери механических свойств под действием высокой температуры в зоне горения или перегрева от теплового излучения пламени.

Для разрешения вопросов пожарной безопасности и прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов

необходимо знать и уметь предвидеть развитие пожара в конкретных условиях, корректно анализировать и оценивать обстановку. Прогнозирование развития пожара предусматривает использование методов расчета направления и скорости распространения пламени, продолжительности развития пожара, изменения температуры и составляющих газовой среды, интенсивности газообмена и прочих характеристик пожара.

Каждый пожар является единственной в своем роде ситуацией, которая определяется различными обстоятельствами и явлениями, характеризующимися случайным характером, например, переменной в направлении и скорости ветра во время пожара и тому подобном. Поэтому вполне точно предсказать развитие пожара во всех деталях невозможно, в связи с чем решение проблемы многофакторного управления (к которой относится и комплексная оценка пожарного риска) является нетривиальной задачей [6].

Таким образом, с учетом вышеизложенного, значительная вероятность возникновения аварийных ситуаций непредсказуемых масштабов, высокая частота полного квазимгновенного разрушения вертикальных стальных резервуаров хранения нефти, необходимость учета всех факторов неопределенного характера при принятии решений обуславливает актуальность дальнейшего совершенствования методов и программно-алгоритмических средств прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов.

Методика оценки уровней безопасности нефтегазовых промыслов на основе анализа и оценки риска аварий была разработана в 1990-х годах в США и на сегодняшний день активно совершенствуется учеными многих стран, в частности Великобритании, Нидерландов, Франции. На данный момент она достигла такого уровня, когда результаты ее практического применения существенно влияют на процесс эксплуатации установок по добыче и хранению нефтепродуктов.

Однако, несмотря на большое количество работ, таких как научные исследования по вопросам определения уровня риска при хранении нефтепродуктов в резервуарных парках, экологические опасности при эксплуатации магистральных газопроводов, причины аварийных ситуаций и разрушений магистральных трубопроводов, негативное влияние нефтепродуктов на окружающую среду, проблемы капитального ремонта трубопроводов, которые определенным образом касаются проблем управления пожарной безопасностью в процессе аварийного разлива нефти, вопросы прогнозирования возникновения рисков требуют специального внимания и проведения дополнительного



исследования. Кроме того, анализ имеющихся работ свидетельствует о том, что учеными уделяется недостаточное внимание сравнению различных методов определения таких рисков.

Цель рассматриваемого исследования — анализ и перспективы развития подходов к прогнозированию рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов.

Анализ существующих научных источников, экспертных выводов и отчетов позволяет констатировать тот факт, что на сегодняшний день используется несколько методов для прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов. Рассмотрим их более подробно.

Один из самых распространенных методов — это метод логического "дерева". Логическое "дерево событий" (см. рисунок) является основой для оценки риска и предназначено для графического представления общего развития возможных аварийных ситуаций и аварий с отражением причинно-следственной взаимосвязи событий в зависимости от специфики опасности объекта, оценки риска с учетом влияния на него имеющихся защитных мероприятий [7].

При построении логического "дерева событий" используются:

- условные вероятности реализации различных веток логического "дерева событий" и перехода аварий в другую стадию развития;

- вероятность срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации аварий;

- вероятность поражения расположенного в зоне аварии технологического оборудования и сооружений промышленного предприятия в результате воздействия на них опасных факторов пожара.

Для прогнозирования вероятности возникновения риска пожаров необходимо:

- отразить взаимное расположение (по иерархическому принципу) "вершины" и "ветвей" "дерева причин и опасностей";

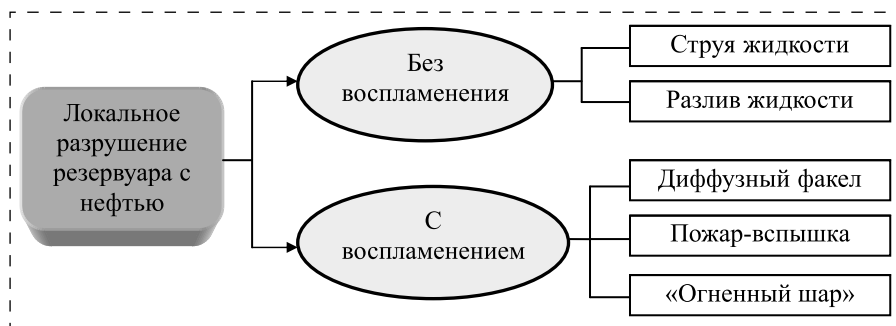


Схема логического "дерева событий" аварийной ситуации резервуара с нефтепродуктами

- определить и отразить взаимные функциональные связи между элементами упомянутого выше "дерева" и записать соответствующий логический символ "и" или "или" (символ "и" записывают в случае, когда, например, для возникновения пожара необходимо наступление одновременно двух событий; символ "или" записывают в случае, когда, например, для возникновения пожара достаточно хотя бы одного события в процессе аварийного разлива нефти);

- разработать аналитические соотношения для выполнения расчетов по определению величин вероятности риска возникновения пожара.

Величиной, характеризующей риск (то есть степень потенциальной опасности) возникновения пожара ( $R_{п}$ ), является вероятность реализации указанных выше опасных событий ( $P_{о.с}$ ) в течение определенного времени (например, за год). То есть  $R_{п} \approx P_{о.с}$  за год.

Для построения аналитических соотношений для определения возможной величины риска возникновения пожара ( $R_{п}$ ) вследствие аварийного разлива нефти также возможно использование теоремы сложения вероятностей и теоремы умножения вероятностей. При этом теореме сложения вероятностей следует применять в случае, когда взаимные функциональные связи обозначены логическим символом "или", а теореме умножения вероятностей — в случае, когда взаимные функциональные связи обозначены логическим символом "и".

Также для прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов широко используется инженерный подход.

В ходе оценки вероятности возгорания исследователь может столкнуться с двумя ситуациями. В первой он имеет дело со старой или традиционной технологией. В этом случае он может воспользоваться статистическими данными о работоспособности технологии, о вероятности ее отказов, аварий. Имея статистические данные по

нескольким отдельным элементам технологии, инженер может использовать вероятностный анализ риска для оценки возможности возникновения чрезвычайной ситуации [7]. При второй ситуации, когда рассматривается безопасность новой технологии, строятся так называемые дерево отказов и дерево событий.

"Дерево отказов" лежит в основе логико-вероятностной модели причинно-следственных связей отказов системы с отказами ее

элементов и другими событиями. При анализе возникновения отказа "дерево" состоит из последовательностей и комбинаций нарушений и неисправностей, и таким образом оно представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке, для того чтобы отыскать возможные причины их возникновения.

Сложность оценки и прогнозирования риска возгорания при аварийных разливах нефти заключается в том, что с ростом числа факторов, которые необходимо учесть, возрастает степень неточности или нечеткости. Нечеткость заключается в том, что в конкретный момент времени не всегда удается достоверно измерить (оценить) все входящие величины. Нечеткость может возникать вследствие неопределенности самого характера входящей величины [8].

Эти обстоятельства значительно затрудняют использование методов оценки риска пожара при аварийных разливах нефтепродуктов, основанных на расчетно-вероятностных зависимостях. Существенным вопросом является подтверждение адекватности полученных прогнозных оценок. В связи с этим перспективным направлением в системах оценки риска, позволяющим компенсировать неопределенности, является использование различных методов искусственного интеллекта. Для эффективного принятия решений при неопределенности условий функционирования системы применяют методы на основе правил нечеткой логики. Такие методы основываются на нечетких множествах, лингвистических величинах и выражениях для описания стратегий принятия решений [9].

В 1975 г. Э. Мамдани разработал алгоритм, который был предложен в качестве метода для управления паровым двигателем. Предложенный им алгоритм, основанный на нечетком логическом выводе, позволил избежать чрезмерно большого объема вычислений и был по достоинству оценен специалистами. Этот алгоритм в настоящее время получил наибольшее практическое применение в задачах нечеткого моделирования.

Нечеткое множество (fuzzy set) представляет собой совокупность элементов произвольной природы, по которым нельзя с полной определенностью утверждать, принадлежит тот или иной элемент к рассматриваемой совокупности в данном множестве или не принадлежит [10].

Управление на основе нечетких множеств тесно связано с таким понятием, как система нечеткого вывода, построение которой состоит из следующих этапов:

- фазификация входных переменных;
- формирование базы нечетких правил;
- агрегирование подусловия;
- активация подвыводов;
- аккумуляция выводов;
- дефазификация выходных переменных.

Рассмотрим более подробно особенности использования нечетких множеств для прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов. Фазификация в данном случае связана с определением нечетких множеств, характеризующих входные переменные — вероятность аварии и вероятность возникновения пожара. Такие множества описываются характеристическими функциями, принимающими значения в интервале от нуля до единицы, определяющие степень достоинства соответствующего фактора. В некоторых случаях такие функции можно определить объективно, основываясь на статистических данных, в других (встречается чаще всего) на основе экспертной оценки.

Входные и выходные переменные, а также соответствующие им нечеткие лингвистические переменные для моделирования риска пожара представлены в таблице.

Далее для каждой лингвистической переменной следует задать набор терминов и соответствующие им нечеткие множества.

Лингвистическая переменная — индивидуальный риск (Fuzzy\_risk) имеет в своем составе три термина:

$$Fuzzy\_risk = \{n\text{пиемлемый (Acceptable), допустимый (Satisfy), недопустимый (Unacceptable)}\}.$$

Нечеткие множества, соответствующие термам лингвистической переменной индивидуальный риск (Fuzzy\_risk), определяются характеристическими

Переменные нечеткой системы оценки риска

| Имя переменной                     | Тип переменной | Диапазон значений       | Соответствующая лингвистическая переменная |
|------------------------------------|----------------|-------------------------|--|
| Вероятность аварии, 1/год          | Входящая       | $10^{-6} \dots 10^{-4}$ | Инцидент (Incident)                        |
| Вероятность возгорания, 1/год      | Входящая       | $10^{-2} \dots 0,1$     | Возгорание (Fire)                          |
| Вероятность поражения, %           | Входящая       | $0 \dots 100$           | Поражение (Progenies)                      |
| Вероятность присутствия риска      | Входящая       | $0,1 \dots 1$           | Присутствие (Presence)                     |
| Индивидуальный риск, $R_p$ , 1/год | Исходящая      | $10^{-8} \dots 10^{-4}$ | Риск (Fuzzy_risk)                          |



функциями, которые, в свою очередь, задаются аналитически [10]:

$$\text{Fuzzy\_risk (приемлемый)} = -1 \cdot 10^{-6} R_i + 1$$

$$\begin{aligned} \text{Fuzzy\_risk (допустимый)} &= \\ &= 1,05 \cdot 10^6 R_i - 0,05, R_i < 10^{-6}, \\ &-1 \cdot 10^4 R_i + 1, R_i > 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\text{Fuzzy\_risk (недопустимый)} = 0,01 \times 10^{-6} R_i - 0,01,$$

где  $R_i$  — индивидуальный риск, который изменяется в диапазоне  $[10^{-8} \dots 10^{-4}]$ , что соответствует требованиям [11].

Значения индивидуального риска меньше  $10^{-8}$ , которые лингвистически определяются как крайне малые, не учитываются в диапазоне значений выходной переменной, потому что разрабатываемая нечеткая система целеориентирована на выявление контролируемого и недопустимого риска. А погрешность в области значений крайне малого риска не представляет опасности.

Характерные функции показывают, как в одном и том же диапазоне значений переменной Fuzzy\_risk меняется вес приемлемого, допустимого и недопустимого значения риска. Точки Fuzzy\_risk (Индивидуальный риск =  $10^{-8}$ ) = приемлемый (Acceptable), Fuzzy\_risk (Индивидуальный риск =  $10^{-6}$ ) = допустимый (Satisfy) и Fuzzy\_risk (Индивидуальный риск =  $10^{-4}$ ) = недопустимый (Unacceptable) определяют четкие ориентиры оценки риска в нечетком пространстве возможных решений.

Аналогично определяются нечеткие переменные инцидент (Incident), возгорание (Fire), поражение (Progenies) и присутствие (Presence). Вероятность аварии (Incident =  $10^{-6}$ ) = низкая (Low), вероятность аварии (Incident =  $10^{-5}$ ) = средняя (Middle), вероятность аварии (Incident =  $10^{-4}$ ) = высокая (High).

Вероятность возгорания (Fire =  $10^{-2}$ ) = редкая (Rarely), вероятность возгорания (Fire = 0,1) = частая (Often); поражения (Pragenies) = {легкое (Light), среднее (Medium), тяжелое (Hard), смертельное (Death)}; присутствие (Presence) = {обычное (Usually), постоянное (Constant)}.

На этапе композиции следует задать условия соответствия (правила) между входными и выходными нечеткими переменными. Структура правил определяется форматом "if-then-else", а семантика — знаниями и интуицией экспертов. Список нечетких правил может пополняться и меняться в процессе отработки и отладки алгоритма принятия решения.

Подводя итоги проведенного исследования, можно сделать следующие выводы. Наиболее

адаптированным и перспективным математическим аппаратом, который позволяет реализовать научную задачу прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов в условиях многофакторности и неопределенности, является аппарат теории нечетких множеств, позволяющий внести в данную область методологию системного анализа. В связи с большим динамическим диапазоном факторов, участвующих в формировании пожарного риска при разливе нефтепродуктов, с целью разработки нового метода оценки индивидуального пожарного риска, целесообразно использовать алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Разработку метода оценки индивидуального пожарного риска, основанного на теории нечетких множеств, целесообразно реализовать на универсуме переменных, имеющих широкий диапазон значений, таких как вероятность аварии и риск.

### Список литературы

1. **Котловский И. Б.** Совершенствование механизмов компенсации ущерба от рисков природных и техногенных катастроф // Аналитический вестник Совета Федерации Федерального Собрания РФ. — 2017. — № 2 (677). — С. 6—17.
2. **Малкина В. Д., Турбин А. И.** Разливы нефти как сфера международного сотрудничества в борьбе с загрязнением экосреды // Экологический вестник России. — 2017. — № 3. — С. 19—23.
3. **Минкин Д. Ю., Мироньчев А. В., Турсенев С. А.** Обеспечение пожарной безопасности нефтегазодобывающих платформ арктического шельфа // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2017. — № 2 (42). — С. 50—57.
4. **Петрова Н. В., Чешко И. Д., Галишев М. А.** Анализ практики экспертного исследования пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2016. — № 3. — С. 40—46.
5. **Информационный бюллетень** Федеральной службы "Объекты магистрального трубопроводного транспорта и подземного хранения газа. URL: [http://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull\\_92/bull\\_92\\_20-29.pdf](http://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_92/bull_92_20-29.pdf) (дата обращения 20.12.2018).
6. **Условия пожара пролива нефтепродуктов на теплоизоляции резервуаров / В. С. Мельников, М. В. Мельников, В. П. Молчанов, Д. Л. Бастриков // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26. — № 11. — С. 31—40.**
7. **Зарипова А. Р., Ганиева А. А., Колесник А. А.** Анализ проблем прогнозирования разливов нефтепродуктов в резервуарных парках // Нефтегазовое дело. — 2017. — Т. 15. — № 2. — С. 192—196.
8. **Анненков А.** Противопожарная защита открытых промышленных установок: приоритет предотвращения возгораний // Алгоритм безопасности. — 2016. — № 4. — С. 16—19.
9. **Байков И. Р., Смородова О. В., Сергеева К. В.** Оценка обобщенных показателей промышленной безопасности технологических установок нефтеперерабатывающего завода // Нефтегазовое дело. — 2016. — № 6. — С. 138—150.
10. **Морозов Р. В.** Консолидация и анализ данных моделирования пожара и эвакуации // Информатизация и связь. — 2015. — № 2. — С. 94—98.
11. **Бакиров И. К., Халиуллина И. Р.** О сложностях определения пожарного риска и угрозы жизни людей от пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24. — № 1. — С. 5—8.

**A. V. Kvashnin**, Chief of Department, **R. V. Koshkarov**, Chief of Department, e-mail: koshkarov79@mail.ru, **M. E. Babich**, Head of Chair, Far East Fire and Rescue Academy — Branch Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Vladivostok

## Forecasting the Risks of Fires in Case of Emergency Oil Spills

*The article is devoted to the consideration of various approaches to forecasting the risks of fires in emergency oil spills. Traditional methods are considered in detail, such as the logical tree method, the engineering approach. Particular attention is paid to the apparatus of fuzzy sets, which allows to take into account a wide range of factors and their influence on the occurrence of a fire hazard during oil spills.*

**Keywords:** fire, oil, modeling, risk, factor

### References

1. **Kotlovskiy I. B.** Covershenstvovaniye mekhanizmov kompensatsii ushcherba ot riskov prirodnykh i tekhnogenykh katastrof. *Analiticheskiy vestnik Soveta Federatsii Federal'nogo Sobraniya RF*. 2017. No. 20 (677). P. 6—17.
2. **Malkina V. D., Turbin A. I.** Razlivy nefi kak sfera mezh-dunarodnogo sotrudnichestva v borbe s zagryazneniyem ekosredy. *Ekologicheskiy vestnik Rossii*. 2017. No. 3. P. 19—23.
3. **Minkin D. Yu., Mironchev A. V., Tursenev S. A.** Obespecheniye pozharnoy bezopasnosti neftegazodobyvayushchikh platform arkticheskogo shelfa. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2017. No. 2 (42). S. 50—57.
4. **Usloviya** pozhara proliva nefteproduktov na teploizolyatsiyu rezervuarov / V. S. Melnikov, M. V. Melnikov, V. P. Molchanov, D. L. Batrikov. *Pozharovzryvbezopasnost*. 2017. Vol. 26. No. 11. P. 31—40.
5. **Informatsionnyy billeten'** Federel'noy sluzhby "Ob#yekty magistral'nogo truboprovodnogo transporta i podzemnogo khraneniya gaza". URL: [http://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull\\_92/bull\\_92\\_20-29.pdf](http://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_92/bull_92_20-29.pdf) (date of access 20.12.2018).
6. **Zaripova A. R., Ganiyeva A. A., Kolesnik A. A.** Analiz problem prognozirovaniya razlivov nefteproduktov v rezervuarnykh parkakh. *Neftegazovoye delo*. 2017. Vol. 15. No. 2. P. 192—196.
7. **Petrova N. V., Cheshko I. D., Galishev M. A.** Analiz praktiki ekspertnogo issledovaniya pozharov na obyektakh khraneniya nefi i nefteproduktov. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii*. 2016. No. 3. P. 40—46.
8. **Annenkov A.** Protivopozharnaya zashchita otkrytykh promyshlennykh ustanovok: prioritet predotvrashcheniya vozgoraniy. *Algoritm bezopasnosti*. 2016. No. 4. P. 16—19.
9. **Baykov I. R., Smorodova O. V., Sergeyeva K. V.** Otsenka obobshchennykh pokazateley promyshlennoy bezopasnosti tekhnologicheskikh ustanovok neftepererabatyvayushchego zavoda. *Neftegazovoye delo*. 2016. No. 6. P. 138—150.
10. **Morozov R. V.** Konsolidatsiya i analiz dannykh modelirovaniya pozhara i evakuatsii. *Informatsiya i svyaz*. 2015. No. 2. P. 94—98.
11. **Bakirov I. K., Khaliullina I. R.** O slozhnostyakh opredeleniya pozharnogo riska i ugrozy zhizni lyudey ot pozhara. *Pozharovzryvbezopasnost*. 2015. Vol. 24. No. 1. P. 5—8.

### Информация

**Продолжается подписка на журнал  
"Безопасность жизнедеятельности" на первое полугодие 2019 г.**

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

**Подписной индекс по Объединенному каталогу**

**"Пресса России" — 79963**

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](mailto:bjd@novtex.ru)



УДК 614.844

**А. А. Сперанский**, ст. науч. сотр., **С. В. Мамагин**, ст. науч. сотр.,  
e-mail: smamagin@yandex.ru, **Г. А. Гитцович**, науч. сотр., Санкт-Петербургский  
университет ГПС МЧС России

## Огнетушащая эффективность системы пожаротушения с использованием азотно-водяной смеси для защиты судовых машинных помещений

*Рассмотрены вопросы определения огнетушащей эффективности судовой системы пожаротушения низкого давления с использованием огнетушащего состава двухкомпонентной экологически безопасной азотно-водяной смеси, имеющей нулевой озоноразрушающий потенциал и не оказывающей влияния на парниковый эффект. Высокая эффективность этого огнетушащего состава обеспечивается за счет снижения содержания кислорода в воздухе, охлаждения газовой среды, блокирования излучения теплового потока. Показаны результаты сравнительных испытаний макетного образца системы пожаротушения по определению минимальной огнетушащей концентрации двухкомпонентного огнетушащего состава и чистого азота. Приведены основные параметры судовой системы пожаротушения для защиты машинных помещений.*

**Ключевые слова:** азотно-водяная смесь, распылитель, огнетушащая эффективность, судовая система пожаротушения, судовые машинные помещения

В настоящее время для защиты судовых машинных помещений наиболее перспективными являются системы пожаротушения тонкораспыленной водой (ТРВ) и газового объемного пожаротушения с использованием озонобезопасных хладонов.

Тонкораспыленная вода является поверхностным средством пожаротушения, что накладывает определенные ограничения в условиях применения ее в затесненных судовых машинных помещениях, поэтому наибольшее предпочтение отдается системам объемного газового пожаротушения с использованием озонобезопасных хладонов. В России и за рубежом освоено производство экологически чистых, озонобезопасных хладонов: 125, 227еа, 318Ц, ФК-5-1-12 и др. Однако эти хладоны по огнетушащей эффективности в 2–3 раза уступают применявшимся ранее озоноразрушающим хладонам 114В2, 13В1, 12В1, ограниченным к применению Монреальским (1987 г.) протоколом.

Токсичные продукты разложения, выделяющиеся при соприкосновении с пламенем перечисленных выше хладонов, обуславливают невозможность применения их при наличии людей в защищаемых помещениях, что приводит к задержке пуска системы пожаротушения на время эвакуации и увеличению ущерба от пожара.

В 1997 г. страны ООН, а позже и Россия, приняли Киотский протокол об ограничении применения составов, вызывающих парниковый эффект. В результате в Европе для применения в системах пожаротушения были запрещены хладон 125 и хладон 227еа. Согласно протоколу, начиная с 2008 г. Россия должна сократить применение этих хладонов. Ограничения, принятые Монреальским и Киотским протоколами, предъявляют к газовым огнетушащим составам следующие требования:

- высокая огнетушащая эффективность;
- безопасность для человека и оборудования;
- нулевой озоноразрушающий потенциал;
- короткий срок жизни в атмосфере;
- отсутствие влияния на парниковый эффект.

В значительной степени этим требованиям отвечает двухкомпонентный огнетушащий состав азотно-водяной смеси, огнетушащая эффективность которой с использованием тонкораспыленной воды (среднеарифметический диаметр капель менее 150 мкм) обуславливается следующими основными факторами:

- снижением содержания кислорода в воздухе в результате его разбавления инертным газом азотом до концентрации, не поддерживающей горение;
- охлаждением газовой среды в защищаемом помещении за счет испарения капель ТРВ;



- разбавлением газовой среды за счет интенсивного парообразования капель ТРВ;
- блокированием излучения теплового потока и предотвращением распространения пожара;
- высокой проникающей способностью к очагу пожара в труднодоступных местах;
- высокой дымоосаждающей способностью.

Наиболее экономичным и перспективным способом распыления жидкости является пневмоакустическое распыление. Жидкость получает энергию при взаимодействии с потоком газа, которому сообщаются колебания ультразвуковой частоты, что обеспечивает более тонкое и однородное дробление капель.

Пневмоакустические распылители представляют собой конструктивное соединение источника акустических колебаний (генератора-излучателя) и устройства для подвода жидкости и газа.

Для одобрения Российским Морским Регистром Судоходства системы газового пожаротушения с использованием азотно-водяной смеси в судовых машинных помещениях необходимо проведение испытаний в соответствии с требованиями Резолюций Международной морской организации (ИМО) [1, 2]. Ниже приведены основные положения документов, относящихся к испытаниям по оценке огнетушащей эффективности газовых систем пожаротушения:

- за минимальную объемную огнетушащую концентрацию газовых средств пожаротушения ( $C_{\text{мок}}$ , % об.) принимается минимальная концентрация, обеспечивающая тушение модельных очагов пожара Н-гептана, размещенных в нижних и верхних углах защищаемого помещения;

- расчетная нормативная объемная огнетушащая концентрация ( $C_n$ , % об.) должна обеспечивать тушение модельных очагов разлитого и распыленного жидкого топлива (Н-гептана, дизельного топлива) и деревянного модельного костра и определяться по формуле:  $C_n = 1,3C_{\text{мок}}$ ;

- время подачи в защищаемое помещение не менее 85 % минимального расчетного количества газовых средств тушения, при нормальных условиях находящихся в газообразном состоянии, не должно превышать 120 с;

- время тушения модельных очагов пожара не должно превышать 30 с с момента окончания подачи огнегасителя в защищаемое помещение;

- через 15 мин после окончания подачи огнегасителя в защищаемое помещение и его разгерметизации не должно быть повторного воспламенения очагов;

- потеря массы при выгорании модельного деревянного костра не должна превышать 60 %;

- при расчетной концентрации инертных газов в воздухе защищаемого помещения не более

43 % об. (что соответствует концентрации кислорода 12 % об.) допускается их воздействие на человека при эвакуации в течение не более 5 мин.

На основании экспериментов, проведенных в судовом машинном отделении по тушению распыленных под давлением и разлитых на поверхности горючих жидкостей с использованием объемных газовых средств пожаротушения, было установлено, что пожар распыленного топлива был ликвидирован при более низкой концентрации огнетушащих веществ, чем требуется для тушения разлитого топлива [3].

Для оценки огнетушащей эффективности двухкомпонентного состава (азот и ТРВ) дополнительно проводились испытания по определению минимальной огнетушащей концентрации чистого азота. В процессе исследований было проведено три серии испытаний по определению:

- минимальной огнетушащей концентрации азотно-водяной смеси;

- минимальной огнетушащей концентрации чистого азота;

- нормативной огнетушащей концентрации азотно-водяной смеси при тушении модельного костра.

Испытания проводились на стенде, состоящем из стального макета судового помещения объемом 11,85 м<sup>3</sup> размером (2,6×1,9×2,4) м, оборудованном вытяжной вентиляцией, системой газовой пожаротушения, модельными очагами пожара класса А и В, контрольно-измерительными приборами.

Система газовой пожаротушения включала: баллоны с газообразным азотом, емкость с водой, водяной насос, пневмоакустический распылитель, трубопроводы подвода воды и азота к распылителю.

В качестве горючей нагрузки очагов пожара классов А и В использовались материалы, необходимые для проведения испытаний по определению огнетушащей эффективности системы в соответствии с требованиями руководства ИМО MSC/Circ.848 [1]: Н-гептан (ГОСТ 25823—83 [4]) и древесина сосны. Испытания с каждым видом горючей нагрузки проводились отдельно.

Модельные очаги пожара класса В (Н-гептан) представляли собой стальные противни диаметром 80...100 мм, в которые заливалось горючее. Очаги пожара размещались на палубе и под подволоком по углам защищаемого помещения.

Модельный очаг пожара класса А (древесина сосны) складывали из 12 брусков размером (50×50×450) мм и размещали на палубе.

Время свободного горения очагов пожара класса В составляло 2 мин, а класса А — 6 мин (очаг пожара вводился в камеру макета судового



помещения по истечении времени свободного горения).

Модельные очаги были защищены металлическими листами от непосредственного попадания струй огнетушащего вещества, которое подавалось к пневмоакустическому распылителю при давлении азота 0,4...0,6 МПа; воды 0,06...0,08 МПа.

Концентрацию азота при проведении испытаний по определению минимальной огнетушащей концентрации двухкомпонентного состава изменяли в пределах (26...32) % об., а удельный расход воды — в пределах (0,45...0,65) л/м<sup>3</sup>. Концентрация азота при испытаниях с чистым азотом изменялась в пределах (26...32) % об.

Массу заряда азота, подаваемого на тушение, в соответствии с ГОСТ Р 53280.3—2009 [5] определяли по формуле:

$$M = V\rho \ln \frac{100}{100 - C},$$

где  $M$  — масса азота, кг;

$V$  — объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho$  — плотность азота (при 20 °С,  $\rho = 1,17$  кг/м<sup>3</sup>);

$C$  — объемная огнетушащая концентрация, % об.

Концентрацию двухкомпонентного огнетушащего вещества при тушении очагов пожара древесины рассчитывали из условия обеспечения

нормативной объемной огнетушащей концентрации по формуле:

$$K_{\text{норм}} = 1,3K_{\text{мин}},$$

где  $K_{\text{норм}}$  и  $K_{\text{мин}}$  — соответственно нормативная и минимальная массовые огнетушащие концентрации азота и воды, кг/м<sup>3</sup>.

Потерю массы модельного деревянного коистра определяли взвешиванием до и после испытаний.

Время тушения модельных очагов устанавливали с помощью термопар и видеозаписи.

На испытаниях измеряли концентрацию кислорода и температуру газовой среды в макете судового помещения, среднеарифметический диаметр капель ТРВ.

Результаты испытаний приведены в таблице.

Анализ результатов исследований по оценке огнетушащей эффективности двухкомпонентной азотно-водяной смеси, подаваемой из пневмоакустических распылителей низкого давления, проведенных в соответствии с требованиями Резолюций ИМО [1, 2], показал возможность использования азотно-водяной смеси для защиты судовых машинных помещений.

Определены основные параметры, требуемые для разработки судовой системы пожаротушения азотно-водяной смесью для защиты машинных

Результаты испытаний макетного образца системы пожаротушения

| Горючая нагрузка   |                                | Н-гептан    |       | Древесина   |
|--|--------------------------------|-------------|-------|-------------|
| Огнетушащие вещества (ОТВ)   |                                | Азот и вода | Азот  | Азот и вода |
| Концентрация азота в отсеке (макетном образце)                       | объемная, % об.                | 21,7*       | 32,0* | 28,2**      |
|  | массовая, кг/м <sup>3</sup>    | 0,29*       | 0,45* | 0,37**      |
| Удельный расход воды в отсеке, кг/м <sup>3</sup>                     |                                | 0,52        | —     | 0,65        |
| Время подачи ОТВ, с, не более  |                                | 60          | 75    | 76          |
| Время тушения очагов пожара с момента начала подачи ОТВ, с, не более |                                | 70          | 86    | 26***       |
| Концентрация кислорода в отсеке, % об.                               | перед испытанием               | 20,6        | 20,6  | 20,6        |
|  | к моменту окончания подачи ОТВ | 16,2        | 16,1  | 15,4        |
| Температура газовой среды в отсеке, °С                               | к моменту начала подачи ОТВ    | 27          | 26    | 56          |
|  | к моменту окончания подачи ОТВ | 32          | 33    | 67          |
| Наличие повторного воспламенения очагов пожара                       |                                | Нет         | Нет   | Нет         |
| Потеря массы коистра, %, не более                                    |                                | —           | —     | 43          |
| Среднеарифметический диаметр капель ТРВ, мкм, не более               |                                | 150         | —     | 150         |

\* — минимальная огнетушащая концентрация.  
 \*\* — нормативная огнетушащая концентрация.  
 \*\*\* — тушение пламенного горения модельного коистра.

помещений. Требуемая минимальная огнетушащая концентрация азота в двухкомпонентной смеси составила в 1,5 раза меньшее значение, чем у чистого азота.

Концентрация кислорода к моменту окончания подачи ОТВ в макет судового помещения составила не менее 15,4 % об., что позволяет производить пуск системы пожаротушения без задержки, при условии соблюдения времени эвакуации людей из защищаемого помещения не более 5 мин.

Полученные результаты позволяют перейти к разработке и крупномасштабным испытаниям опытного образца судовой системы пожаротушения азотно-водяной смесью.

### Список литературы

1. **IMO MSC/Circ. 848.** Пересмотренное руководство по одобрению равноценных стационарных систем газового пожаротушения, упомянутых в конвенции СОЛАС-74, для машинных отделений и грузовых насосных отделений.
2. **IMO MSC/Circ. 1267.** Поправки к пересмотренному руководству по одобрению равноценных стационарных систем газового пожаротушения, упомянутых в конвенции СОЛАС-74, для машинных отделений и грузовых насосных отделений (IMO MSC/Circ. 848).
3. **Востряков В. И., Гуськов М. Г., Сомов В. П.** Судовые системы пожаротушения хладонами. Обзорная информация. — М.: ГНИЦУИ, 1985. — 45 с.
4. **ГОСТ 25823—83** Марганца двуокись для химических источников тока. Технические условия.
5. **ГОСТ Р 53280.3—2009** Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 3. Газовые огнетушащие вещества. Методы испытаний.

**A. A. Speransky**, Senior Researcher, **S. V. Mamagin**, Senior Researcher, e-mail: smamagin@yandex.ru, **G. A. Gittcovich**, Researcher, St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia

## Extinguishing Effectiveness of the Fire Extinguishing System Using a Nitrogen-Water Mixture for the Protection of Ship Machinery Spaces

*Based on the results of experimental studies conducted in accordance with the requirements of the International Maritime Organization (IMO), the fire extinguishing efficiency of the low-pressure marine fire-fighting system was determined using a two-component environmentally friendly nitrogen-water mixture. This extinguishing agent has zero ozone-depleting potential and has no effect on the greenhouse effect. The high fire-extinguishing efficiency of the composition is provided by reducing the oxygen content in the air, cooling the gas medium, blocking the heat flux. The results of comparative tests of the prototype of the fire extinguishing system are given to determine the minimum extinguishing concentration of a two-component extinguishing agent and pure nitrogen. The main regulatory parameters of the ship's fire extinguishing system for the protection of engine rooms are determined. The obtained results allow to proceed to the development and large-scale tests of a prototype fire extinguishing system using a nitrogen-water mixture.*

**Keywords:** nitrogen-water mixture, nebulizer, fire-extinguishing efficiency, ship fire-extinguishing system, ship engine rooms

### References

1. **IMO MSC/Circ.848.** Revised guidelines for the approval of equivalent fixed gas fire-extinguishing systems, as referred to in SOLAS 74, for machinery spaces and cargo pump-rooms.
2. **IMO MSC.1/Circ.1267.** Amendments to revised guidelines for the approval of equivalent fixed gas fire-extinguishing systems, as referred to in SOLAS 74, for machinery spaces and cargo pump-rooms (MSC/Circ.848).
3. **Vostryakov V. I., Gus'kov M. G., Somov V. P.** Судовые системы пожаротушения хладонами. Обзорная информация. — М.: ГНИЦУИ, 1985. — 45 п.
4. **GOST 25823—83** Марганца двуокись; dlja himicheskikh istochnikov toka. Technicheskie usloviya.
5. **GOST R 53280.3—2009** Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskie. Ognetchashchie veshchestva. CHast' 3. Gazovye ognetchashchie veshchestva. Metody ispytaniy [Automatic fire extinguishing systems. Fire extinguishing media. Part 3. Gaseous extinguishing media. Test methods].

**В. Л. Мурзинов**, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры, e-mail: dr.murzinov@yandex.ru,  
**П. В. Мурзинов**, канд. техн. наук, зав. лабораторией,  
**Ю. В. Мурзинов**, канд. техн. наук, инж. первой категории, Воронежский  
государственный технический университет

## **Динамические характеристики устройства спасательного прыжкового пневматического для спасения падающих с высоты людей**

*Рассмотрено новое спасательное средство — устройство спасательное прыжковое пневматическое (УСПП). Отмечено, что для спасения падающих с высоты людей, находящихся на верхних этажах зданий при пожаре, УСПП обладает достаточной эффективностью и небольшим набором технических средств для его обслуживания и чаще используется при возникновении пожара в зданиях и сооружениях, не оборудованных средствами эвакуации. Кроме того, что в момент падения человека на УСПП в его пневматической полости создается скачок избыточного давления, которое имеет достаточную величину и может разорвать пневматическую полость. Для исключения этого негативного факта предложено математическое моделирование избыточного давления в пневматической полости УСПП, информация о котором позволяет правильно выбрать материал, форму и размеры УСПП, что обеспечит его надежную работу.*

**Ключевые слова:** устройство спасения падающих с высоты людей, прыжковые спасательные средства, пневматическая полость, математическое моделирование, избыточное давление

### **Введение**

Прыжковые спасательные средства хорошо себя зарекомендовали в спасении падающих с высоты людей в зданиях и сооружениях, не оборудованных средствами эвакуации с верхних этажей [1–3]. Среди прыжковых спасательных средств можно выделить устройство спасательное прыжковое пневматическое (УСПП), эффективность которого подтверждена патентом Российской Федерации [4]. Основным элементом спасательного средства УСПП является пневматическая полость, стенки которой выполнены из эластичного материала [5–7].

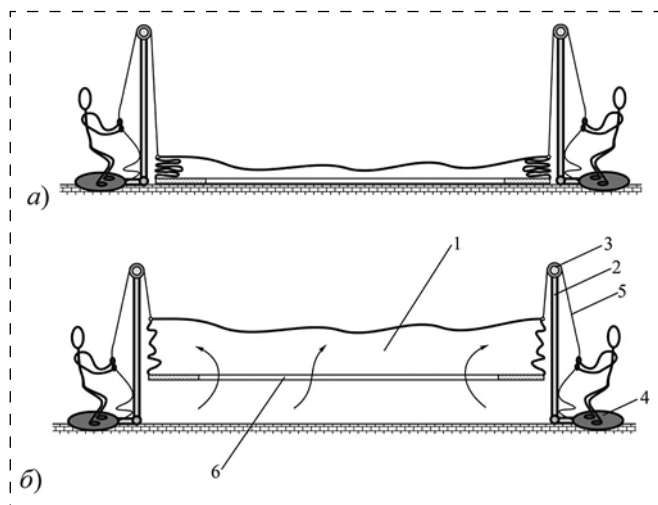
Преимущества этого устройства обусловлены тем, что повышается надежность и автономность работы спасательных бригад, использующих УСПП. Это средство спасения может быть приведено в рабочее состояние неограниченное число раз достаточно быстро (десятки секунд) и с минимальным числом пожарных. При длительном хранении спасательное средство УСПП, до момента его использования, сохраняет свою работоспособность и при хранении не нуждается в необходимости проведения дополнительной проверки работоспособности [8, 9].

### **Принцип установки в рабочее положение УСПП**

Общий вид УСПП [4] схематично представлен на рис. 1–4. На рис. 1 (см. 3-ю стр. обложки) показано спасательное средство УСПП в конце процесса установки. На рис. 2 (см. 3-ю стр. обложки) показано УСПП, готовое для принятия падающего с высоты человека; на рис. 3: а) сечение УСПП перед началом установки; б) сечение УСПП в процессе заполнения воздухом пневматической полости.

Основным элементом УСПП (см. рис. 1) является пневматическая полость 1, выполненная из прочного гибкого эластичного материала и имеющая форму призмы. Рядом с пневмокамерой 1 обязательно устанавливаются поворотные штанги 2, верхний конец которых снабжен шкивами 3. Поворотные штанги 2 соединены шарнирно с опорными штангами 4. К верхним углам пневмокамер 1 прикреплены фалы 5, перекинутые через шкивы 3. В нижней плоскости пневматической полости выполнено отверстие 6.

Установка УСПП в рабочее положение осуществляется следующим образом. По прибытии к месту чрезвычайной ситуации спасательной бригады для спасения падающих с высоты людей пожарные устанавливают устройство



**Рис. 3. Этапы разворачивания УСПП:**  
*a* — УСПП перед установкой; *б* — УСПП в момент наполнения воздухом пневматической полости

в положение, показанное на рис. 3, *a*. На каждую опорную штангу 2 становятся пожарные и берут в руки фалы 5. Затем по команде они натягивают фалы 5, перекиннутые через шкивы 3, тем самым поднимают вверх сложенную пневматическую полость 1 (см. рис. 3, *б*).

По мере подъема пневматическая полость 1 будет расправляться, а через отверстие 6 она будет наполняться воздухом. Полностью расправленная пневматическая полость 1 будет поднята над опорной поверхностью, и в этот момент пожарные отпускают фалы 5, отклоняют поворотные штанги 2 и опускают их на опорную поверхность (см. рис. 2). Пневматическая полость 1 при падении на опорную поверхность гарантированно наполняется воздухом. Устройство УСПП готово к принятию падающих с высоты людей. Кинетическая энергия падающего человека будет расходоваться на деформацию объема пневматической полости, что обеспечит плавное снижение скорости падения человека.

Наиболее важным параметром спасательного прыжкового пневматического средства является избыточное давление, возникающее в пневматической полости в момент падения на него человека с высоты. При этом кинетическая энергия падающего человека за небольшой промежуток времени переходит в энергию избыточного давления в пневматической полости. Происходит удар падающего человека о верхнюю плоскость пневматической полости. При этом избыточное давление может достигать значительной величины. Это может привести к нарушению целостности пневматической полости. Кроме того, значение величины избыточного давления используется для расчета момента срабатывания клапана

сброса воздуха из пневматической полости УСПП для обеспечения необходимого безопасного замедления скорости падающего человека.

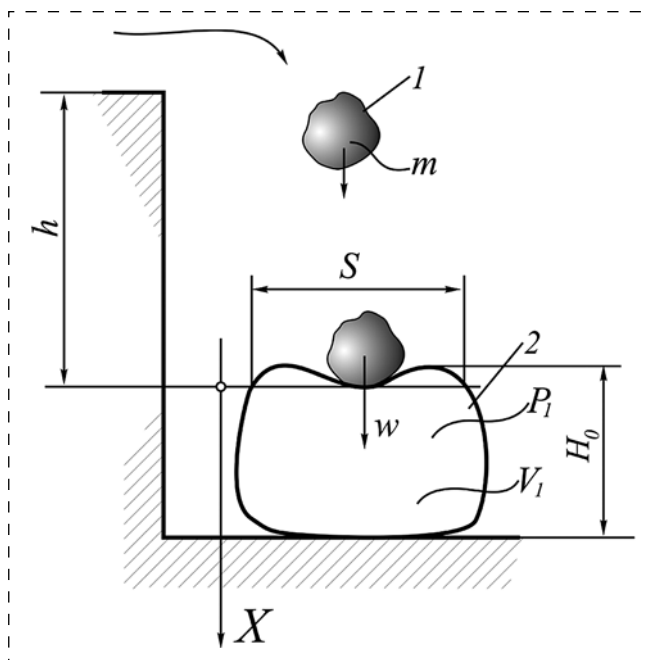
На рис. 4 (см. 3-ю стр. обложки) показаны фрагменты процесса падения тела (емкость, наполненная песком) на макет УСПП. Анализ динамики падения тела показывает, что падающее тело подлетает к верхней плоскости спасательного средства, касается его и затем в течение долей секунды происходит деформация всей пневматической полости. После этой деформации тело несколько приподнимается за счет избыточного давления в пневматической полости, совершает несколько колебаний вдоль вертикали и приходит в равновесное состояние.

### Математическое моделирование избыточного давления в пневматической полости УСПП

Для моделирования избыточного давления в пневматической полости УСПП, возникающего в процессе торможения падающего тела, рассмотрим расчетную схему, представленную на рис. 5 (расшифровка обозначений приведена в табл. 1).

Для удобства изложения математического моделирования избыточного давления в пневматической полости УСПП расшифровка обозначений, используемых в приведенных ниже формулах (1)–(14), сведена в табл. 1 и 2.

Падающее тело, воздействуя на верхнюю плоскость пневматической полости, создает в ней



**Рис. 5. Расчетная схема для определения избыточного давления в пневматической полости УСПП:**  
 1 — падающее тело; 2 — пневматическая полость



Таблица 1

Обозначения, используемые на рис. 5

| Обозначение | Расшифровка обозначения  | Обозначение  | Расшифровка обозначения   |
|-------------|--|--------------|---|
| $m$         | Масса падающего тела, кг   | $h$          | Высота падения тела, м  |
| $S$         | Площадь поверхности, перемещаемой под действием падающего тела, м <sup>2</sup> | $w$          | Скорость падающего тела в момент касания спасательного средства УСПП, м/с |
| $P_1$       | Начальное давление в пневматической полости УСПП, Па                           | $V_1 = SH_0$ | Начальный объем пневматической полости УСПП, м <sup>3</sup>               |
| $H_0$       | Высота пневматической полости УСПП, м  | $X$          | Ось отсчета   |

Таблица 2

Обозначения, используемые в формулах (1)–(14)

| Обозначение   | Расшифровка обозначения  | Обозначение         | Расшифровка обозначения  |
|---|--|---------------------|--|
| $x$   | Координата, определяющая положение верхней плоскости пневматической полости вдоль оси отсчета $X$ , м                                      | $t$                 | Время, с   |
| $F_1$   | Сила тяжести падающего тела, Н   | $F_2$               | Сила сопротивления от действия избыточного давления в пневматической полости УСПП, Н |
| $F_3$   | Сила сопротивления, порожденная деформацией объема воздуха в пневматической полости УСПП, которая пропорциональна скорости падения тела, Н | $g = 9,81$          | Ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup>                                       |
| $\Delta P$  | Избыточное давление пневматической полости УСПП, Па  | $V$                 | Текущее значение объема пневматической полости УСПП, м <sup>3</sup>                  |
| $\rho$  | Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>   | $\delta$            | Минимальный интервал времени начала деформации пневматической полости УСПП, с        |
| $\beta = \frac{\rho SH_0}{\delta m}$ ,<br>$\alpha = \frac{P_1 S}{m H_0}$ , $\gamma = \frac{g}{H_0}$ | Константы, используемые для упрощения выкладок   | $y = \frac{x}{H_0}$ | Относительная величина координаты $x$  |

избыточное давление. Энергия падающего тела переходит в энергию сжатого воздуха в пневматической полости [10]. При этом скорость падающего тела снижается и через небольшой промежуток времени становится равной нулю. Динамика падающего тела от момента касания верхней плоскости пневматической полости до остановки описывается приведенным ниже дифференциальным уравнением относительно одной координаты  $x$  [11].

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_1 + F_2 + F_3; \quad (1)$$

$$F_1 = mg; \quad (2)$$

$$F_2 = \Delta P S, \quad (3)$$

$$F_3 = \frac{\rho S H_0}{\delta} \frac{dx}{dt}. \quad (4)$$

Избыточное давление, входящее в уравнение (3), пропорционально величине координаты  $x$ , т. е.

$$\Delta P = P_1 \left( \frac{S H_0}{S H_0 - x S} - 1 \right). \quad (5)$$

После некоторых преобразований уравнения (5) получим

$$\Delta P = P_1 \left( \frac{x}{H_0 - x} \right). \quad (6)$$

Таким образом, изменение избыточного давления однозначно определяется координатой  $x$ , но эта координата является решением уравнения (1). Подставив в уравнение (1) формулы (2), (3), (4) и (6), получим уравнение динамики

падающего тела применительно к расчетной схеме на рис. 5:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = mg - P_1 \left( \frac{x}{H_0 - x} \right) S - \frac{\rho S H_0}{\delta} \frac{dx}{dt}. \quad (7)$$

Уравнение (7) можно преобразовать и получить следующую формулу:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\rho V_1}{\delta m} \frac{dx}{dt} + \frac{P_1 S}{m} \left( \frac{\frac{x}{H_0}}{1 - \frac{x}{H_0}} \right) - g = 0. \quad (8)$$

Сделаем замену координаты перемещения  $x$  относительной величиной

$$x = H_0 y, \quad (9)$$

тогда уравнение (8) примет вид

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{\rho V_1}{\delta m} \frac{dy}{dt} + \frac{P_1 S}{m H_0} \left( \frac{y}{1 - y} \right) - \frac{g}{H_0} = 0. \quad (10)$$

Для облегчения выкладок и получения решения можно учесть, что  $y \ll 1$ . Используя константы  $\beta$ ,  $\alpha$  и  $\gamma$ , преобразуем уравнение (10) к виду

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \beta \frac{dy}{dt} + \alpha y - \gamma = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) представляет собой линейное дифференциальное уравнение второго порядка, решением которого является зависимость вида [12]

$$y = e^{-\left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\alpha}\right) \frac{t}{2}} C_1 + e^{-\left(\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha}\right) \frac{t}{2}} C_2 + \frac{\gamma}{\alpha}. \quad (12)$$

Константы  $C_1$  и  $C_2$ , входящие в уравнение (12), определяются с учетом начальных условий

$$\left. \begin{aligned} y(t) &= 0 & \text{при } t &= 0 \\ \frac{d}{dt} y(t) &= w & \text{при } t &= 0 \end{aligned} \right\},$$

тогда

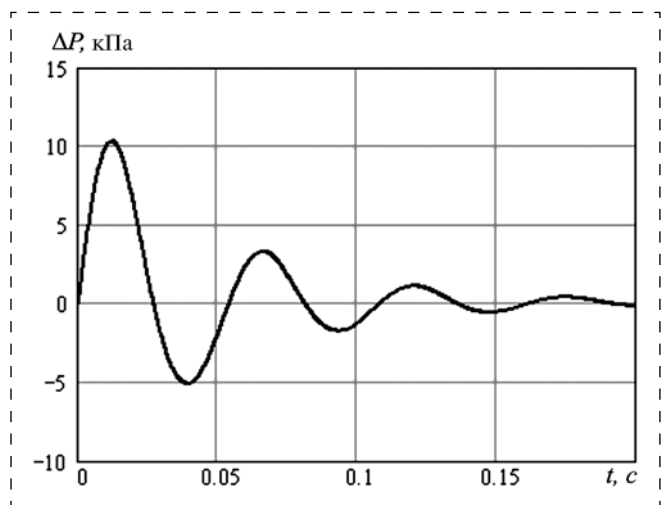
$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{\beta\gamma - \gamma\sqrt{\beta^2 - 4\alpha} - 2w\alpha}{2\alpha\sqrt{\beta^2 - 4\alpha}}, \\ C_2 &= -\frac{\beta\gamma + \gamma\sqrt{\beta^2 - 4\alpha} - 2w\alpha}{2\alpha\sqrt{\beta^2 - 4\alpha}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Подставляя уравнения (13) в уравнение (12) и учитывая замену (9), получим уравнение изменения координаты  $x$  и, следовательно, получим перемещение верхней плоскости пневматической полости УСПП в виде

$$\begin{aligned} x &= e^{-\left(\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\alpha}\right) \frac{t}{2}} \left[ \frac{\beta\gamma - \gamma\sqrt{\beta^2 - 4\alpha} - 2w\alpha}{2\alpha\sqrt{\beta^2 - 4\alpha}} \right] H_0 - \\ &- e^{-\left(\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha}\right) \frac{t}{2}} \left[ \frac{\beta\gamma + \gamma\sqrt{\beta^2 - 4\alpha} - 2w\alpha}{2\alpha\sqrt{\beta^2 - 4\alpha}} \right] H_0 + \frac{\gamma H_0}{\alpha}. \end{aligned} \quad (14)$$

Уравнение (14) определяет изменение координаты  $x$ . Подставляя его в уравнение (6), получаем соотношение, связывающее избыточное давление в пневматической полости УСПП с основными его параметрами. Преобразованное таким образом уравнение (6) моделирует изменение избыточного давления в пневматической полости УСПП при падении человека на это средство. Параметры УСПП, подставленные в формулу (6), разрешают определять динамику изменения избыточного давления в пневматической полости и находить максимальную величину этого давления, что позволяет правильно спроектировать УСПП.

На рис. 6 приведен график, построенный по уравнению (6) с учетом формулы (14) применительно к параметрам макета спасательного средства. Конкретные параметры даны в подписочной подписи. Анализ графика на рис. 6 показывает, что избыточное давление в пневматической полости УСПП достигнет максимального значения через 0,012 с и составит 10,32 кПа. Информация о максимальном избыточном давлении позволяет правильно выбрать материал для изготовления УСПП.



**Рис. 6. График функции изменения избыточного давления  $\Delta P$  в пневматической полости макета УСПП при падении на него тела при следующих параметрах:**  
 $S = 6,25 \text{ м}^2$ ;  $P_1 = 10^5 \text{ Па}$ ;  $m = 30 \text{ кг}$ ;  $H_0 = 1,5 \text{ м}$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  
 $h = 10 \text{ м}$ ;  $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ ;  $\delta = 0,01 \text{ с}$



## Выводы

Полученная математическая модель избыточного давления в пневматической полости УСПП позволяет определять значение максимального давления, которое возникает в момент падения человека на верхнюю плоскость пневматической полости. Значение этого давления может быть достаточно большой величиной и может привести к разрыву материала УСПП. Поэтому, зная максимальное значение избыточного давления, можно правильно спроектировать УСПП, выбрать необходимые его размеры и материал. Формула избыточного давления  $\Delta P$ , имеющая несколько громоздкий вид, в действительности легко вычисляется при подстановке в нее соответствующих параметров.

## Список литературы

1. **Свод правил.** Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре. Нормы и правила размещения и применения. — М.: МЧС России, 2009. — 16 с.
2. **ГОСТ Р 53273—2099** Техника пожарная. Устройства спасательные прыжковые пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

3. **Кашевник Б. Л.** Проблемы спасения людей при чрезвычайных ситуациях в многоэтажных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 2. — С. 34—38.
4. **Патент 2660012.** Прыжковое спасательное устройство / Мурзинов В. Л., Ермаков А. С., Попов С. В., Тестов Д. Г., Лукьянчиков И. П. Опубл. 04.07.2018. Бюл. № 19.
5. **Мурзинов В. Л., Сушкова О. В.** Инновационные средства спасения падающих с высоты тел в условия техногенных опасностей // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2013. — № 3 (8). — С. 9—13.
6. **Корольченко А. Я., Афонина О. И.** Средства спасения людей с высоты при пожарах в зданиях // Пожарная безопасность в строительстве. — 2010. — № 3. — С. 58—62.
7. **Воронков Ю. С., Воронков О. Ю.** Летательный аппарат для доставки спасательных средств // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 1. — С. 15—18.
8. **Мурзинов В. Л.** Моделирование времени подготовки прыжкового спасательного средства // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 1. — С. 15—19.
9. **Мурзинов В. Л.** Моделирование временных характеристик устройств спасения падающих с высоты людей // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 9. — С. 44—48.
10. **Ерофеев В. Л., Семенов П. Д., Пряхин А. С.** Теплотехника: Учебник. — М.: Академкнига, 2006. — 488 с.
11. **Тарг С. М.** Краткий курс теоретической механики: Учебник. 12 изд., стер. — М.: Высшая школа, 2002. — 416 с.
12. **Камке Э.** Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. — СПб.: Издательство "Лань", 2003. — 576 с.

**V. L. Murzinov**, Professor of Chair, E-mail: dr.murzinov@yandex.ru,  
**P. V. Murzinov**, Head of Laboratory, **Yu. V. Murzinov**, Engineer of the first category,  
Voronezh State Technical University

## Dynamic Characteristics of the Device Hopping to the Pneumatic Rescue Falling People

*Rescue of the people who are on the top floors of buildings at the fire is an actual problem. There are various means of salvation, among which can be identified hopping rescue vehicles. The article considers new rescue vehicle a rescue device of a pneumatic hopping (RDJP). Rescue means USP has sufficient efficiency and a small set of technical means for its maintenance. It is more often used in case of fire in buildings and structures not equipped with means of evacuation. At the time of the fall of a person on the RDJP, in its pneumatic cavity, an overpressure jump is created, which has a sufficient amount and can break the pneumatic cavity. To exclude this negative fact, the article considers mathematical modeling of overpressure in the pneumatic cavity of RDJP. Information about the overpressure in the pneumatic cavity allows you to choose the right material, shape and size of the RDJP, which will ensure its reliable operation.*

**Keywords:** rescue device of falling from height of people, hopping rescue means, pneumatic cavity, mathematical modeling, overpressure

## References

1. **Svod pravil.** Sredstva individual'noj zashhity i spaseniya ljudej pri pozhare. Normy i pravila razmeshhenija i primenenija. Moscow: MChS Rossii, 2009. 16 p.
2. **ГОСТ R 53273—2099** Tehnika požarnaja. Ustrojstva spasatel'nye pryzhkovye požarnye. Obshhie tehničeskie trebovanija. Metody ispytanij.
3. **Kashevnik B. L.** Problemy spaseniya ljudej pri chrezvychajnyh situacijah v mnogoetazhnyh zdanijah. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2003. Vol. 12, No. 2. P. 34—38.
4. **Patent 2660012.** Pryzhkovoe spasatel'noe ustrojstvo / Murzinov V. L., Ermakov A. S., Popov S. V., Testov D. G., Luk'yanchikov I. P. Opubl. 04.07.2018. Byul. No. 19.
5. **Murzinov V. L., Sushkova O. V.** Innovacionnye sredstva spaseniya padajushhix s vysoty tel v uslovija tehnogennyh opasnostej. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii*. 2013. No. 3 (8). P. 9—13.

6. **Korol'chenko A. Ja., Afonina O. I.** Sredstva spaseniya ljudej s vysoty pri požarah v zdanijah. *Požarnaja bezopasnost' v stroitel'stve*. 2010. No. 3. P. 58—62.
7. **Voronkov Ju. S., Voronkov O. Ju.** Letatel'nyj apparat dlja dostavki spasatel'nyh sredstv. *Sovremennye naukojomye tehnologii*. 2014. No. 1. P. 15—18.
8. **Murzinov V. L.** Modelirovanie vremeni podgotovki pryzhkovogo spasatel'nogo sredstva. *Požary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija*. 2017. No. 1. P. 15—19.
9. **Murzinov V. L.** Modelirovanie vremennyh harakteristik ustrojstva spaseniya padajushhix s vysoty ljudej. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2013. Vol. 22. No. 9. P. 44—48.
10. **Erofeev V. L., Semenov P. D., Prjahin A. S.** Teplotehnika. Uchebnik. Moscow: Akademkniga, 2006. 488 p.
11. **Targ S. M.** Kratkij kurs teoreticheskoj mehaniki. Uchebnik. 12 izd., ster. Moscow: Vysshaja shkola, 2002. 416 p.
12. **Kamke Je.** Spravochnik po obyknovennym differencial'nyh uravnenijam. Saint-Peterburg: Izdatel'stvo "Lan'", 2003. 576 p.



УДК 331.45: 621.311

**Н. В. Буякова**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., e-mail: bn\_900@mail.ru,  
**В. П. Закарюкин**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, доц., **А. В. Крюков**<sup>2,3</sup>, д-р техн. наук, проф.

<sup>1</sup> Ангарский государственный технический университет

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения

<sup>3</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет

## Электромагнитная безопасность на трассах высокоамперных токопроводов

Представлены результаты исследования условий электромагнитной безопасности на трассе гибкого симметричного токопровода напряжением 10 кВ. В качестве рабочего инструмента для компьютерного моделирования режимов и электромагнитных полей в фазных координатах использован программный комплекс *Fazopord*. Показано, что уровни напряженностей магнитного поля под расщепленными фазами токопровода могут превышать допустимые значения только в кратковременных режимах коротких замыканий.

**Ключевые слова:** высокоамперные токопроводы, электромагнитная безопасность, моделирование режимов и электромагнитных полей

### Введение

Одно из направлений проходящей в настоящее время смены технологической платформы электроэнергетики [1, 2] состоит в разработке и внедрении высокоамперных линий электропередачи (ЛЭП), таких как гибкие и жесткие

токопроводы, кабели больших сечений с изоляцией из молекулярно сшитого полиэтилена, газоизолированные и криогенные линии. Гибкие симметричные токопроводы [3] имеют двухцепное исполнение (рис. 1, а) и расщепленную конструкцию фаз, в которых используются провода сечением 600 мм<sup>2</sup> (рис. 1, б).

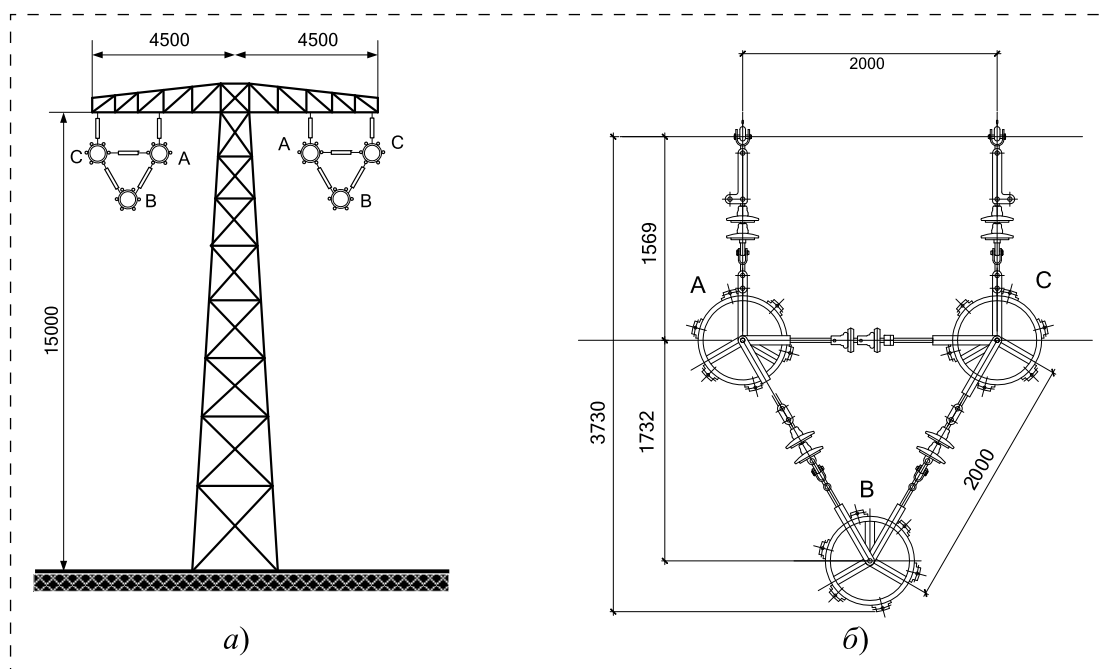


Рис. 1. Опора (а) симметричного токопровода и конструктивное исполнение (б) токоведущих частей



Токопроводы выполняют на напряжения 6-10-35 кВ, поэтому проблем с электромагнитной безопасностью (ЭМБ) по критерию напряженности электрического поля на их трассах не возникает. Однако суммарные токи фаз могут достигать нескольких килоампер, что приводит к появлению повышенных уровней напряженностей магнитного поля, превышающих в отдельных ситуациях допустимые значения. Поэтому при проектировании и эксплуатации таких ЛЭП необходим контроль условий ЭМБ, который можно проводить путем инструментальных измерений, а также на основе компьютерного моделирования [4–7].

При протекании больших токов в фазах токопровода наблюдается значительное электромагнитное влияние токоведущих частей друг на друга. Этот фактор существенно усложняет расчет режимов систем электроснабжения (СЭС), включающих токопроводы данного типа. Традиционное однолинейное моделирование в этом случае может приводить к существенным погрешностям. Проблемы моделирования режимов и электрических, и магнитных полей (ЭМП) в системах электроснабжения с высокоамперными токопроводами могут быть решены путем применения моделей в фазных координатах [8]. В качестве примера использования такого подхода проведено исследование условий ЭМБ на трассе двухцепного гибкого токопровода напряжением 10 кВ.

### Методы исследований

В Иркутском государственном университете путей сообщения разработаны методы моделирования СЭС в фазных координатах [8], базирующиеся на применении решетчатых схем замещения (РСЗ), которые представляют собой RLC-элементы, соединенные в схемы полных графов. Для РСЗ может быть записано следующее формализованное определение:

$$TEC : hub \cup con, \forall i, j \subset hub \rightarrow con_{i,j} \subset con,$$

где  $TEC$  — обозначение РСЗ;  $hub$  — множество узлов;  $con$  — множество ветвей;  $i, j$  — номера узлов. С помощью объединения РСЗ отдельных элементов реализуется решетчатая схема, отвечающая сети СЭС:

$$TEC_{\Sigma} = \bigcup_{k=1}^n TEC_k,$$

где символ  $\cup$  обозначает объединение РСЗ отдельных элементов на основе топологии конкретной сети;  $k$  — номер элемента.

На основе  $TEC_{\Sigma}$  формируется матрица проводимости расчетной модели

$$A : TEC_{\Sigma} \rightarrow \underline{Y}_{\Sigma} = \mathbf{M}_0 \underline{Y}_Y \mathbf{M}_0^T,$$

где  $\underline{Y}_Y$  — блочно-диагональная матрица, блоки которой отвечают матрицам проводимостей отдельных элементов;  $\mathbf{M}_0$  — обобщенная матрица инцидентий.

С использованием матриц  $\underline{Y}_{\Sigma}$  формируются нелинейные уравнения, описывающие режим СЭС:

$$\underline{Y}_{\Sigma} \dot{\mathbf{U}} = \text{diag} \frac{1}{\tilde{U}_j} \cdot \tilde{\mathbf{S}}; \quad j = \overline{1...n},$$

где  $\dot{\mathbf{U}}$  — вектор узловых напряжений;

$$\tilde{\mathbf{S}} = [\tilde{S}_1 \tilde{S}_2 \dots \tilde{S}_j \dots \tilde{S}_n]^T \text{ — вектор сопряженных}$$

комплексов узловых мощностей;

$\tilde{U}_j$  — сопряженный комплекс напряжения  $j$ -го узла сети.

Из этой системы исключается небольшое число переменных, отвечающих балансирующим узлам, в которых параметры  $\tilde{U}_j$  предполагаются априорно заданными.

После разделения вещественных и мнимых составляющих формируется итоговая модель, которая в общем виде может быть записана так:

$$\mathbf{F}[\mathbf{V}, \mathbf{X}] = \mathbf{0},$$

где  $\mathbf{F}$  — нелинейная вектор-функция;  $\mathbf{V}$  — вектор регулируемых параметров (независимых переменных);  $\mathbf{X}$  — вектор нерегулируемых параметров (зависимых переменных).

На основе предлагаемого подхода реализована методика анализа электромагнитной безопасности, которую отличают следующие особенности [5]:

- определение ЭМП с учетом характеристик сложной СЭС и питающей электроэнергетической системы;
- моделирование линий электропередачи различной конструкции;
- совмещение расчетов режима и определения напряженностей ЭМП;
- учет особенностей трассы ЛЭП.

Анализ условий электромагнитной безопасности осуществляется в два этапа.

1. Расчет режима электрической сети или системы электроснабжения.

2. Определение напряженностей электромагнитных полей, которые создаются линией электропередачи, входящей в состав моделируемой системы.

Составляющие напряженности электрического поля, создаваемого набором  $N$  проводов, в точке

с координатами  $(x, y)$  рассчитываются по следующим формулам [5, 8]:

$$\dot{E}_y = -\frac{1}{\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \dot{\tau}_i \frac{y_i [(x-x_i)^2 - y^2 + y_i^2]}{\xi_i^3},$$

$$\dot{E}_x = \frac{2}{\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \dot{\tau}_i \frac{(x-x_i)yy_i}{\xi_i^3},$$

где  $\xi_i = [(x-x_i)^2 + (y+y_i)^2][(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]$ ;  $\dot{\tau}_i$  — заряд провода  $i$  на единицу длины, определяемый из первой группы формул Максвелла

$$\dot{\mathbf{T}} = \mathbf{A}^{-1}\dot{\mathbf{U}}.$$

Здесь  $\dot{\mathbf{U}} = [\dot{U}_1 \dots \dot{U}_N]^T$  — вектор напряжений проводов по отношению к земле;  $\dot{\mathbf{T}} = [\dot{\tau}_1 \dots \dot{\tau}_N]^T$  — вектор зарядов проводов;  $\mathbf{A}$  — матрица потенциальных коэффициентов, в которой

$$\alpha_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2y_i}{r_i},$$

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{\sqrt{(x_i-x_j)^2 + (y_i+y_j)^2}}{\sqrt{(x_i-x_j)^2 + (y_i-y_j)^2}},$$

где  $x_i, y_i$  — координаты расположения провода  $i$  ( $y=0$  соответствует поверхности плоской земли, ось  $Y$  декартовой системы координат направлена вертикально вверх, ось  $X$  перпендикулярна трассе ЛЭП);  $x_j, y_j$  — координаты расположения провода  $j$ ;  $r_j$  — радиус провода;  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная.

Вертикальная и горизонтальная составляющие напряженности магнитного поля вычисляются по следующим выражениям:

$$\dot{H}_x = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^N \dot{I}_i \frac{y-y_i}{(x_i-x)^2 + (y_i-y)^2},$$

$$\dot{H}_y = -\frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^N \dot{I}_i \frac{x-x_i}{(x_i-x)^2 + (y_i-y)^2},$$

где  $\dot{I}_i$  — токи, протекающие по проводам ЛЭП, а также по проводникам, имитирующим протяженные заземленные объекты. По результатам определения составляющих  $\dot{E}_x, \dot{E}_y, \dot{H}_x, \dot{H}_y$  рассчитываются амплитудные значения напряженностей  $E_{\text{МАХ}}, H_{\text{МАХ}}$ .

Кроме того, может быть определена плотность потока активной мощности по выражению

$$P_0 = E_x H_y \cos(\psi_{E_x} - \psi_{H_y}) - E_y H_x (\psi_{E_y} - \psi_{H_x}),$$

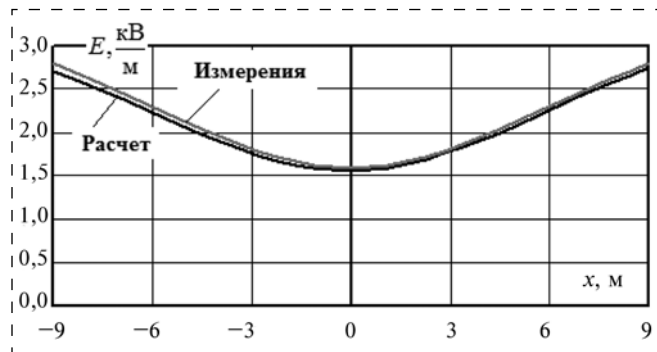


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных данных

где  $\psi_{E_x}, \psi_{E_y}, \psi_{H_x}, \psi_{H_y}$  — фазовые углы составляющих  $\dot{E}_x, \dot{E}_y, \dot{H}_x, \dot{H}_y$ .

Описанная технология моделирования реализована в программном комплексе (ПК) Fazonord [8], прошедшем масштабную апробацию. Для проверки адекватности моделирования проводилось неоднократное сопоставление результатов моделирования с инструментальными измерениями на реальных объектах. На рис. 2 в качестве примера приведены результаты сопоставления расчетных и экспериментальных значений напряженностей электрического поля, создаваемого ЛЭП 110 кВ с горизонтальным расположением проводов. Ось  $x$  проходила перпендикулярно трассе ЛЭП, начало координат принято под центральным проводом линии.

Из рис. 2 видно, что различия между расчетными и экспериментальными данными не превышают 4 %, что является достаточно хорошим результатом для задач подобного класса, отличающихся наличием неточностей в исходной информации.

### Результаты моделирования

В качестве объекта исследований выбрана типичная конструкция токопровода напряжением 10 кВ по рис. 1 с проводами А-600 протяженностью 1,62 км. Нагрузка каждой фазы двух цепей токопровода взята равной  $10 + j5$  МВ·А. Координаты токоведущих частей показаны на рис. 3. Расчеты режима и соответствующих режиму напряженностей ЭМП проведены программным комплексом Fazonord. Величины напряженностей полей определены для отправного конца токопровода.

На рис. 4 представлен фрагмент расчетной схемы ПК Fazonord. На рис. 5 и в таблице приведены результаты расчета режима, в котором потери в токопроводе составили  $0,33 + j4,30$  МВ·А. Напряжения балансирующих узлов с левого конца токопровода приняты симметричными и равными по модулю 6,0 кВ при нулевом угле напряжения

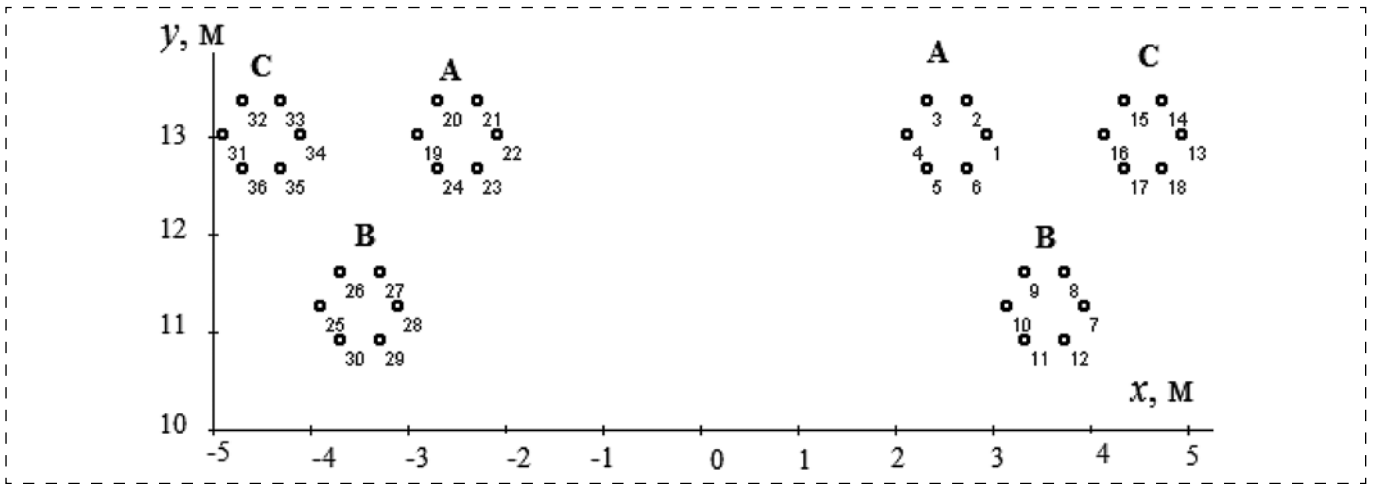


Рис. 3. Координаты токоведущих частей токопровода (справа — правая цепь, слева — левая цепь)

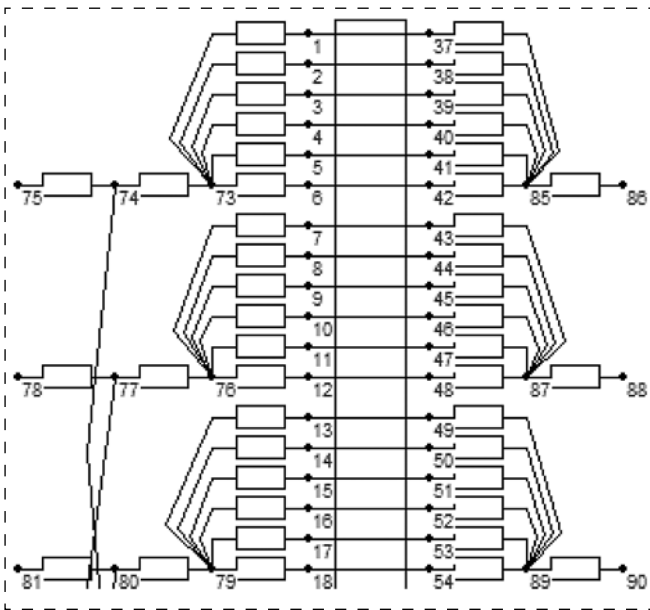


Рис. 4. Фрагмент расчетной схемы ПК Fazonord

фазы А. Распределение токов по проводам соответствующих фаз отдельных цепей токопровода практически совпадает.

Полученные результаты показывают, что из-за значительного взаимного электромагнитного влияния друг на друга токоведущих частей одной цепи имеет место заметная неравномерность токораспределения: токи проводов различаются более чем в 2 раза, что приводит к повышенным потерям в токопроводе. Максимальное различие напряжений фаз на приемном конце токопровода незначительно и достигает 80 В, а коэффициент несимметрии по обратной последовательности равен 0,9 %. На рис. 6—11 показаны результаты расчетов напряженностей электромагнитных полей.

На рис. 6 приведены зависимости горизонтальных и вертикальных составляющих напряженностей на нормированной высоте 1,8 метра от координаты  $x$ . Здесь же представлены графики амплитуд напряженностей и плотности потока активной электромагнитной мощности  $P_0$ ,

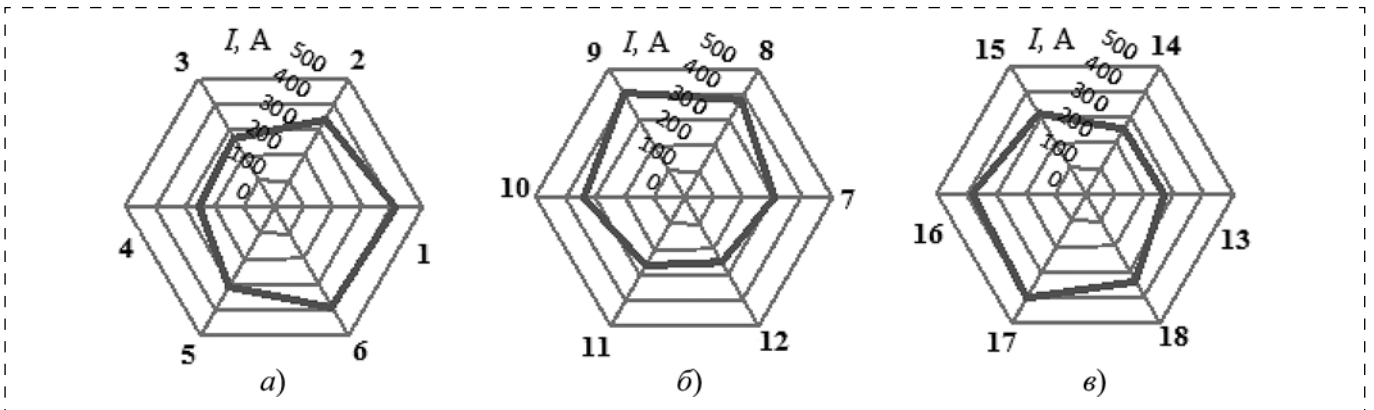


Рис. 5. Распределение токов по проводам правой цепи:

$a$  — фаза А;  $b$  — фаза В;  $c$  — фаза С. Номера проводов соответствуют номерам на рис. 3

Модули и углы напряжений и токов приемных концов фаз правой цепи токопровода

| Параметры      | Фаза А |             | Фаза В |             | Фаза С |             |
|----------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
|                | Модуль | Угол, град. | Модуль | Угол, град. | Модуль | Угол, град. |
| Напряжение, кВ | 5,75   | -3,31       | 5,83   | -123,2      | 5,79   | 117,5       |
| Ток, А         | 1947   | -29,9       | 1818   | -149,7      | 1932   | 90,9        |

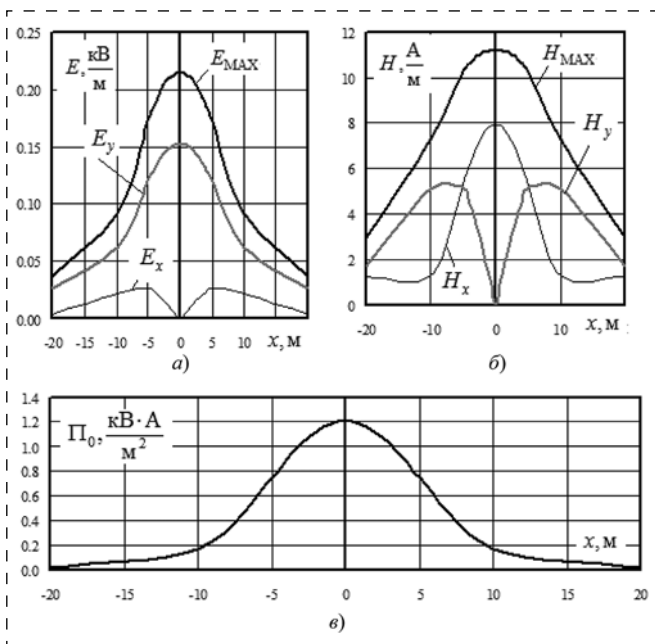


Рис. 6. Зависимости составляющих и амплитуд напряженностей электрического (а) и магнитного (б) полей. Плотности потока активной электромагнитной мощности (в) на высоте 1,8 м от координаты x

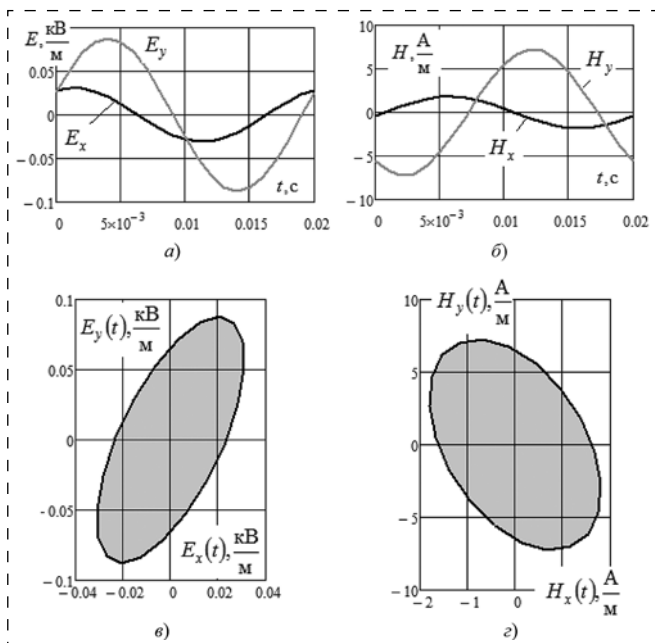


Рис. 7. Зависимости составляющих напряженностей электрического (а) и магнитного (б) полей от времени и годографы векторов напряженностей ЭМП (в, г) в точке с координатами  $x = -10$  м;  $y = 1,8$  м

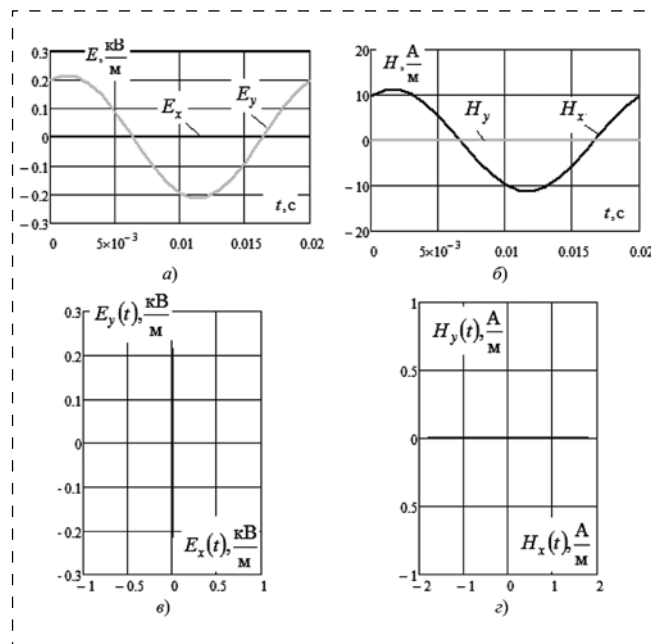


Рис. 8. Зависимости составляющих напряженностей электрического (а) и магнитного (б) полей от времени и годографы векторов напряженностей ЭМП (в, г) в точке с координатами  $x = 0$  м;  $y = 1,8$  м

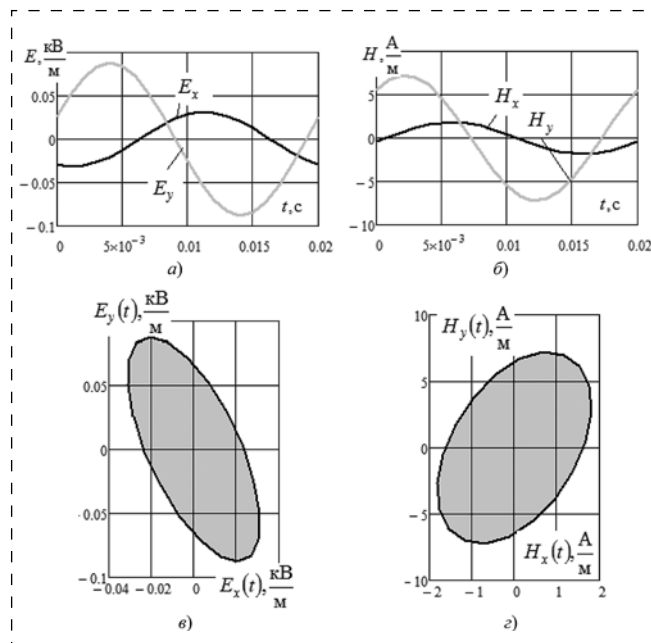


Рис. 9. Зависимости составляющих напряженностей электрического (а) и магнитного (б) полей от времени и годографы векторов напряженностей ЭМП (в, г) в точке с координатами  $x = 10$  м;  $y = 1,8$  м

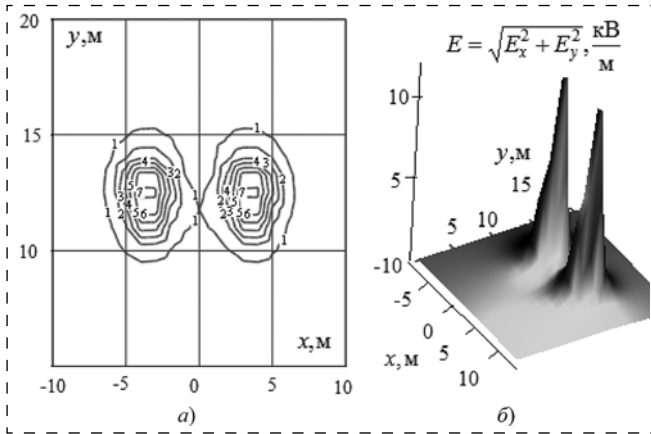


Рис. 10. Линии уровней (а) и поверхности (б) напряженностей электрического поля

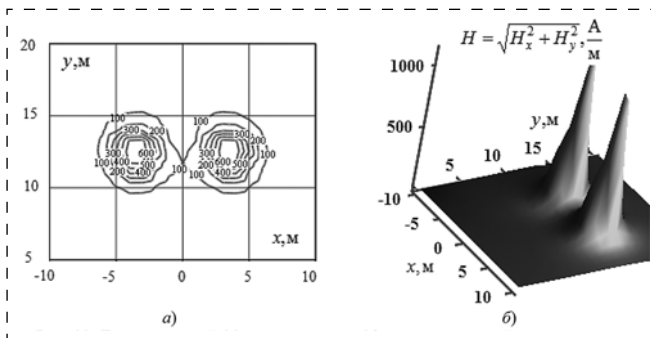


Рис. 11. Линии уровней (а) и поверхности (б) напряженностей магнитного поля

которые определялись по методике, описанной в работе [5].

Зависимости модулей векторов напряженностей электрического и магнитного полей от времени определяются следующими выражениями:

$$E(t) = \sqrt{2E_x^2 \sin^2(\omega t + \psi_{E_x}) + 2E_y^2 \sin^2(\omega t + \psi_{E_y})};$$

$$H(t) = \sqrt{2H_x^2 \sin^2(\omega t + \psi_{H_x}) + 2H_y^2 \sin^2(\omega t + \psi_{H_y})}.$$

Зависимости  $E = E(t)$ ,  $H = H(t)$ ,  $E_y(t) = f[E_x(t)]$ ,  $H_y(t) = \phi[H_x(t)]$ , рассчитанные для точек пространства с координатами  $y = 1,8$  м,  $x = -10$  и  $10$  м, представлены на рис. 7–9.

В работе [9] отмечается, что плотность индуктированного тока в теле человека зависит от направления вектора магнитной индукции. При этом максимальное значение тока наблюдается при вертикальном направлении этого вектора.

В точке с координатами  $x = 0$ ;  $y = 1,8$  м электрическое и магнитное поля имеют линейную поляризацию, а в точке с координатами  $x = \pm 10$  м;  $y = 1,8$  м поляризация становится эллиптической. Векторы напряженности магнитного поля в этих точках имеют направление, близкое к вертикальному.

Для получения полной картины распределения напряженностей ЭМП в пространстве, окружающем токопровод, на рис. 10, 11 построены контурные и объемные диаграммы функций

$$E(x, y) = \sqrt{E_x^2(x, y) + E_y^2(x, y)};$$

$$H(x, y) = \sqrt{H_x^2(x, y) + H_y^2(x, y)}.$$

Представленные диаграммы показывают, что вблизи токоведущих частей уровни напряженностей магнитного поля превышают 1000 А/м (см. рис. 11, б).

Уровни напряженностей ЭМП на нормируемой высоте 1,8 м не превосходят допустимых значений в 25 кВ/м и 80 А/м для электротехнического персонала, поэтому гибкие симметричные токопроводы могут без ограничений по условиям ЭМБ применяться на территориях промышленных объектов. Превышение допустимых уровней будет иметь место при работах непосредственно на отключенной цепи при условии, что вторая цепь берет на себя нагрузку отключенной. В этом случае необходимо ограничивать время нахождения персонала в опасных зонах или применять защитные средства.

При использовании токопроводов для выдачи мощности ветропарков и мини-ГЭС трассы таких

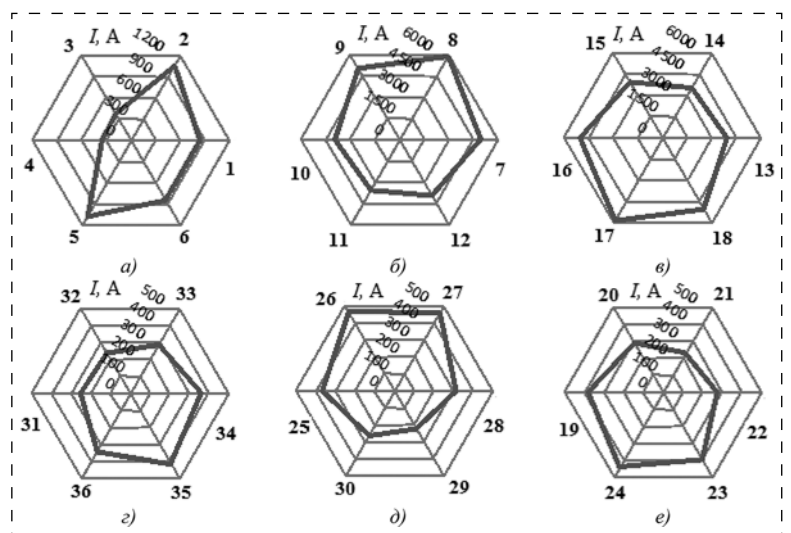


Рис. 12. Распределение токов по проводам при двухфазном и коротком замыкании:

а, б, в — правая цепь; г, д, е — левая цепь; а, е — фаза А; б, д — фаза В; в, г — фаза С

ЛЭП могут проходить в населенной местности. Однако и в этом случае уровни напряженностей ЭМП не превосходят допустимых значений 1 кВ/м и 16 А/м [10].

Наибольшие уровни напряженностей магнитного поля создаются при коротких замыканиях (КЗ). Так, например, при двухфазном КЗ и малом сопротивлении питающей сети по фазам В и С протекают суммарные токи 27 кА (рис. 12). Номера проводов соответствуют приведенным на рис. 3.

На рис. 13 приведены сравнительные зависимости от координаты  $x$  амплитуд напряженностей магнитного поля и плотности потока активной электромагнитной мощности на нормированной высоте 1,8 м.

На рис. 14 приведены контурные и объемные диаграммы функций напряженностей магнитного поля. Полученные результаты показывают, что при КЗ по-прежнему существует сильная неравномерность токораспределения по проводам расщепленных фаз. В фазе А правой по рис. 3 цепи, по которой ток в начале и в конце токопровода не протекает, наводятся токи порядка 1000 А, циркулирующие по замкнутым контурам проводов расщепленной фазы. Из-за подобного распределения токов создаются значительные уровни напряженностей магнитного поля, на порядок превышающие напряженности рабочего режима.

Из-за кратковременности режима негативное воздействие на персонал будет незначительным, однако необходимо предусматривать меры

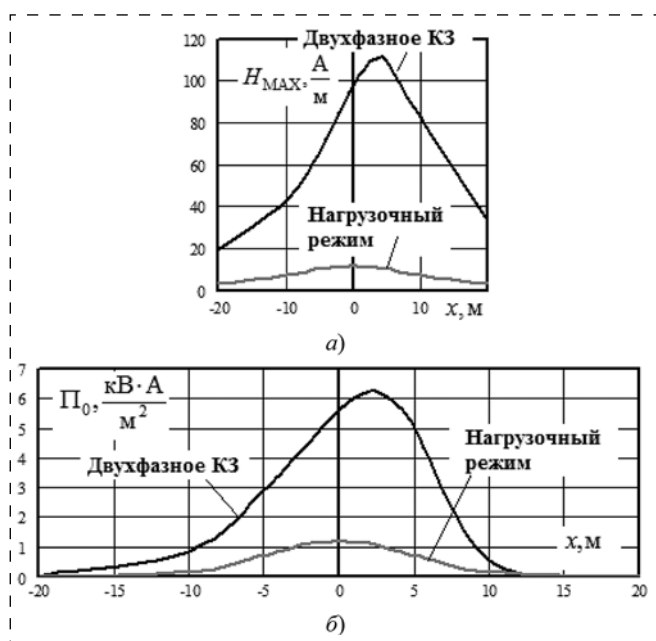


Рис. 13. Зависимости амплитуд напряженностей магнитного поля (а), а также плотности потока активной электромагнитной мощности (б) на высоте 1,8 м от координаты  $x$

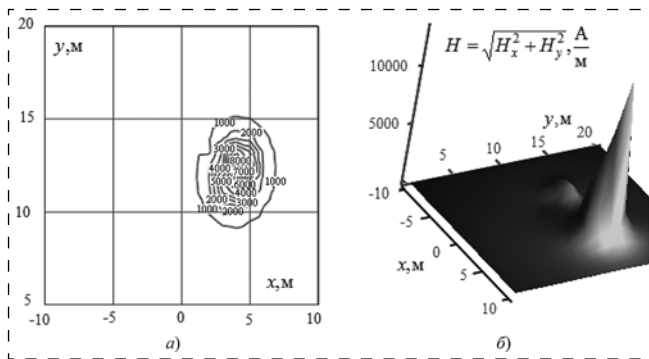


Рис. 14. Линии уровней (а) и поверхности (б) напряженностей магнитного поля

по защите электронного оборудования, которое может находиться в зонах действия таких полей.

Опасные ситуации могут возникать при работе на отключенных линиях электропередачи и связи, проходящих вблизи трассы высокоамперного токопровода, из-за воздействия на персонал наведенных напряжений [10]. Наиболее опасная ситуация будет иметь место при работе на отключенной цепи токопровода и КЗ на рабочей цепи.

### Заключение

Предложенная технология компьютерного моделирования условий электромагнитной безопасности позволяет определять напряженности электромагнитного поля на трассах высокоамперных токопроводов с учетом токораспределения в расщепленных фазах. Для рассмотренного в примере токопровода в условиях нормального режима напряженности ЭМП не превышают допустимых значений (5 кВ/м и 80 А/м), которые могут быть кратковременно превышены по напряженности магнитного поля в режимах коротких замыканий.

### Список литературы

1. Bernd M. Buchholz, Zbigniew A. Styczynski. Smart Grids — Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Berlin — Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. — 396 с.
2. Основные направления создания комплекса оборудования для интеллектуальных электрических сетей / В. Н. Вариводов, А. Г. Мордкович, Е. И. Остапенко [и др.] // Энергорынок. — № 4 (40). — 2011. — С. 26—30.
3. Семчинов А. М. Токопроводы промышленных предприятий. — Л.: Энергия, 1982. — 208 с.
4. Сидоров А. И., Окраинская И. С. Электромагнитные поля вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. — 204 с.
5. Буякова Н. В., Закарюкин В. П., Крюков А. В. Электромагнитная безопасность в системах электроснабжения железных дорог: моделирование и управление: монография / под общ. ред. А. В. Крюкова. — Ангарск: АНГТУ, 2018. — 382 с.



6. **Белинский С. О.** Экспериментальная оценка параметров электромагнитных полей // Мир транспорта. — № 5. — 2014. — С. 178—191.
7. **Аполлонский С. М., Горский А. Н.** Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях. — СПб: Политехника, 2004. — 263 с.
8. **Закарюкин В. П., Крюков А. В.** Сложнонесимметричные режимы электрических систем. — Иркутск: Иркут. ун-т, 2005. — 273 с.
9. **Кадомская К. П., Степанов И. М.** Анализ интенсивности электромагнитного поля, инициируемого воздушными линиями высокого напряжения // Электричество. — № 3. — 2009. — С. 24—31.
10. **Альтернативные варианты** обеспечения электромагнитной безопасности линий электропередачи / Н. Б. Рубцова, М. Ш. Мисриханов, В. Н. Седунов, А. Ю. Токарский // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. — Т. 14. — № 5 (3). — 2012. — С. 839—845.

**N. V. Buyakova**<sup>1</sup>, Associate Professor, e-mail: bn\_900@mail.ru, **V. P. Zakaryukin**<sup>2</sup>, Associate Professor, **A. V. Kryukov**<sup>2, 3</sup>, Professor

<sup>1</sup> Angarsk State Technical University

<sup>2</sup> Irkutsk State Transport University

<sup>3</sup> Irkutsk National Research Technical University

## Electromagnetic Safety in the Routes of High Current Electrical Pathways

*The article present results of electromagnetic safety conditions study on the route of a flexible symmetrical electrical pathway with 10 kV voltage. The Fazonord software application was used as a working tool for computer-aided modelling of modes and electromagnetic fields in different coordinates. The results obtained showed that the levels of magnetic field strength under electrical pathway split phases can exceed the permissible levels only in short circuits' short-time modes.*

**Keywords:** high current electrical pathways, electromagnetic safety, modes and electromagnetic fields modelling

### References

1. **Bernd M. Buchholz, Zbigniew A. Styczynski.** Smart Grids — Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Berlin — Heidelberg: Springer—Verlag, 2014. 396 p.
2. **Osnovnye napravleniya** sozdaniya kompleksa oborudovaniya dlya intellektual'nyh 'elektricheskikh setej / V. N. Varivodov, A. G. Mordkovich, E. I. Ostapenko [i dr.]. 'Energorynok. 2011. No. 4 (40). P. 26—30.
3. **Semchinov A. M.** Tokoprovody promyshlennykh predpriyatij. Leningrad: 'Energiya, 1982. 208 p.
4. **Sidorov A. I., Okrainskaya I. S.** 'Elektromagnitnye polya vblizi 'elektrostanovok sverhvyssokogo napryazheniya. Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGU, 2008. 204 p.
5. **Buyakova N. V., Zakaryukin V. P., Kryukov A. V.** 'Elektromagnitnaya bezopasnost' v sistemah 'elektrosnabzheniya zheleznykh dorog: modelirovanie i upravlenie: monografiya / pod obsch. red. A. V. Kryukova. Angarsk: AnGTU, 2018. 382 p.
6. **Belinskij S. O.** 'Eksperimental'naya ocenka parametrov 'elektromagnitnykh polej. *Mir transporta*. 2014. No. 5. P. 178—191.
7. **Apollonskij S. M., Gorskij A. N.** Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti cheloveka v 'elektromagnitnykh polyah. Saint-Petersburg: Politehnika, 2004. 263 p.
8. **Zakaryukin V. P., Kryukov A. V.** Slozhnonesimmetrichnye rezhimy 'elektricheskikh sistem. Irkutsk: Irkut. un-t, 2005. 273 p.
9. **Kadomskaya K. P., Stepanov I. M.** Analiz intensivnosti 'elektromagnitnogo polya, iniciiruемого воздушными линиями высокого напряжения. 'Elektrichestvo. 2009. No. 3. P. 24—31.
10. **Al'ternativnye varianty** obespecheniya 'elektromagnitnoj bezopasnosti linij 'elektroperedachi / N. B. Rubcova, M. Sh. Misrihanov, V. N. Sedunov, A. Yu. Tokarskij. *Izv. Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2012. Vol. 14. No. 5 (3). P. 839—845.

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 28.12.18. Подписано в печать 18.02.19. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ319.

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](http://www.aov.ru)