

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ



11(251) 2021

К статье К. Б. Лиева, С. А. Куцева

«ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРАДОВЫХ ЯЧЕЕК В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА»

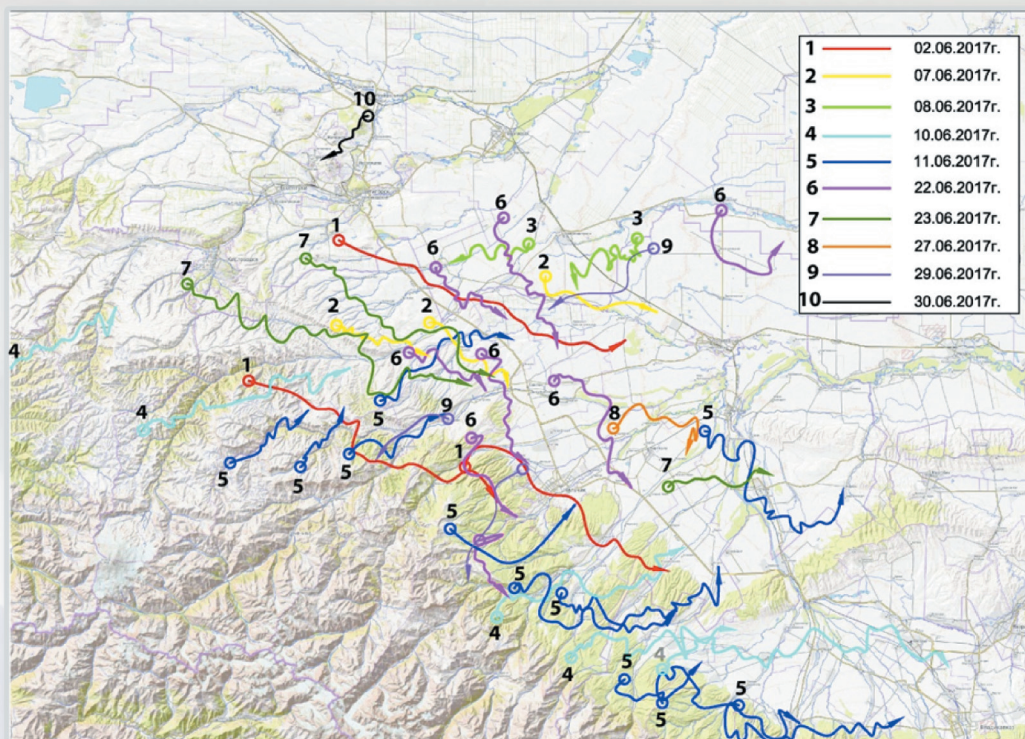


Рис. 1. Перемещение градовых облаков по территории центральной части Северного Кавказа за июнь 2017 г.

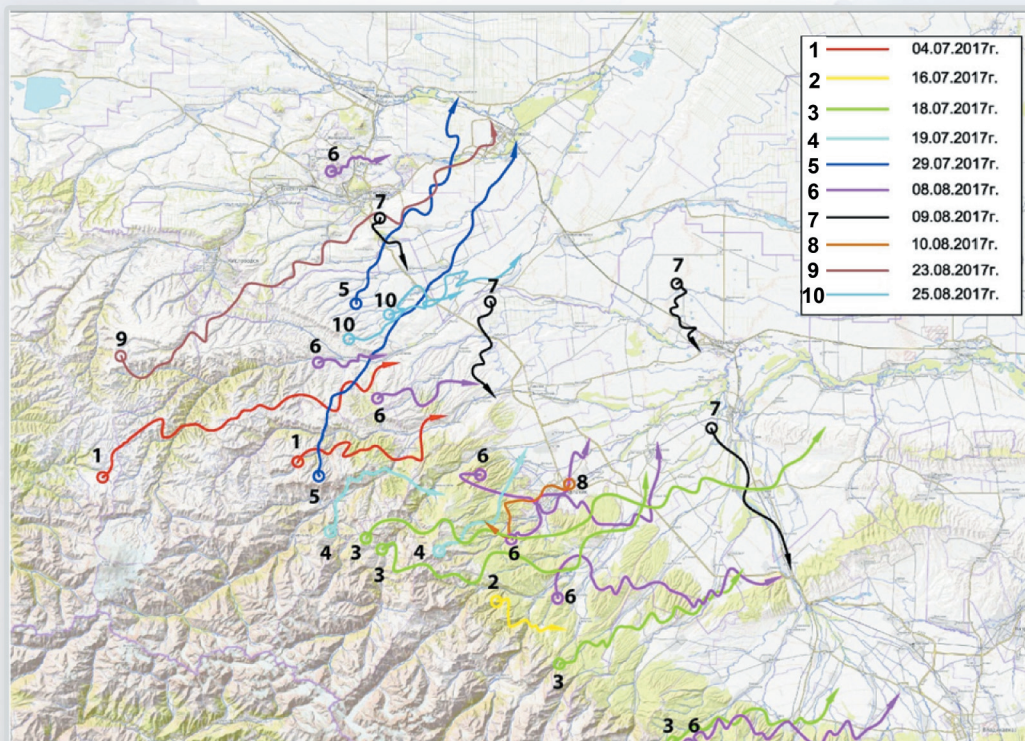


Рис. 2. Перемещение градовых облаков по территории центральной части Северного Кавказа за июль и август 2017 г.



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.
ЗАЛИХАНОВ М. Ч., акад. РАН,
д.г.н., к.б.н., проф. (председатель)
КОТЕЛЬНИКОВ В. С., д.т.н.,
проф.
ПЛЮЩИКОВ В. Г., д.с.-х.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.
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.
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.
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.

**11(251)
2021****СОДЕРЖАНИЕ****ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЯ**

- Пономарева А. А., Тинус А. М., Канонин Ю. Н.** Повышение безопасности труда в целях отбора и определения профессиональной пригодности персонала с учетом психофизических характеристик личности 3
- Фомина Е. Е., Козлова В. А.** Методы оценки степени вины участников несчастного случая на производстве 10

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Фоменко А. И.** Использование природных сорбентов для очистки питьевой воды 16
- Катин В. Д., Медведева Г. Г., Журавлев А. А.** Технические решения по созданию новых конструкций циклонов-зольловителей для котельных предприятий железнодорожного транспорта 22
- Буренин В. В.** Новые решения проблемы защиты атмосферного воздуха от загрязнения отходящими дымовыми газами тепловых электрических станций 27

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Будыкина Т. А., Николаев Р. И.** Термодеструкция кабельной линии, обработанной огнезащитной краской 35

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

- Рычков А. В., Щербаков Г. Н., Соколов Н. А., Рябухин Д. А.** К вопросу создания дорожных инженерных разведывательных машин с многоканальными системами обнаружения взрывоопасных предметов 41
- Лиев К. Б., Кушев С. А.** Особенности перемещения градовых ячеек в центральной части Северного Кавказа 49
- Мартынюк В. Ф.** COVID-19 как цепная реакция. Динамика распространения и критические условия 53

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

AGOSHKOVA A. I., Dr. Sci. (Tech.)
GRACHEV V. A., Cor.-Mem. RAS,
Dr. Sci. (Tech.)
ZALIKHANOV M. Ch., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Geog.), Cand. Sci. (Biol.)
KOTELNIKOV V. S., Dr. Sci. (Tech.)
PLYUSHCHIKOV V. G.,
Dr. Sci. (Agri.-Cult.)
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.)
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.)
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.)
SIDOROV A. I., Dr. Sci. (Tech.)
TOPOLSKIY N. G., Dr. Sci. (Tech.)
FILIN A. E., Dr. Sci. (Tech.)
SHVARTSBERG L. E.,
Dr. Sci. (Tech.)

11(251)
2021

CONTENTS

LABOUR AND HEALTH PROTECTION

- Ponomareva A. A., Tinus A. M., Kanonin Y. N.** Improving Labor Safety in Order to Select and Determine the Professional Suitability of Personnel, taking into Account the Psychophysical Characteristics of the Individual 3
- Fomina E. E., Kozlova V. A.** Methods for Degree Evaluation of Guilt of the Participants in the Industrial Accident 10

ECOLOGICAL SAFETY

- Fomenko A. I.** Use of Natural Sorbents for Purification of Drinking Water 16
- Katin V. D., Medvedeva G. G., Zhuravlev A. A.** Technical Solutions for the Creation of New Designs of Cyclones-Ash Collectors for Boiler Plants of Railway Transport .. 22
- Burenin V. V.** New Solution to the Problem of Protection of Atmospheric Air Pollution from Flue Gases of Thermal Power Plants 27

FIRE SAFETY

- Budykina T. A., Nikolaev R. I.** Thermal Destruction of the Cable Line Treated with Fire-Protective Paint 35

EMERGENCY

- Rychkov A. V., Shcherbakov G. N., Sokolov N. A., Ryabukhin D. A.** On the Issue of Creating Road Engineering Reconnaissance Vehicles with Multi-Channel Systems for Detecting Explosive Objects 41
- Liev K. B., Kushchev S. A.** Features of the Movement of Hail Cells in the Central Part of the North Caucasus 49
- Martynyuk V. Ph.** COVID-19 as a Chain Reaction. Propagation Dynamics and Critical Conditions 53

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

УДК 331.453

А. А. Пономарева, асп., **А. М. Тинус**, канд. хим. наук, доц., e-mail: talex72@mail.ru,
Ю. Н. Канонин, канд. техн. наук, доц., Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора Александра I

Повышение безопасности труда в целях отбора и определения профессиональной пригодности персонала с учетом психофизических характеристик личности

Представлены этапы профессионального отбора персонала, ориентированные на набор качеств, характеризующих особенности работы людей. Рассмотрена целесообразность включения дополнительного тестирования, характеризующего работоспособность работников на этапе отбора персонала.

Ключевые слова: травматизм, снижение травматизма, безопасность, профессиональный отбор, профессиональная пригодность, психофизиологические тесты

Введение

При приеме на работу в первую очередь работника оценивают по внешним профессиональным признакам (наличие диплома, стаж работы и т. д.). Психологическим составляющим не уделяется нужного внимания.

В настоящее время на предприятиях уделяется большое внимание уровню травматизма сотрудников и проводятся соответствующие мероприятия по снижению этого уровня, но уровень травматизма на предприятиях остается достаточно высоким [1].

Большое количество случаев производственного травматизма работников происходит из-за ошибочных и неквалифицированных действий персонала. Наличие на производстве персонала, профессионально не пригодного, является потенциальным источником производственной опасности. Предупреждение несчастного случая является важнейшей задачей любой деятельности, в том числе производственной.

Под профессиональной пригодностью понимается совокупность личных (психических и физических) качеств человека, его знаний, навыков, умений, опыта, имеющих значение для выполнения рабочей функции. В специализированной литературе профпригодность часто определяется как соответствие человека занимаемой должности. Это определение взято за основу в данном исследовании.

К каждой профессии есть свой набор требований. Если работник соответствует определенным требованиям — помимо профессиональных знаний обладает и необходимыми личностными качествами, про него говорят "настоящий профессионал" или "он занимает свое место".

Суть профессиональной пригодности в следующем:

- работник способен освоить необходимые знания, умения и навыки для эффективного выполнения своей трудовой функции;

- работник творчески подходит к решению поставленных задач, может проявлять инициативу, самостоятельность, брать ответственность за результат;

- человек испытывает удовлетворенность, получает удовольствие не только от результата своего труда (получения вознаграждения, поощрений), но и от процесса деятельности;

- работник имеет положительную мотивацию, желание развиваться как специалист.

Определение профессиональной пригодности важно для повышения безопасности труда. Дело в том, что деятельность любой компании постоянно подвержена многочисленным рискам и протекает под воздействием самых разных внешних и внутренних угроз. Своевременная профилактика этих рисков, управление ими, выявление и противодействие таким угрозам составляют суть процесса обеспечения безопасности



организации. Как правило, это всегда комплексная система, которая в зависимости от масштабов, профиля деятельности компании и условий, в которых она работает, разделяется на отдельные составляющие, такие как экономическая, физическая, информационная безопасность и др. Однако во всех компаниях и организациях существует задача обеспечения кадровой безопасности, независимо от того, имеются ли для этого необходимые возможности.

Цель исследования: показать необходимость применения методов психологической диагностики на этапе отбора персонала предприятия.

Статистика травматизма

Специфичность условий функционирования железнодорожного транспорта, угольной, нефтяной промышленности и других отраслей, особенности производственных процессов, сложность, новизна и разнообразие технологий, их частая смена, быстроедействие современных машин и механизмов, сложность и определенная опасность процессов их обслуживания заставляют уделять значительное место идеологии безопасности [2—4].

Учитывая уровень травматизма в стране, Росстат собрал статистические данные по основным показателям травматизма, разным параметрам и видам, начиная от детского, заканчивая спортивными [5]. Статистика производственного травматизма в РФ за 2012—2018 гг. представлена в табл. 1. Число несчастных случаев на производстве в РФ представлено в табл. 2. Рассматривая гендерный признак, стоит отметить, что в 3—4 случаях из 10 пострадавшими являются мужчины. Что касается смертности, то она наблюдается в одном случае из 25 [5].

Ниже приведены данные по уровню производственного травматизма в ОАО "РЖД" в 2017—2020 гг.

По итогам работы за 2018 г. уровень производственного травматизма в целом по ОАО "РЖД" снизился по сравнению с уровнем 2017 г.:

- общий травматизм (количество травмированных всего) — на 7,7 %, со 182 человек в 2017 г. до 168 человек в 2018 г.;
- травматизм с летальным исходом (число погибших) — на 19,2 %, с 26 в 2017 г. до 21 человека в 2018 г.;
- тяжелый травматизм (число травмированных с тяжелым исходом) остался на уровне 2017 г. — 51 человек [6].

Таблица 1

Статистика производственного травматизма в РФ

Показатель	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Число пострадавших при несчастных случаях на производстве, тыс. человек	40,4	35,6	31,3	28,2	26,7	25,4	23,6
из них со смертельным исходом	1,82	1,70	1,46	1,29	1,29	1,14	1,07
Число пострадавших при несчастных случаях на производстве на 1000 человек	1,9	1,7	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2
из них со смертельным исходом	0,084	0,080	0,067	0,062	0,062	0,056	0,054
Число человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших на производстве	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2
Израсходовано средств на мероприятия по охране труда в расчете на одного работающего, руб.	8758,1	8881,3	9615,5	10 930	11 480	12 965	14 246

Таблица 2

Число несчастных случаев на производстве в РФ

Показатель	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Число пострадавших при несчастных случаях на производстве, тыс. человек	151,8	144,7	127,7	106,7	87,8	77,7	70,7	66,1	58,3	46,1
из них со смертельным исходом	4,40	4,37	3,92	3,54	3,29	3,09	2,90	2,99	2,55	1,97
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Число пострадавших при несчастных случаях на производстве, тыс. человек	47,7	43,6	40,4	35,6	31,3	28,2	26,7	25,4	23,6	21,2
из них со смертельным исходом	2,00	1,82	1,82	1,70	1,46	1,29	1,29	1,14	1,07	1,01

Данные анализа по охране труда в подразделениях ОАО "РЖД" показывают, что в 2020 г. в компании допущено 120 случаев производственного травматизма, из них 14 — с летальным исходом. По отношению к 2019 г. снижение уровня общего производственного травматизма составило 21 % — в 2019 г. 152 случая, с летальным исходом — 30 % — в 2019 г. 20 случаев (рис. 1).

Сравнительный анализ случаев травмирования работников структурных подразделений полигона на Октябрьской железной дороге показан на

рис. 2. В 2018 г. общее число случаев производственного травматизма работников структурных подразделений полигона Октябрьской железной дороги по отношению к 2017 г. снизилось в 2 раза (с 12 до 6 случаев), смертельных — на 60 % (с 5 до 2 случаев).

По итогам 2020 г. в сравнении с 2019 г. уровень общего производственного травматизма работников структурных подразделений полигона Октябрьской железной дороги снижен на 25 % (в 2020 г. — 6 пострадавших, в 2019 г. — 8), смертельного — на 67 % (в 2020 г. — 1, в 2019 г. — 3).



Рис. 1. Сравнительный анализ случаев травмирования работников ОАО "РЖД"

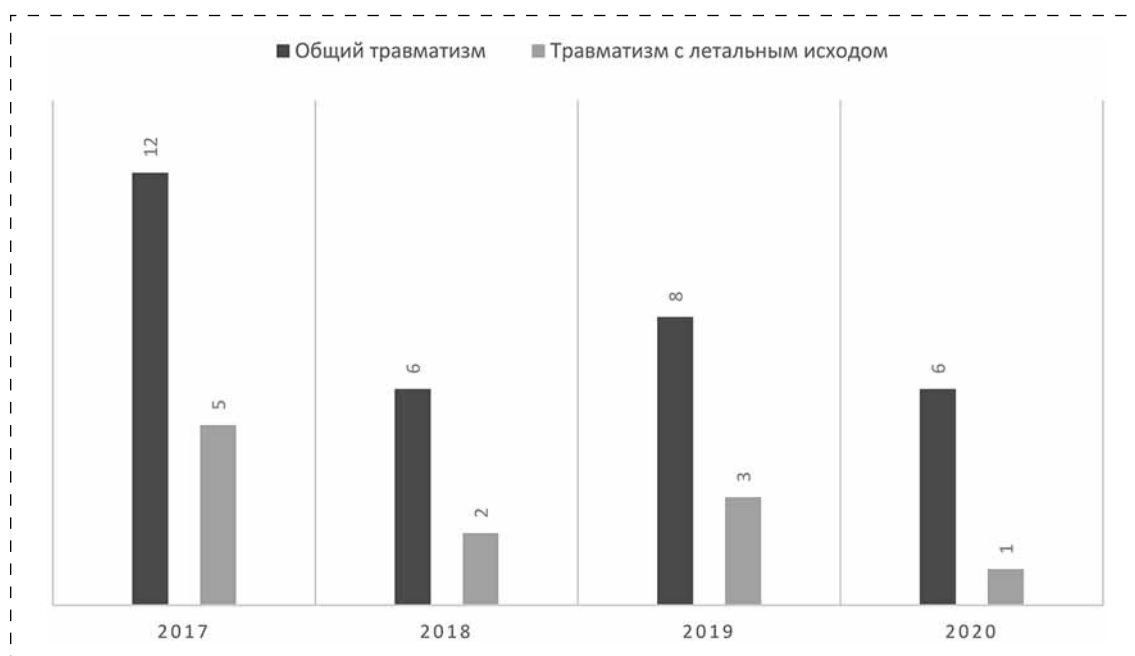


Рис. 2. Сравнительный анализ случаев травмирования работников структурных подразделений полигона Октябрьской железной дороги



Согласно данным анализа по охране труда, промышленной безопасности и непроизводственному травматизму в структурных подразделениях Октябрьской железной дороги, территориальных подразделениях функциональных филиалов ОАО "РЖД", осуществляющих свою деятельность в границах Октябрьской железной дороги за 2020 год, основными нарушениями работников, повлиявшими на возникновение несчастных случаев на производстве по результатам расследования травм, являются: отсутствие контроля со стороны руководителей (50 %), личная неосторожность пострадавших (25 %), нарушение должностных обязанностей, производственной дисциплины, технологического процесса (17 %), необеспечение безопасных условий труда (8 %).

Достичь нулевого травматизма практически невозможно. Одними из критериев достижения его являются: подбор работников по психологическим параметрам, мотивация сотрудников для дальнейшей работы и контроль работы со стороны работодателей.

Психологический отбор персонала

Вопросы обеспечения безопасности затрагивают все без исключения аспекты работы с сотрудниками, включая правильный подбор и отбор новых работников, оптимальную расстановку персонала, его всестороннюю оценку, адекватную мотивацию и стимулирование, формирование благоприятной корпоративной культуры, совершенствование механизмов управления человеческим ресурсом и многое другое. Упущения в любом из перечисленных аспектов могут приводить к снижению надежности работающего персонала, что всегда чревато неприятными, а иногда и катастрофическими последствиями.

Если отдельные сотрудники компании ненадежны и в любой момент могут подвести, то серьезно говорить о безопасности такой компании нельзя. Именно поэтому кадровая безопасность в какой-то степени занимает приоритетное место среди всех остальных функциональных направлений обеспечения безопасности компаний. Основу ее должны составлять гибкие, максимально эффективные и точные методы диагностики и оценки персонала по всем ключевым направлениям, включая оценку его профессиональной компетентности, личностных качеств и, конечно же, благонадежности.

Если технологии изучения и оценки профессиональных и личностных характеристик работников хорошо известны и уже давно широко используются, то ситуация с оценкой персонала на

предмет его благонадежности выглядит гораздо хуже. Дело в том, что человеческий ресурс, помимо того, что им нужно правильно управлять, умело мотивировать и оптимально размещать, характеризуется еще одним очень важным качеством — он может быстро терять свою надежность. Этот аспект надо постоянно держать на контроле, поскольку на определенном этапе собственный персонал, которому руководитель еще вчера доверял как самому себе, может стать небезопасным.

В этом случае психофизиология должна раскрыть соотношение типичных и индивидуальных свойств человека и профессии. Наука, с одной стороны, должна помочь найти пути формирования пригодности, а с другой — должна предотвратить возможные ошибки при выборе профессии. Выбор деятельности, не соответствующей внутренней структуре человека, приводит к развитию различных психосоматических и психических заболеваний [7]. Таким образом, эффективность труда может быть обусловлена как различной готовностью, так и разным уровнем пригодности. Непродуктивная деятельность отражается не только на человеке, но и на эффективности и безопасности предприятия, в котором работает человек, и на обществе в целом. Поэтому прогнозирование профессиональной пригодности человека никогда не утратит своей актуальности [8].

Для исследования безопасности труда с целью отбора и определения профессиональной пригодности персонала с учетом психофизических характеристик личности существуют специальные методы и методики. Система профессионального отбора должна служить своеобразным фильтром, препятствующим приему на работу лиц с физиологическими и психологическими характеристиками, не отвечающими требованиям соответствующих технологических процессов. Эта система не ущемляет право на труд отдельных членов общества. На первый план выступает требование высокого уровня коллективной безопасности [9].

При профотборе используются разные методы исследования: собеседование, самоотчет, наблюдение, тестирование. Каждый из этих методов имеет преимущества и недостатки. Первые три метода требуют "арбитра", оценивающего специалиста. В целях уменьшения влияния субъективного фактора при оценке качества работника (оператора) наиболее приемлемым является тестирование. Этот метод предполагает использование набора тестов, предлагаемых испытуемому, в процессе решения которых выявляются те или иные психофизиологические свойства.

На этапе собеседования чаще всего невозможно узнать о качествах человека, приводящих к плохим последствиям. Узнать о проблемных вопросах можно только спустя некоторое время. При приеме на работу нового сотрудника рекомендуется провести тестирование для составления психологического портрета в области профессиональной деятельности.

Отбор персонала предлагается проводить в несколько этапов.

На первом этапе следует обратить внимание на опасности, которые могут привести к аварийной ситуации и травмированию человека на определенном рабочем месте. На основании анализа опасностей определяются те или иные качества, которыми должен обладать работник, занятый на данном рабочем месте.

На втором этапе на основании набора психофизиологических качеств, которыми должен обладать определенный работник, подбираются тесты, которые позволят их выявить.

Тесты делятся на следующие группы:

— тесты на определение способностей, служащие для установления общего уровня интеллекта,

выявления пространственного воображения, точности восприятия, психомоторных способностей, память, внимание;

— тесты достижений, определяющие уровень овладения знаниями, умениями и навыками;

— социометрические тесты, определяющие поведение людей в групповой деятельности, помогающие выявить социально-психологическую совместимость людей определенной группы;

— личностные тесты, оценивающие такие качества, как импульсивность, активность, чувство ответственности, уравновешенность, общительность, осторожность, уверенность в себе, оригинальность мышления;

— тесты на определение профессиональных навыков.

С помощью грамотно построенного психологического теста можно выявить:

- общее психологическое состояние человека;
- обучаемость;
- способность к лидерству;
- приоритеты;
- нестандартный подход к решению задач;

Таблица 3

Характеристика тестов

Тип теста	Цель тестирования	Оцениваемые психофизиологические качества
Айзенка	Определяет тип темперамента	Экстраверсия (направленность личности на внешний мир) и нейротизм (результат неуравновешенности процессов возбуждения и торможения)
Амтхауэра	Определяет уровень интеллекта	Общие способности в связи с проблемами профессиональной психодиагностики в рамках профессиональной ориентации и консультаций по подбору профессии
Тимоти Лири	Определяет степень конфликтности	Представления самого человека о себе и его взаимоотношений в малой группе (семье, рабочем коллективе и т. д.)
Цветовой Люшера	Определяет тип темперамента, состояние психики на текущий момент	Психофизиологическое состояние человека, стрессоустойчивость, активность и коммуникативные способности
Кеттелла	Определяет основные черты характера человека	Особенности характера, склонности, интересы человека
Сонди	Определяет имеющиеся психологические отклонения	Психические отклонения
Роршаха	Определяет особенности личности	Свойства и качества личности, которые проявляются в деятельности в условиях ненаправленного ассоциирования
Голланда	Определяет профессиональную пригодность	Склонность и подбор профессии, которые наиболее всего подходят психотипу, соответствуют характеру, устремлениям и т. д.
Белбина	Определяет степень коммуникабельности	Определяет роли в командной работе
Томаса	Определяет способность к коммуникации, конфликтность	Формы поведения людей в конфликтах
Шульте	Определяет способность к концентрации, внимательность	Устойчивость внимания, динамика работоспособности
Лозаруса	Определяет психофизиологические качества	Копинг-механизмы (противоборство, самоконтроль, принятие ответственности, планирование решения проблемы), способы преодоления трудностей в различных сферах деятельности
Роджерса — Даймонда	Диагностика психологической адаптации и ее интегральных показателей	Адаптация, уход от проблем, эмоциональный комфорт, стремление к доминированию



- моральные качества;
- коммуникабельность, способность ладить с большим коллективом;
- мотивации.

Наиболее важные тесты, необходимые на этапе отбора персонала, представлены в табл. 3.

В области охраны труда за основные направления профотбора индивида (оператора) можно принять: физиологическое, психофизиологическое и профессиональное направления, каждому из которых можно присвоить характеристики качественной оценки, которые следует рассматривать и использовать при профотборе отдельно или комплексно.

Направления можно представить рядом свойств, позволяющих оценить человека в каждой конкретной ситуации. Физиологическая характеристика может иметь следующие свойства: оценка чувствительности анализаторов человека, оценка быстродействия, оценка выносливости, оценка утомляемости, оценка точности действий, оценка координации движений. Для психофизиологической характеристики свойственны: оценка памяти, оценка мышления, оценка скорости обработки информации, оценка психологической совместимости. Профессиональной характеристике свойственны оценка профессиональных знаний и оценка риска [10, 12].

Заключение

Высокая достоверность результатов определения профессиональной пригодности работников достигается за счет использования прямых показателей качества их деятельности [13]. Однако получение надежных результатов сопряжено с довольно длительным обследованием, что не всегда возможно. Поэтому в ряде случаев процедуру отбора работников целесообразно реализовать в два этапа. Вначале проводят оценку по тестам (первый этап), которая, как правило, не требует больших затрат времени. Затем потенциальные работники, успешно прошедшие такую оценку, допускаются к отбору на рабочих местах (второй этап).

Критерии профессиональной пригодности, основанные на теории распознавания образов, отличаются от других более строгим научным обоснованием системы оценок качества выполнения работниками заданий (тестов) в процессе психофизиологического отбора и порогов пригодности (непригодности) будущих работников к работе по данной специальности.

Процедура определения профессиональной пригодности позволяет определить психофизиологические способности претендентов к работе по выбранной профессии в аварийных и штатных ситуациях.

Список литературы

1. **Титова Т. С., Копытенкова О. И., Ефимова Е. И.** и др. Производственная безопасность: Учебное пособие. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. — 415 с.
2. **Титова Т. С., Копытенкова О. И., Быстров Е. Н.** и др. Охрана труда на железнодорожном транспорте. — М.: ООО Издательский дом "Автограф", издательство "Маршрут", 2017. — 483 с.
3. **Панин А. В., Белонина А. А., Тинус А. М.** Новый подход при работе с несовершеннолетними по обучению безопасности поведения на объектах железнодорожной инфраструктуры // Безопасность жизнедеятельности. — 2018. — № 10 (214). — С. 3—11.
4. **Панин А. В., Белонина А. А., Тинус А. М.** Анализ травматизма граждан на объектах железнодорожного транспорта / В сборнике: Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2018): материалы VI Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 24—26 октября 2018 года. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2018. — С. 135—139.
5. **Статистика** травматизма по данным Росстат. URL: <https://rosinfostat.ru/travmatizm/> (дата обращения 11.05.2020).
6. **Производственная безопасность** и охрана труда. URL: <https://ar2018.rzd.ru/ru/sustainable-development/health-safety> (дата обращения 14.05.2020).
7. **Психологическая диагностика:** Учебное пособие / Под ред. М. К. Акимовой. — СПб.: Питер, 2005. — 304 с.
8. **Титова Т. С., Ахтямов Р. Г.** Система управления техносферной безопасностью. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2017. — 23 с.
9. **Чернова Г. Р., Соломина Л. Ю., Хмяляйнен В. И.** Психология управления: Учебное пособие. 2-е изд. — М.: Юрайт, 2020. — 193 с.
10. **Яценко Е. Ф., Уклич С. И., Синельникова Е. С.** Общая психология: Учебное пособие. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2020. — 63 с.
11. **Чернова Г. Р.** Социальная психология: Учебник для среднего профессионального образования. 2-е изд. — М.: Юрайт, 2020. — 187 с.
12. **Межотраслевые методические рекомендации** по психофизиологическому профессиональному подбору на основные профессии промышленности и народного хозяйства. — М.: Имидж, 1993. — 164 с.

A. A. Ponomareva, Graduate Student, A. M. Tinus, Associate Professor,
e-mail: talex72@mail.ru, Y. N. Kanonin, Associate Professor, Emperor Alexander I
St. Petersburg State Transport University

Improving Labor Safety in Order to Select and Determine the Professional Suitability of Personnel, taking into Account the Psychophysical Characteristics of the Individual

The stages of professional selection of personnel are presented, focused on a set of qualities that characterize the characteristics of the work of people. The expediency of including additional testing, which characterizes the performance of employees at the stage of personnel selection, is considered.

Keywords: *traumatism, decline traumatism, safety, professional selection, professional suitability, psychophysiological tests.*

References

1. Titova T. S., Kopytenkova O. I., Efimova E. I. et al. Proizvodstvennaya bezopasnost: Ucheb. posobie. Moscow: Uchebno-methodichesky center po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte, 2016. 415 p.
2. Titova T. S., Kopytenkova O. I., Bystrov E. N. et al. Ohrana tryda na zheleznodorozhnom transporte. Moscow: OOO Izdatel'skiy Dom "Avtostraz", Izdatel'stvo "Marshrut", 2017. 483 p.
3. Panin A. V., Belonina A. A., Tinus A. M. Noviy podhod pri rabote s nesovershennoletnimi po obucheniyu bezopasnosti povedeniya na obectah zheleznodorozhnoy infrastrukey. *Bezopasnost giznedeyatel'nosti*. 2018. No. 10 (214). P. 3—11.
4. Panin A. V., Belonina A. A., Tinus A. M. Analiz travmatizma grazhdan na obectah zheleznodorozhnogo transporta. V sbornice: *Technosphernaya i ekologicheskaya bezopasnost na transporte (TEBTRANS-2018): materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferencii*, Sankt-Peterburg, 24—26 octyabrya, 2018. Sankt-Peterburg: Peterburgskiy Gosudarstvenniy Universitet putey soobsheniya Imperatora Alexandra I, 2018. P. 135—139.
5. *Statistika travmatizma po dannym Posstata*. URL: <https://rosinfostat.ru/travmatizm/> (date of access 11.05.2020).
6. *Proizvodstvennaya bezopasnost' i ohrana truda*. URL: <https://ar2018.rzd.ru/ru/sustainable-development/health-safety> (date of access 14.05.2020).
7. *Psychologicheskaya diagnostika*. Pod redakciej M. K. Akimovoj. Saint-Petersburg: Piter, 2005. 304 p.
8. Titova T. S., Akhtyamov R. G. *Systema upravleniya tehnosfernoy bezopasnostyu*. Saint-Petersburg: Peterburgskiy Gosudarstvenniy Universitet putey soobsheniya Imperatora Alexandra I, 2017. 23 p.
9. Chernova G. R., Solomina L. Yu., Härmäläinen V. I. *Psychologiya upravleniya: Uchebnoe posobie*. 2-e izdanie. Moscow: Yurayt, 2020. 193 p.
10. Yashchenko E. F., Kedich S. I., Sinelnikova E. S. *Obshaya psychologiya: Uchebnoe posobie*. Saint-Petersburg: Peterburgskiy Gosudarstvenniy Universitet putey soobsheniya Imperatora Alexandra I, 2020. 63 p.
11. Chernov G. R. *Social'naya psychologiya: uchebnic dlya srednego professional'nogo obrazovaniya*. 2-e izd. Moscow: Yurayt, 2020. 187 p.
12. *Mezhotraslevye metodicheskie rekomendacii po professional'nomu podbory na osnovnye professii promyshlennosti I narodnogo hozyaystva*. Moscow: Imidg, 1993. 164 p.



УДК 331.45, 614.8.027

Е. Е. Фомина, канд. техн. наук, доц., e-mail: ka72@bk.ru,

В. А. Козлова, магистрант, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина

Методы оценки степени вины участников несчастного случая на производстве

Представлен анализ нескольких методов оценки степени вины участников несчастного случая в процентах, произошедшего при проведении ремонтных работ в состоянии алкогольного опьянения на объекте добычи нефти и газа. Используются методы STEP и "Почему?". По результатам расчетов рассмотрен наиболее объективный и наглядный метод определения причин несчастного случая по уровням воздействия на его возникновение.

Ключевые слова: несчастный случай на производстве, степень вины участника несчастного случая, процент вины, причинный фактор, уровень воздействия причины

Введение

Согласно российскому законодательству [1] работодатель обязан проводить расследование несчастных случаев на производстве, формируя комиссию, которая устанавливает обстоятельства и причины несчастного случая, а также лиц, виновных в его возникновении. Выявление всего спектра причин несчастного случая [2] позволяет устранить выявленные нарушения и предотвратить возникновение аналогичных несчастных случаев и сократить количество пострадавших в них, что является одним из приоритетных направлений деятельности работодателя в области охраны труда. По данным Международной организации труда во всем мире ежегодно регистрируется примерно 340 млн несчастных случаев на производстве [3], а согласно данным Росстата в России только за 2019 г. число пострадавших при несчастных случаях на производстве составило 23,3 тыс. человек [4].

При определении причин несчастного случая и лиц, виновных в его возникновении, комиссией может быть установлено, что грубая неосторожность пострадавшего содействовала возникновению или увеличению вреда, причиненного его здоровью, и в этом случае должна быть установлена степень вины пострадавшего в процентах [1, 5]. Однако на данный момент в Российской Федерации не существует единой методики, устанавливающей порядок оценки степени вины пострадавшего в несчастном случае на производстве. В результате чего при определении степени вины пострадавшего возникают споры, что приводит к судебным разбирательствам [6].

В работе [7] предложен метод оценки степени вины пострадавшего, предполагающий разделение всех выявленных причинных факторов по трем уровням воздействия на возникновение несчастного случая, и с учетом этого приведена формула для расчета степени вины пострадавшего, в основе которой лежит "индекс ОВР" — усовершенствованный вариант индекса Элмери АНО "Институт безопасности труда" [8].

По аналогии с данным методом проведена оценка степени вины всех участников несчастного случая разными способами разделения причин несчастного случая по уровням воздействия на событие, в целях определения наиболее объективного и наглядного способа.

Z-уровней воздействия причин на возникновение несчастного случая

Существует более 60 методов анализа риска [9], в том числе применяемых при расследовании несчастных случаев. Одним из них является метод "Почему?", заключающийся в многократном повторении вопроса "Почему?" в целях установления связей между причинными факторами [9—12]. При определении причинных факторов несчастного случая данным методом все причинные факторы делятся на Z уровней, где Z равно числу итераций задаваемого вопроса. Причинные факторы, стоящие после первого "Почему?", будут причинными факторами первого уровня и их балльная оценка $k_1 = z$. Причинные факторы, стоящие после второго "Почему?" будут иметь балльную оценку $k_2 = z - 1$ и так далее до $k_z = 1$. Если какой-то причинный фактор находится в разных ветках на

разном уровне, то такому причинному фактору присваивается больший из уровней.

$$X_y = \frac{k_1 n_{1y} + k_2 n_{2y} + \dots + k_z n_{zy}}{\sum_{i=1}^z k_i n_i} 100 \%,$$

где X_y — степень вины участника несчастного случая, %; y — участник несчастного случая (пострадавший, работодатель и др.); k_1 — балльная оценка причинных факторов первого уровня ($k_1 = z$); n_{1y} — количество причинных факторов первого уровня участника несчастного случая; k_2 — балльная оценка причинных факторов второго уровня ($k_2 = z - 1$); n_{2y} — количество причинных факторов второго уровня участника несчастного случая; z — количество итераций (вопросов "Почему?"); k_z — балльная оценка причинных факторов z уровня ($k_z = 1$); n_{zy} — количество возможных причинных факторов z уровня участника несчастного случая.

В нефтегазовых компаниях с помощью методов анализа причин происшествий [9] все выявленные причинные факторы разделяются на три уровня воздействия: главный ($k_1 = 3$), второстепенный ($k_2 = 2$) и возможный ($k_3 = 1$). Используя формулу (1), получим трехуровневую балльную оценку [7].

В соответствии с актом о расследовании несчастного случая на производстве по форме Н-1 [1, 4] все выявленные причины несчастного случая делятся на основные (причины, которые непосредственно привели к возникновению несчастного случая) и сопутствующие (причины, которые при другом стечении обстоятельств не привели бы к несчастному случаю, но в данной ситуации приблизили его наступление) [13]. В этом случае получим двухуровневую балльную оценку.

Далее проведена оценка степени вины участников несчастного случая на примере конкретного несчастного случая на производстве.

Расчет степени вины участников несчастного случая на производстве

Проведем расчет степени вины участников несчастного случая с летальным исходом на производственной площадке добычи нефти при выполнении самовольных работ в состоянии алкогольного опьянения. Шкала событий несчастного случая (метод STEP) представлена на рис. 1, где полужирными контурами выделены опасные действия и условия. Анализ причин несчастного случая с помощью метода "Почему?" приведен на рис. 2.

Расчет степени вины всех участников данного несчастного случая с использованием двух уровней воздействия (основная и сопутствующая причины) проводится на основе акта расследования несчастного случая на производстве по форме Н-1 (табл. 1).

Согласно акту расследования несчастного случая на производстве комиссией установлено всего три причины несчастного случая и все они являются основными, поэтому балльную оценку для каждой причины примем равной 1 ($k_i = 1$).

По приведенной выше формуле рассчитываем степень вины пострадавшего (X_n) и мастера по ремонту скважин (X_m).

$$X_n = \frac{k_1 n_{1n}}{k_1 n_1} = \frac{1 \cdot 2}{1 \cdot 3} 100 \% = 67 \%,$$

$$X_m = \frac{k_1 n_{1m}}{k_1 n_1} = \frac{1 \cdot 1}{1 \cdot 3} 100 \% = 33 \%,$$

Таблица 1

Двухуровневая балльная оценка причин несчастного случая

Уровень воздействия причины на возникновение несчастного случая	Причина	Лица, допустившие нарушение	Балльная оценка
Основная причина	Неудовлетворительная организация работ. Отсутствие контроля за соблюдением работниками требований ОТ, трудовой и производственной дисциплины в течение рабочей смены. Допуск работника к работе в состоянии алкогольного опьянения	Мастер по ремонту скважин	1
	Нарушение работником трудового распорядка и дисциплины труда. Появление на рабочем месте в состоянии тяжелого алкогольного опьянения	Пострадавший	1
	Выполнение работ, не предусмотренных трудовыми обязанностями, и при отсутствии поручения руководителя в опасной зоне работающего станка-качалки	Пострадавший	1

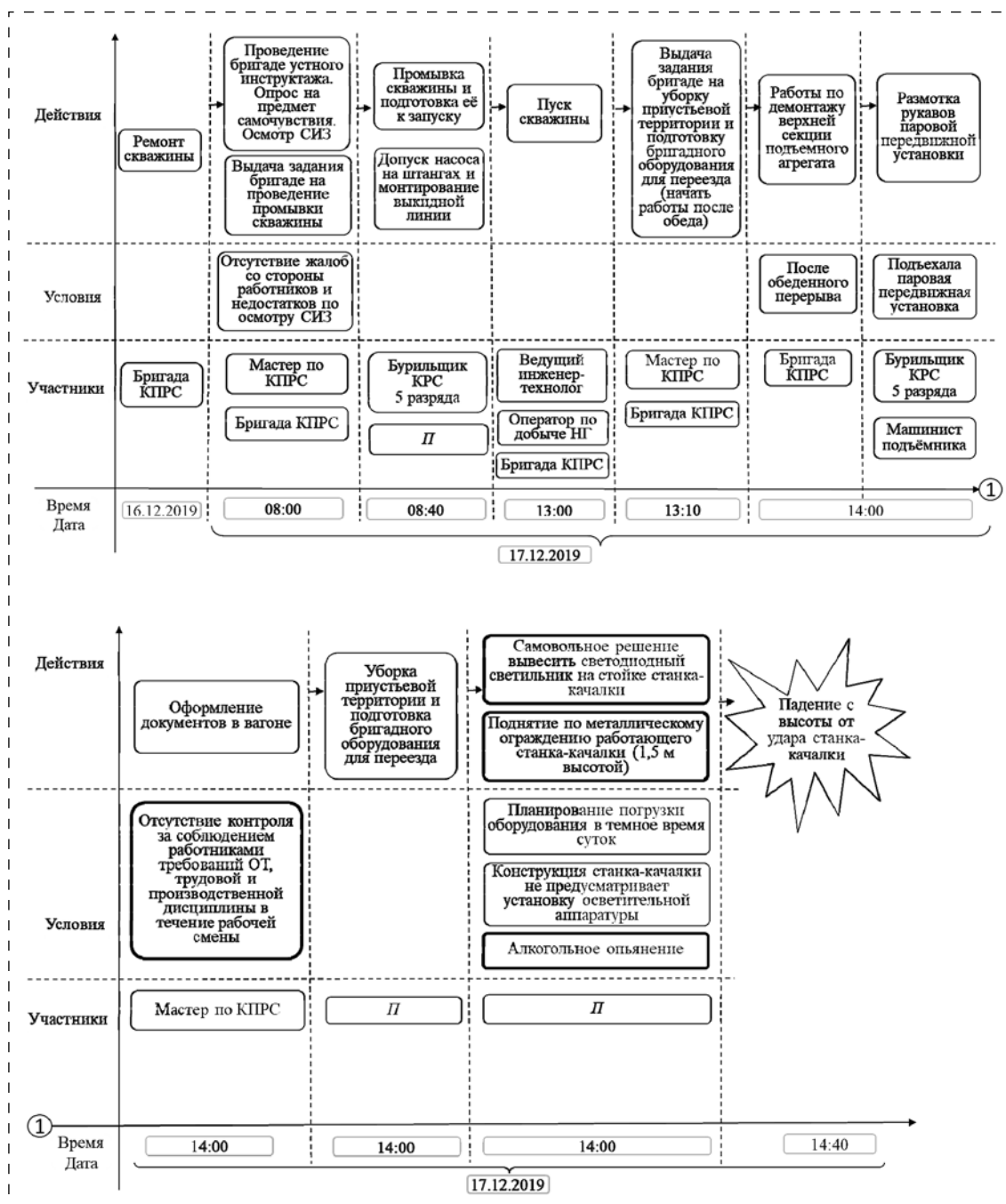


Рис. 1. Шкала событий несчастного случая. Сокращенные обозначения:

КИРС — капитальный, подземный ремонт скважин; СИЗ — средство индивидуальной защиты; КРС — капитальный ремонт скважин; П — пострадавший; НГ — нефть и газ; ОТ — охрана труда

Получаем, что степень вины пострадавшего и мастера по ремонту скважин составляет 67 % и 33 % соответственно. Согласно акту расследования несчастного случая на производстве, комиссией в ходе расследования определена степень вины пострадавшего в произошедшем несчастном случае в размере 70 %.

Проведем расчет степени вины пострадавшего, работодателя, иных лиц в данном несчастном

случае с использованием трех уровней воздействия причин.

Шкала событий (см. рис. 1) и метод "Почему?" (см. рис. 2) позволили определить более широкий спектр причин несчастного случая, чем указанные в акте Н-1. Причины разделены по трем уровням воздействия с учетом их балльной оценки (табл. 2). Уровни воздействия определяются экспертным методом.

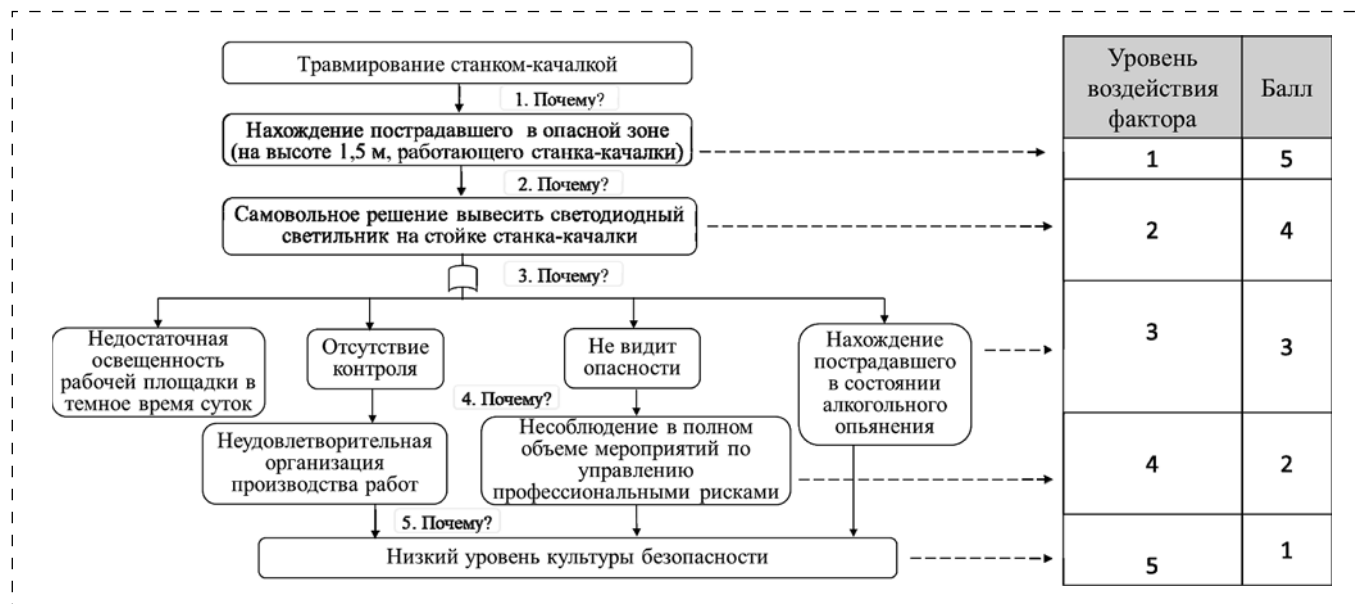


Рис. 2. Анализ причин несчастного случая с помощью метода "Почему?"

По формуле (1) рассчитываем степень вины пострадавшего ($X_{\text{п}}$) и мастера по ремонту скважин ($X_{\text{м}}$).

$$X_{\text{п}} = \frac{k_1 n_{1\text{п}} + k_2 n_{2\text{п}} + k_3 n_{3\text{п}}}{\sum_{i=1}^3 k_i n_i} 100\% = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3 + 1 \cdot 2}{3 \cdot 1 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot 4} 100\% = 73\%;$$

$$X_{\text{м}} = \frac{k_1 n_{1\text{м}} + k_2 n_{2\text{м}} + k_3 n_{3\text{м}}}{\sum_{i=1}^3 k_i n_i} 100\% = \frac{2 \cdot 1 + 1 \cdot 2}{3 \cdot 1 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot 4} 100\% = 27\%.$$

Получаем, что степень вины пострадавшего в данном несчастном случае составляет 73 %, степень вины мастера по ремонту скважин 27 %.

Таблица 2

Трехуровневая балльная оценка причин несчастного случая

Уровень воздействия причины на возникновение несчастного случая	Причина несчастного случая	Лица, допустившие нарушение	Балльная оценка k_i
Главный причинный фактор	Нахождение в опасной зоне работающего станка-качалки	Пострадавший	3
Второстепенный причинный фактор	Выполнение работ, не предусмотренных трудовыми обязанностями и при отсутствии поручения руководителя	Пострадавший	2
	Отсутствие контроля за соблюдением работниками требований ОТ, трудовой и производственной дисциплины в течение рабочей смены	Мастер по ремонту скважин	2
	Появление на рабочем месте в состоянии тяжелого алкогольного опьянения	Пострадавший	2
	Не видит опасности	Пострадавший	2
Возможный причинный фактор	Неудовлетворительная организация производства работ	Мастер по ремонту скважин	1
	Несоблюдение в полном объеме мероприятий по управлению профессиональными рисками	Пострадавший	1
	Низкий уровень культуры безопасности	Мастер по ремонту скважин	1
		Пострадавший	1



Таблица 3

Пятиуровневая балльная оценка причин несчастного случая

Уровень воздействия причины на возникновение несчастного случая	Причина несчастного случая	Лица, допустившие нарушение	Балльная оценка k_i
1 уровень	Нахождение в опасной зоне (на высоте 1,5 м, работающего станка-качалки)	Пострадавший	5
2 уровень	Самовольное решение вывесить светодиодный светильник на стойке станка-качалки	Пострадавший	4
3 уровень	Отсутствие контроля	Мастер по ремонту скважин	3
	Не видит опасности	Пострадавший	3
	Нахождение в состоянии алкогольного опьянения	Пострадавший	3
4 уровень	Неудовлетворительная организация производства работ	Мастер по ремонту скважин	2
	Несоблюдение в полном объеме мероприятий по управлению профессиональными рисками	Пострадавший	2
5 уровень	Низкий уровень культуры безопасности	Пострадавший	1
		Мастер по ремонту скважин	1

Проведем расчет степени вины пострадавшего, работодателя, иных лиц в данном несчастном случае с использованием Z-уровней воздействия причин. Число итераций вопросов "Почему?" составляет 5 (см. рис. 2), значит пять уровней воздействия причин. Выявленные причинные факторы, уровни их воздействия и их балльная оценка представлены в табл. 3.

По формуле (1) рассчитываем степень вины пострадавшего (X_{Π}) и мастера по ремонту скважин (X_M).

$$\begin{aligned}
 X_{\Pi} &= \frac{k_1 n_{1\Pi} + k_2 n_{2\Pi} + \dots + k_z n_{z\Pi}}{\sum_{i=1}^z k_i n_i} 100\% = \\
 &= \frac{5 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1}{5 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 2} 100\% = 75\%, \\
 X_M &= \frac{k_1 n_{1M} + k_2 n_{2M} + \dots + k_z n_{zM}}{\sum_{i=1}^z k_i n_i} 100\% = \\
 &= \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1}{5 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 2} 100\% = 25\%.
 \end{aligned}$$

Получаем, что степень вины пострадавшего в данном несчастном случае составляет 75 % и степень вины мастера по ремонту скважин 25 %.

Результаты, полученные в ходе анализа причин несчастного случая и расчета степени вины участников несчастного случая тремя способами, представлены в табл. 4.

Для рассматриваемого несчастного случая расчетная степень вины пострадавшего различными методами варьируется в диапазоне 67...75 % и зависит от количества выявленных причин

Таблица 4

Оценка степени вины участников несчастного случая

Количество уровней воздействия причин на возникновение несчастного случая	Степень вины пострадавшего, %	Степень вины мастера по ремонту скважин, %
Акт по форме Н-1	70	—
2	67	33
3	73	27
5	75	25

и установления их уровня воздействия в ходе расследования.

Из табл. 4 видно, что с помощью метода с двумя уровнями причинных факторов степень вины участников несчастного случая рассчитана достаточно условно, в то время как с помощью методов с тремя и Z уровнями получились более точные результаты. Однако методика расчета с Z уровнями гораздо сложнее.

Увеличение уровней воздействия причинных факторов, с одной стороны, дает возможность выявить более глубокие причины, с другой стороны, присваивая им балльную оценку, увеличивается степень субъективизма.

Заключение

Использование методов анализа риска в процедуре расследования несчастных случаев на производстве дает возможность работодателю выявить более глубокие причины происшествий и соответственно разработать более эффективные меры по их снижению и предупреждению.

Процент устанавливаемой вины пострадавшего работника законодательством не регламентируется и не ограничивается, то есть он может быть любым (от 0 до 100 %) и зависит лишь от решения лиц, проводивших расследование несчастного случая. Однако размер ежемесячных страховых выплат нельзя снизить более чем на 25 % [5, статья 14]. На практике при расследовании смертельных несчастных случаев на производстве степень вины пострадавшего не устанавливается и не отражается на предоставлении страховых выплат иждивенцам. Но при судебном разбирательстве определение степени вины каждого участника несчастного случая на производстве является важным моментом.

Список литературы

1. **Трудовой кодекс** Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 29.12.2020).
2. **Минько В. М.** Об авариях и других причинах несчастных случаев по данным современных экспертных исследований // *Безопасность жизнедеятельности*. — 2016. — № 2. — С. 3—9.
3. **International Labour Organization**. URL: <https://www.ilo.org/> (дата обращения 04.02.2021).
4. **Федеральная служба государственной статистики**. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 29.01.2021).

5. **Федеральный закон** "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" от 24.07.1998 № 125-ФЗ (ред. от 08.12.2020). URL: <https://clck.ru/Fd5gi> (дата обращения 03.02.2021).
6. **Судебные и нормативные акты** Российской Федерации. URL: <https://sudact.ru/> (дата обращения 03.02.2021).
7. **Фомина Е. Е., Глебова Е. В.** Факторы оценки степени вины пострадавшего при несчастном случае на производстве // *Безопасность труда в промышленности*. — 2020. — № 11. — С. 37—43.
8. **ГОСТ 12.0.010—2009** ССБТ. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080860> (дата обращения 01.09.2021).
9. **Wienen H. C. A., Bukhsh F. A., Vriezolk E., Wieringa R. J.** Accident Analysis Methods and Models — a Systematic Literature Review. 2017. URL: <https://clck.ru/TfYtx> (дата обращения 03.02.2021).
10. **СТО Газпром 18000.4-008—2019** Анализ коренных причин происшествий, порядок их установления и разработки мероприятий по предупреждению. URL: <https://clck.ru/T8huf> (дата обращения 03.02.2021).
11. **ГОСТ 58771—2019** Менеджмент риска. Технологии оценки риска. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200170253> (дата обращения 29.01.2021).
12. **Jean-Grégoire Manoukian.** "5 Why" Method to Identify Root Causes of Incidents. 2018. URL: <https://clck.ru/Tn4Tv> (дата обращения 04.02.2021).
13. **Журнал** "Справочник специалиста по охране труда" — информационный портал для руководителей и специалистов по охране труда. URL: <https://clck.ru/T9bo8> (дата обращения 04.02.2021).

Е. Е. Фомина, Associate Professor, e-mail: ka72@bk.ru, **В. А. Козлова**, Master Degree Student, Gubkin Russian State University of Oil and Gas

Methods for Degree Evaluation of Guilt of the Participants in the Industrial Accident

The analysis of several methods for assessing the degree of guilt of participants in an accident as a percentage that occurred during repair work under the influence of alcohol at an oil and gas production facility is presented. The STEP and "Why?" methods were used. Based on the results of calculations, the most objective and visual method for determining the causes of an accident by the levels of impact on its occurrence is determined.

Keywords: industrial accident, the degree of guilt of the accident participant, the percentage of guilt, the causal factor, the level of impact of the cause.

References

1. **Trudovoj kodeks** Rossijskoj Federacii ot 30.12.2001 No. 197-FZ (red. ot 29.12.2020).
2. **Min'ko V. M.** Ob avariayah i drugih prichinah neschastnyh sluchaev po dannym sovremennykh ekspertnykh issledovaniy. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2016. No. 2. P. 3—9.
3. **International Labour Organization**. URL: <https://www.ilo.org/> (date of access 04.02.2021).
4. **Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki**. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (date of access 29.01.2021).
5. **Federal'nyj zakon** "Ob obyazatel'nom social'nom strahovanii ot neschastnyh sluchaev na proizvodstve i professional'nyh zabolevanij" ot 24.07.1998 N 125-FZ (red. ot 08.12.2020). URL: <https://clck.ru/Fd5gi> (date of access 03.02.2021).
6. **Sudebnye i normativnye akty** Rossijskoj Federacii. URL: <https://sudact.ru/> (date of access 03.02.2021).
7. **Fomina E. E., Glebova E. V.** Faktory ocenki stepeni viny postradavshogo pri neschastnom sluchae na proizvodstve // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2020. No. 11. P. 37—43.

8. **GOST 12.0.010—2009** Occupational safety standards system. Occupational safety and health management systems. Hazard and risks identification and estimation of risks. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080860> (date of access 01.09.2021).
9. **СТО Газпром 18000.4-008—2019** Analiz korenykh prichin proisshествiy, poryadok ih ustanovleniya i razrabotki meropriyatij po preduprezhdeniyu. URL: <https://clck.ru/T8huf> (date of access 03.02.2021).
10. **Wienen H. C. A., Bukhsh F. A., Vriezolk E., Wieringa R. J.** Accident Analysis Methods and Models — a Systematic Literature Review. 2017. URL: <https://clck.ru/TfYth> (date of access 03.02.2021).
11. **GOST 58771—2019** Menedzhment riska. Tekhnologii ocenki riska. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200170253> (date of access 03.02.2021).
12. **Jean-Grégoire Manoukian.** "5 Why" Method to Identify Root Causes of Incidents. 2018. URL: <https://clck.ru/Tn4Tv> (date of access 04.02.2021).
13. **Zhurnal** "Spravochnik specialista po ohrane truda" — informacionnyj portal dlya rukovoditelej i specialistov po ohrane truda. URL: <https://clck.ru/T9bo8> (date of access 04.02.2021).

УДК 628.161.2:54.414

А. И. Фоменко, д-р техн. наук, проф., e-mail: fomenko1212@inbox.ru,
Вологодский государственный университет

Использование природных сорбентов для очистки питьевой воды

Приведены данные сравнительного анализа сорбционных свойств природных минералов доломита и шунгита по отношению к ионам железа. Показаны результаты исследования кинетики процесса и изотермы сорбции ионов железа из водных растворов. Установлено, что необработанные природные шунгиты имеют по сравнению с доломитом более низкую адсорбционную емкость, значительное повышение которой достигается при термической обработке. Отмечено, что эффективность извлечения ионов железа из раствора природным доломитом и термически модифицированным шунгитом практически совпадают.

Ключевые слова: природные минеральные сорбенты, доломит, шунгит, кинетика сорбции, сорбционные свойства, ионы железа

Введение

Природные сорбенты по сравнению с синтетическими сорбентами, получившими в настоящее время широкое применение в системах водоподготовки, характеризуются рядом ценных свойств. Природные сорбенты безвредны, позволяют получить воду гарантированного качества по содержанию нормируемых примесей, доступны в регионе потребления, производство их экологически безопасно и требует меньших материальных затрат. Из литературных источников известны работы по изучению сорбционных свойств природных карбонатных пород [1], высокодисперсных алюмосиликатов [2—4] и кремнеземов [5, 6], позволяющих обеспечить высокую эффективность очистки воды от нормируемых примесей. Основная практическая задача заключается в подборе местных материалов, имеющих невысокую стоимость, но дающих достаточную степень очистки по отношению к извлекаемым из воды примесям. По химическому составу вода, используемая для питьевых целей, в каждом регионе имеет свои особенности, обусловленные природными факторами данной географической зоны.

Рассмотрим сорбционные характеристики местных природных сорбентов различной химической природы (доломита и шунгита) по отношению к ионам железа. Повышенное содержание ионов железа в воде, используемой для питьевых

целей из подземных источников, характерно для многих регионов. Согласно данным работы [7], содержание ионов железа в подземных водах колеблется в пределах от 1,0 до 5 мг/дм³, в ряде источников достигает 20 мг/дм³, значительно превышая установленные нормативы для состава питьевой воды (ПДК_{Fe} = 0,3 мг/дм³). Проведенные ранее [8, 9] исследования химического состава грунтовых вод, используемых для нецентрализованного питьевого водоснабжения сельских поселений на территории юго-западной части Вологодской области, показали несоответствие по содержанию ионов железа требованиям гигиенических нормативов [10] для большинства исследованных проб. Частота встречаемости концентраций ионов железа (Fe²⁺, Fe³⁺), превышающих ПДК в пределах от 1,5 до 2,8 раз в анализируемых пробах воды, отобранных из 165 шахтных колодцев, составила более 83 %.

В природных водах ионы железа могут находиться в растворенной и коллоидной форме или в виде осадка в зависимости от степени окисления (Fe²⁺ или Fe³⁺), образуя различные соединения. Для очистки воды от соединений железа в зависимости от их концентрации и формы используют реагентные и безреагентные способы. Традиционные методы обезжелезивания воды основаны на окислении ионов двухвалентного железа до малорастворимых соединений трехвалентного железа с последующим их извлечением фильтрованием. Существующие технологии водоподготовки

подземных вод для питьевых целей с использованием традиционных методов обезжелезивания обсуждены во многих работах.

Реализация таких методов требует сложного аппаратного оформления, значительных расходов реагентов. При использовании сорбционного метода отпадает необходимость в стадии окисления и удаления осадка. Широкое применение в таком качестве для удаления из воды ионов железа получили фильтрующие каталитические материалы: Agua-mandix, Pyrolox, Гранаква и др. Однако возможность широкого применения таких материалов для использования в качестве сорбционно-фильтрующей загрузки для очистки от ионов железа питьевой воды в системах водоподготовки небольшой производительности, а также для децентрализованного питьевого водоснабжения, что характерно для малочисленных населенных пунктов, ограничена их высокой стоимостью и малой доступностью.

Как альтернативный фильтрующий материал, с использованием которого можно решить проблему обеспечения малочисленных населенных пунктов во многих проблемных регионах питьевой водой с нормированными ГОСТ качественными характеристиками, могут рассматриваться природные минеральные сорбенты. Природные доломит и шунгит представляют собой сравнительно дешевые и доступные горные породы, которые находят все более широкое применение на практике в фильтрующих системах в водоподготовке и водоочистке.

Природный доломит — осадочная карбонатная горная порода, преимущественно состоящая из порообразующего минерала класса карбонатов — доломита $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Содержание карбоната магния в доломите не менее 45 мас. %, при меньшем его содержании породы называются доломитизированными известняками. Согласно данным работ [11, 12] доломит обладает значительной поглотительной способностью по отношению к ионам железа без всякой дополнительной обработки. На основе природного доломита изготавливают фильтрующие материалы, которые обладают способностью корректировать pH очищаемой воды.

Шунгит — горная порода осадочного происхождения, по структуре представляющая собой природный углерод-углеродный композит, в котором замкнутые многослойные углеродные частицы объединены посредством менее организованного мостикового углерода, и минералы (кварц, полевошпат, алюмосиликаты, карбонаты, пириты). Шунгитовые породы различных месторождений подразделяются по содержанию шунгитового углерода и по составу минеральной

основы (алюмосиликатной, силикатной, карбонатной). Особенности шунгита являются химическая и каталитическая активность, возможность использования в процессах очистки и обезвреживания жидких и газообразных продуктов, бактерицидные свойства [13, 14]. В работах [15, 16] описаны теоретические аспекты сорбции шунгитом различных по природе неорганических и органических веществ из водных растворов.

Целью данного исследования является определение возможности использования природных доломита и шунгита для очистки от ионов железа питьевой воды из подземных источников в системах водоподготовки небольшой производительности, а также для децентрализованного питьевого водоснабжения малочисленных населенных пунктов.

Материалы и методы исследования

В эксперименте использованы образцы доломита и шунгита, отобранные из массива горных пород на территории Вытегорского района Вологодской области. Подготовка образцов к эксперименту включала измельчение дроблением, рассев по классам крупности ситовым методом. Для сорбции использовали фракцию с размером зерен 0,25...0,5 мм. Подготовленные по гранулометрическому составу природные образцы пород доломита и шунгита высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. В дальнейшем образцы шунгитового материала подвергались термообработке при температуре 380 °C в течение 1 ч.

Эффективность использования данных сорбентов для очистки оценивали на модельных водных растворах, приготовленных на дистиллированной воде с содержанием ионов железа (III) различной концентрации, при соотношении твердой (Т) и жидкой (Ж) фаз 1:100. Сорбцию ионов железа изучали в статическом режиме при температуре 25 °C. Процесс сорбции проводили путем смешивания сорбента с исследуемой водой, выдерживая в течение заданного времени, отделения раствора от твердой фазы фильтрованием. Использовали растворы в интервале концентраций ионов железа от 0,5 до 4 мг/дм³.

Для исследования кинетики процесса сорбции использовали модельные растворы. Модельные растворы готовили с фиксированной концентрацией ионов железа 2 мг/дм³ и 4 мг/дм³. Измерения pH растворов проводили с использованием иономера И-130М. Концентрацию ионов железа в растворе до и после сорбции определяли



фотометрическим методом на фотоколориметре КФК-2МП по стандартным методикам при длине волны $\lambda = 540$ нм с использованием кюветы с толщиной поглощающего свет слоя 30 мм.

Степень извлечения ионов железа из модельных водных растворов α , %, и сорбционную емкость сорбента Γ , мг/г, рассчитывали по разности концентраций начальной C_0 и остаточной (равновесной) $C_{\text{равн}}$ в каждый данный момент времени по формулам:

$$\alpha = \frac{(C_0 - C_{\text{равн}})}{C_0} 100,$$

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_{\text{равн}}) V}{m_{\text{сорбента}}},$$

где C_0 и $C_{\text{равн}}$ — начальная и равновесная концентрация ионов железа, мг/дм³; V — объем исследуемого раствора, дм³; $m_{\text{сорбента}}$ — масса навески сорбента, г.

Результаты и их анализ

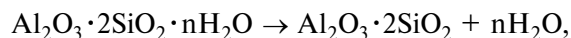
Кинетические кривые адсорбции ионов железа из модельных растворов с фиксированной концентрацией экспериментальными образцами природных доломита и шунгита представлены на рис. 1.

Построенные зависимости изменения концентрации остаточного содержания ионов железа в растворе от продолжительности контакта τ раствора с сорбентом в координатах показывают, что характер сорбционной активности доломита и шунгита идентичен. Наибольшие изменения в значениях остаточной концентрации ионов железа наблюдаются на начальных стадиях адсорбции

в небольшом интервале первых 15 мин контакта раствора с сорбентами. Из кинетического эксперимента определено, что продолжительность адсорбции в течение 90 мин является достаточной для установления равновесия в системе. Дальнейшее увеличение продолжительности контакта раствора с сорбентами не приводит к существенному изменению концентрации определяемых ионов железа в растворе.

Из приведенных зависимостей равновесной (остаточной) концентрации ионов железа от продолжительности контакта раствора с сорбентами (см. рис. 1) видно, что в условиях эксперимента природный шунгит по сравнению с доломитом имеет более низкую адсорбционную емкость по отношению к ионам железа. Имеются сведения [14, 17], что необработанные природные шунгиты имеют низкую адсорбционную емкость. По данным работы [17] значительное повышение адсорбционной емкости природного шунгита достигается при термической обработке на воздухе при температуре 500 °С в течение 1 ч. В результате такой термообработки содержание углерода в образце уменьшилось на 10 %, а его удельная поверхность увеличилась с 2 до 4 м²/г.

Известно, что при повышении температуры до 500...600 °С происходит выгорание органических веществ, дегидратация водных алюмосиликатов



а повышение температуры до 800 °С приводит к полному выгоранию всего углерода. С учетом известных данных о термостойкости материала далее исследования проводили с образцом шунгита, термически обработанным при температуре 380 °С в течение 1 ч, что обеспечивало удаление гигроскопической

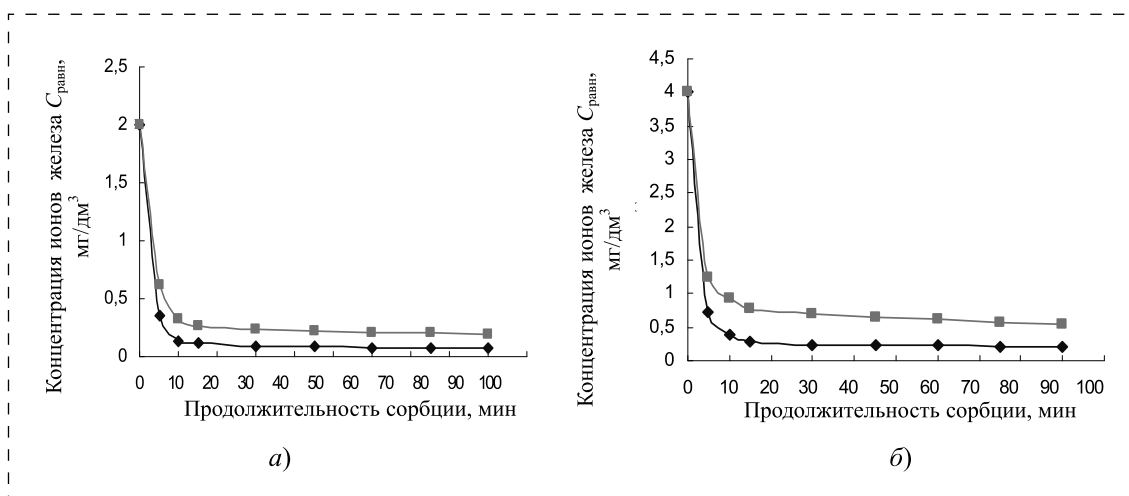


Рис. 1. Кинетика сорбции ионов железа из водного раствора в зависимости от исходной концентрации: а — 2 мг/дм³; б — 4 мг/дм³ и вида сорбента: ♦ — доломит; ■ — шунгит природный

и физически связанной воды из структуры минерала и способствовало увеличению объема пор и удельной поверхности. Потеря массы образца шунгита в таком режиме термообработки составила 1,98 мас. %.

Изучение равновесия адсорбции ионов железа из растворов проводили в интервале концентраций 0,5...4 мг/дм³. Продолжительность адсорбции, необходимую для установления сорбционного равновесия между сорбентом и извлекаемыми ионами железа, выдерживали в течение 90 мин. В условиях установившегося равновесия в системе рассчитывали равновесную сорбционную емкость сорбента $\Gamma_{\text{равн}}$ по иону железа. По результатам исследований установлено, что степень извлечения ионов железа зависит от исходной концентрации раствора. В исследованном диапазоне концентраций степень извлечения ионов железа при использовании доломита и термически модифицированного шунгита составляла более 90 %, остаточная концентрация ионов железа не превышала ПДК. С использованием необработанного природного шунгита не превышение ПДК по содержанию ионов железа в растворе установлено при их содержании в очищаемой воде в пределах концентраций до 2 мг/дм³ (рис. 2).

Изотермы сорбции, построенные в координатах $\Gamma = f(C_0)$ методом переменных концентраций определяемого иона, представлены на рис. 3.

Полученные зависимости позволяют предположить, что извлечение ионов железа из раствора природным доломитом и термически модифицированным шунгитом практически совпадают. Значения величины предельной сорбционной емкости исследованными образцами природных материалов

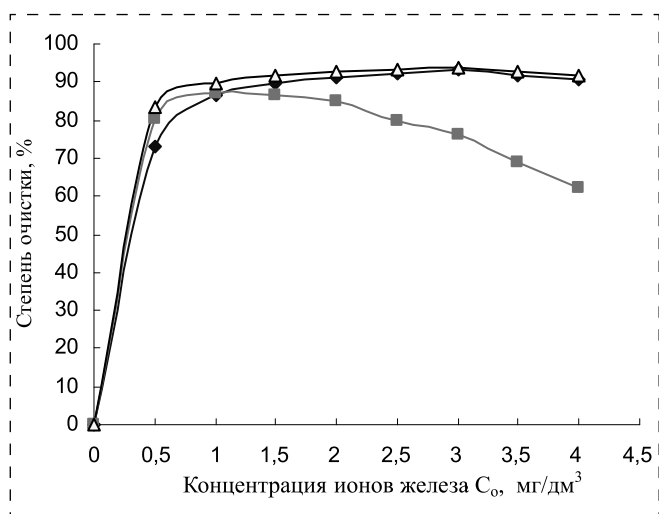


Рис. 2. Зависимость степени очистки α , %, от исходной концентрации ионов железа модельного раствора и вида сорбента: ♦ — доломит; ■ — шунгит природный; Δ — шунгит термически модифицированный

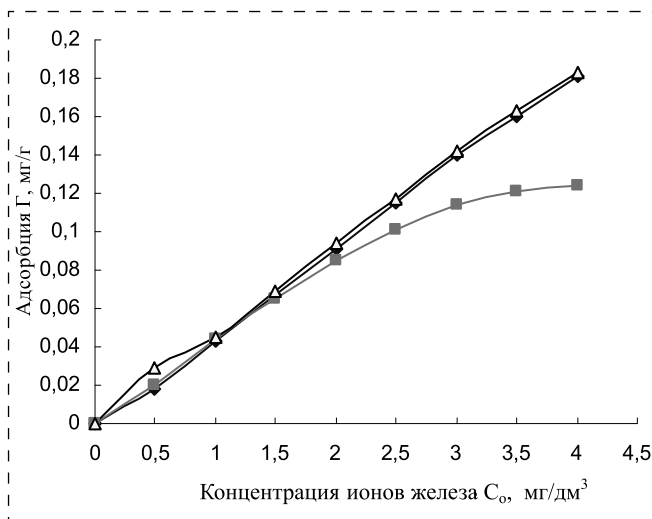


Рис. 3. Изотерма сорбции ионов железа из раствора доломитом (♦), шунгитом природным (■), шунгитом термически модифицированным (Δ)

по отношению к ионам железа определены при графическом построении зависимости в координатах с использованием уравнения прямой $1/\Gamma = f(1/C_{\text{равн}})$. Значения предельной сорбционной емкости природного доломита, шунгита природного и термически модифицированного по отношению к ионам железа, полученные в условиях эксперимента, составили 0,298 мг/г, 0,111 мг/г и 0,323 мг/г соответственно.

Другим имеющим практическое значение показателем эффективности извлечения ионов железа из водного раствора в процессе сорбции можно рассматривать отношение $C_0/C_{\text{равн}}$, показывающее во сколько раз снижается концентрация примеси при очистке. На рис. 4 представлена диаграмма зависимости параметра $C_0/C_{\text{равн}}$ от исходной концентрации ионов железа в очищаемой воде и вида сорбента. По этому показателю можно сделать вывод, что термически модифицированный шунгит обладает значительно более высокой сорбционной способностью по отношению к ионам железа по сравнению с необработанным природным шунгитом. Для исследованных природных материалов содержание ионов железа в воде в рассматриваемом диапазоне исходных концентраций в результате сорбции термически модифицированным шунгитом снижается в 6,1—15,8 раз, тогда как для природного шунгита этот показатель определялся в пределах 2,6—7,3 раз. В опытах с природным доломитом снижение концентрации ионов железа в исследованном диапазоне исходных концентраций определяется значениями 3,7—14,6 раз, близкими по этому показателю к термически модифицированному шунгиту.

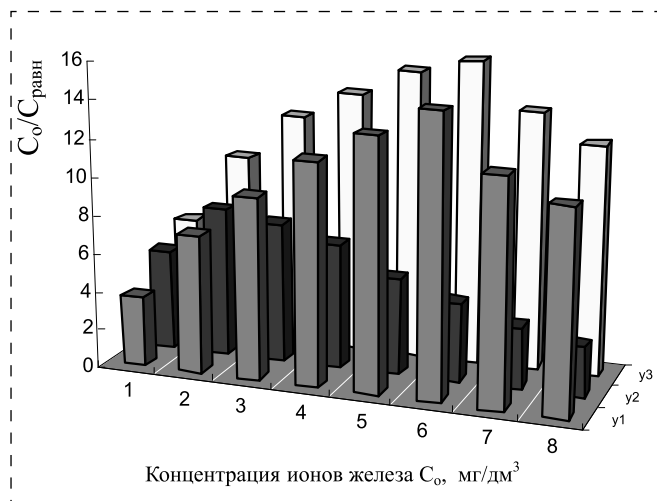


Рис. 4. Зависимость $C_0/C_{равн}$ от исходной концентрации ионов железа модельного раствора и вида сорбента:
 y_1 — доломит; y_2 — шунгит природный; y_3 — шунгит термически модифицированный

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что методами адсорбции с использованием природных минералов доломита и шунгита, доступных для многих регионов, представляется возможность снизить концентрацию ионов железа в природной воде до значений, ниже установленных нормативными требованиями уровней. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что для удаления ионов железа из воды доломит без дополнительной обработки характеризуется достаточной сорбционной эффективностью, соизмеримой по аналогичным показателям термически модифицированного шунгита.

Выводы

Экспериментальные исследования показали, что природные доломит и шунгит являются эффективными сорбентами по отношению к ионам железа. Степень извлечения ионов железа из водных растворов с концентрацией катионов до 4 мг/дм³ доломитом и термически модифицированным шунгитом достигает более 90 %.

По величине адсорбционной способности по отношению к ионам железа природный доломит и термически модифицированный шунгит характеризуются близкими значениями.

Установлено, что адсорбция ионов железа на исследованных природных сорбентах доломите и шунгите происходит преимущественно за первые 15 мин. Остаточная концентрация определяемых ионов железа не превышает установленные нормативы СанПиН 2.1.4.1075—02.

Список литературы

1. Мильвит Н. В., Шашкова И. Л., Ратько А. И., Вечер В. А. Сорбционные свойства карбонатсодержащих трепелов // Журнал прикладной химии. — 2007. — Т. 80. — № 11. — С. 1819—1825.
2. Свиридов А. В., Ганебных Е. В., Елизаров В. А. Аллюмосиликатные сорбенты в технологиях очистки воды // Экология и промышленность России. — 2009. — № 11. — С. 28—30.
3. Рамазанов А. Ш., Есмаил Г. К., Свешникова Д. А. Кинетика и термодинамика сорбции ионов тяжелых металлов на монтмориллонит содержащей глине // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2015. — Т. 15. — № 5. — С. 672—682.
4. Кошелев А. В., Веденеева Н. В., Заматырина В. А., Тихомирова Е. И., Скиданов Е. В. Разработка технологии получения сорбентов на основе бентонитовых глин для систем очистки воды // Вода и экология: проблемы и решения. — 2018. — № 2 (74). — С. 32—39. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.2.32-39.
5. Кузьмина Р. И., Кондратова А. В. Динамика и кинетика процесса адсорбции ионов аммония на опоке // Химия и химическая технология. — 2008. — Т. 51. — № 10. — С. 72—74.
6. Барчуков В. В., Сумароков М. Ю., Бузаева М. В., Климов Е. С. Модифицирование природного диатомита для придания минералу сорбционных свойств // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 10 (178). — С. 31—36.
7. Гасанов М. А. Адсорбционная очистка артезианской воды от железа и марганца с использованием воздействий электрических зарядов // Ползуновский альманах. — 2004. — № 4. — С. 221—223.
8. Фоменко А. И. Оценка качества воды в источниках нецентрализованного водоснабжения на территории промышленного региона // Вода: химия и экология. — 2012. — № 2. — С. 26—32.
9. Фоменко А. И., Коснырева Н. А. Безопасность нецентрализованного водоснабжения на территориях в зонах техногенного загрязнения // Безопасность жизнедеятельности. — 2011. — № 7 (127). — С. 36—42.
10. СанПиН 2.1.4.1175—02 Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. — 32 с. (Издание официальное).
11. Нефедьева Т. А., Калюкова Е. Н., Благовещенская Н. В. Сравнение сорбционных свойств нативного и термически модифицированного доломита по отношению к ионам железа // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2017. — Т. 17. — № 3. — С. 429—435.
12. Калюкова Е. Н., Иванская Н. Н. Исследование адсорбционных свойств некоторых природных сорбентов по отношению к катионам железа (III) // Вестник Башкирского университета. — 2011. — Т. 16. — № 11. — С. 25—28.
13. Голуб С. Л., Ульянов А. В., Буряк А. К., Луговская И. Г., Ануфриева С. И., Дубинчук В. Т. Состав и сорбционные свойства шунгитового материала // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2006. — Т. 6. — № 5. — С. 748—763.
14. Ефремова С. В. Очистка воды от различных загрязнителей шунгитовым сорбентом и биосорбентами, полученными на его основе // Журнал прикладной химии. — 2006. — Т. 79. — № 3. — С. 404—409.
15. Мосин О. В. Новый природный минерал шунгит в водоподготовке // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. — 2012. — № 3. — С. 26—36.
16. Игнатов И., Мосин О. В. Состав и структурные свойства природного фуллеренсодержащего минерала шунгита. Математическая модель взаимодействия шунгита с молекулами воды // Интернет-журнал "Науковедение".

A. I. Fomenko, Professor, e-mail: fomenko1212@inbox.ru, Vologda State University

Use of Natural Sorbents for Purification of Drinking Water

The work studies the sorption properties of natural mineral rocks — dolomite and shungite as alternatives to synthetic filter materials, with the use of which it is possible to solve the problem of providing small populated areas in many problem regions with drinking water with quality characteristics in accordance with the requirements of the established standards.

To substantiate the possibility of using dolomite and shungite as a sorbent, the kinetics of the process and their sorption capacity in relation to iron ions, the increased content of which in water used for drinking from underground sources, is typical for many regions, have been determined. It has been established that untreated natural shungite has a lower adsorption capacity compared to dolomite, a significant increase in which is achieved during heat treatment. It is shown that the efficiency of extraction of iron ions from solution by natural dolomite and thermally modified shungite practically coincides. The degree of extraction of iron ions from aqueous solutions with a cation concentration of up to 4 mg/dm³ with dolomite and thermally modified shungite reaches more than 90 %.

It was found that the adsorption of iron ions on the studied natural sorbents dolomite and shungite occurs mainly in the first 15 minutes. The residual concentration of the determined iron ions does not exceed the established standards.

Keywords: natural mineral sorbents, dolomite, shungite, sorption kinetics, sorption properties, iron ions

References

1. Mil'vit N. V., Shashkova I. L., Rat'ko A. I., Vecher V. A. Sorbtsionnye svoystva karbonatsoderzhashchikh trepelov. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2007. Vol. 80. No. 11. P. 1819—1825.
2. Sviridov A. V., Ganebnikh E. V., Elizarov V. A. Alyumosilikatnye sorbenty v tekhnologiyakh ochistki vody. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2009. No. 11. P. 28—30.
3. Ramazanov A. Sh., Esmail G. K., Sveshnikova D. A. Kinetika i ter-modinamika sorbtzii ionov tyazhelykh metallov na montmorillonit soder-zhashchei gline. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2015. Vol. 15. No. 5. P. 672—682.
4. Koshelev A. V., Vedeneva N. V., Zamatyryna V. A., Tikhomirova E. I., Skidanov E. V. Razrabotka tekhnologii polucheniya sorbentov na osnove bento-nitovykh glin dlya sistem ochistki vody. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2018. No. 2 (74). P. 32—39. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.2.32-39.
5. Kuz'mina R. I., Kondraova A. V. Dinamika i kinetika protsessy adsorbtsii ionov ammoniya na opoke // *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2008. Vol. 51. No. 10. P. 72—74.
6. Barchukov V. V., Sumarokov M. Yu., Buzaeva M. V., Klimov E. S. Modifitsirovanie prirodnogo diatomita dlya pridaniya mineralu sorbtsionnykh svoystv. *Bezopasnost' zhiznedeatelnosti*. 2015. No. 10 (178). P. 31—36.
7. Gasanov M. A. Adsorbtsionnaya ochistka artEZianskoi vody ot zheleza i margantsa s ispol'zovaniem vozdeystviya elektricheskikh zaryadov. *Polzunovskii al'manakh*. 2004. No. 4. P. 221—223.
8. Fomenko A. I. Otsenka kachestva vody v istochnikakh netsentralizovannogo vodosnabzheniya na territorii promyshlennogo regiona. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2012. No. 2. P. 26—32.
9. Fomenko A. I., Kosnyreva N. A. Bezopasnost' netsentralizovannogo vodosnabzheniya na territoriyakh v zonakh tekhnogenogo zagryazneniya. *Bezopasnost' zhiznedeatelnosti*. 2011. No. 7 (127). P. 36—42.
10. SanPiN 2.1.4.1175—02. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody netsentralizovannogo vodosnabzheniya. Sanitarnaya okhrana istochnikov. — Moscow: Federal'nyi tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2003. — 32 p. (Izдание ofitsial'noe).
11. Nefed'eva T. A., Kalyukova E. N., Blagoveshchenskaya N. V. Sravnenie sorbtsionnykh svoystv nativnogo i termicheskii modifitsirovannogo dolo-mita po otnosheniyu k ionam zheleza. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2017. Vol. 17. No. 3. P. 429—435.
12. Kalyukova E. N., Ivanskaya N. N. Issledovanie adsorbtsionnykh svoystv nekotorykh prirodnnykh sorbentov po otnosheniyu k kationam zheleza (III.) *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2011. Vol. 16. No. 11. P. 25—28.
13. Golub S. L., Ul'yanov A. V., Buryak A. K., Lugovskaya I. G., Anufrieva S. I., Dubinchuk V. T. Costav i sorbtsionnye svoystva shungitovogo materiala. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2006. Vol. 6. No. 5. P. 748—763.
14. Efremova S. V. Ochistka vody ot razlichnykh zagryaznitelei shungi-tovym sorbentom i biosorbentami, poluchennymi na ego osnove. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2006. Vol. 79. No. 3. P. 404—409.
15. Mosin O. V. Novyi prirodnyi mineral shungit v vodopodgotovke. *Santekhnika. Otoplenie. Konditsionirovanie*. 2012. No. 3. P. 26—36.
16. Ignatov I., Mosin O. V. Sostav i strukturnye svoystva prirodnogo fullerensoderzhashchego minerala shungita. Matematicheskaya model' vzaimodeystviya shungita s molekulami vody. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*. 2014. Vol. 2. Mart—Aprel': <http://naukovedenie.ru/12TVN214>.
17. Polunina I. A., Goncharova I. S., Vysotskii V. V., Petukhova G. A., Polunin K. E., Ul'yanov A. V., Buryak A. K. Modifitsirovanie shungitovogo materiala dlya primeneniya v sorbtzii i membrannoi tekhnologii. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2016. Vol. 16. No. 2. P. 234—240.



УДК 621.184.82:621.182:504.5

В. Д. Катин, д-р техн. наук, проф.¹, проф. кафедры²,

Г. Г. Медведева², канд. техн. наук, доц. кафедры,

А. А. Журавлев¹, асп., e-mail: gorosor@yandex.ru

¹ Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск

² Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Технические решения по созданию новых конструкций циклонов-золоуловителей для котельных предприятий железнодорожного транспорта

Рассмотрены и обобщены современные подходы к решению актуальной научно-производственной проблемы защиты атмосферного воздуха от загрязнения твердыми частицами, включая золы и сажистые, путем применения новых высокоэффективных конструкций циклонов в отопительных котельных на предприятиях железнодорожного транспорта. Определены и показаны приоритетные направления повышения экологической эффективности эксплуатации действующих на производстве золоулавливающих установок циклонного типа, связанные с повышением степени очистки уходящих дымовых газов, выбрасываемых из котельных с продуктами сгорания жидкого и твердого топлива. Разработаны и рекомендованы к практическому применению в котельных усовершенствованные конструкции циклонов-золоуловителей, отличающиеся от действующих очистных установок новизной и оригинальностью их устройства. Приведены подробные описания предлагаемых к внедрению золоулавливающих устройств и показаны их технические преимущества. Разработаны рекомендации по эффективной эксплуатации новых циклонных аппаратов, защищенных патентами на полезные модели.

Ключевые слова: угольные и мазутные котельные, предприятия железнодорожного транспорта, золоуловители циклонного типа, очистка дымовых газов, твердые частицы, атмосферный воздух, экологическая эффективность

Введение

Как показывают результаты выполненных авторами исследований эффективности работы золо- и пылеуловителей, установленных в мазутных и угольных котельных на предприятиях железнодорожного транспорта, они до настоящего времени характеризуются недостаточной экологической безопасностью эксплуатации [1–4]. Тем самым действующие эффективные конструкции циклоно-золоуловителей не отвечают современным экологическим требованиям, предъявляемым к техническим устройствам. В связи с этим в атмосферный воздух городов от стационарных источников загрязнения поступает при сжигании твердого и жидкого топлива более 6 млн т в год твердых частиц (сажи и золы) [2, 3].

В современных условиях защита воздушного бассейна от загрязнения вредными выбросами котельных становится актуальной научно-технической проблемой. В России для решения

неблагоприятной экологической ситуации в настоящее время действует Федеральный проект "Чистый воздух", согласно которому по данным Росприроднадзора к 2024 г. совокупный объем выбросов вредных веществ в атмосферу должен снизиться на 22 % по отношению к уровню 2017 г. [2]. Следует также отметить, что Президентом РФ в текущем году дано поручение Правительству России разработать Федеральную научно-техническую программу в области экологии и климата на 2021–2030 гг., направленную на создание экологически безопасной и комфортной среды обитания человека.

В настоящее время для повышения эффективности природоохранной деятельности предприятий железнодорожного транспорта разработана Экологическая стратегия ОАО "РЖД" на период до 2015 г. и на перспективу до 2030 г., которая определяет направления решения проблемы загрязнения атмосферного воздуха от стационарных источников выбросов путем модернизации

действующего пылезолоулавливающего оборудования, а также внедрения новых технологий очистки дымовых газов от твердых частиц [5].

**Обоснование и разработка новых
подходов к проектированию и созданию
высокоэффективных циклонов-золоуловителей
и направления усовершенствования
их конструкции**

По данным работ [6, 7] на предприятиях железнодорожного транспорта эксплуатируется около 5 тыс. установок золо- и пылеулавливания. При этом для улавливания твердых частиц используются в основном циклоны-золоуловители (около 90 % всех агрегатов), работающие по методу сухой очистки. По данным работы [7] циклонными золоуловителями оснащены на предприятиях ОАО "РЖД" отопительные котельные, работающие на угле и мазуте, в целях очистки дымовых газов от сажи и золы.

Наибольшее распространение получили циклоны конструкции МИОТа, ЛИОТа, СИОТа, ВЦНИИОТа и циклоны типа ЦН — циклоны НИИОГаз. Результаты сравнительных испытаний циклонов [8] позволяют сделать вывод, что по комплексу параметров более предпочтительными для использования в промышленности считаются циклоны группы ЦН.

По данным работы [1] известно, что опыт эксплуатации золоулавливающих устройств в котельных предприятий железнодорожного транспорта показывает, что в большинстве случаев поступающие на очистку пылегазовые потоки имеют значительные объемы, поэтому требуется установка аппаратов очистки с большим поперечным сечением. Известно также, что при увеличении поперечного размера устройства его эффективность уменьшается и расчет промышленных аппаратов на основе зависимостей, полученных при испытаниях его лабораторной модели, неправилен [1]. По тем же данным для перехода от исследованных в лабораторных условиях опытных конструкций пылеулавливающих устройств к аппаратам промышленных размеров применяют теорию подобия, а также математическое и гидродинамическое моделирование.

Кроме того, в реальных эксплуатационных условиях нередко наблюдается низкая степень очистки выбрасываемых зологазовых потоков, что связано с конструктивными недостатками отдельных элементов циклонов-золоуловителей. Ниже рассматриваются рекомендации и технические решения по усовершенствованию конструкций

действующих на предприятиях ОАО "РЖД" золоочистных аппаратов и созданию принципиально новых циклонов.

1. В целях повышения эффективности работы циклона инерционного типа и улучшения очистки газов от золовых и пылевых частиц предлагается в верхней части выхлопной трубы циклона устанавливать набор фильтров в виде сеток с разными размерами ячеек.

2. Кроме того, рекомендуется установить в фильтре-циклоне набор сетчатых фильтров внутри выхлопной трубы подвижно на фланце, который при помощи пружин связан с верхней частью трубы и дополнительно фильтр-циклон дооборудовать вибратором кулачкового типа, что позволит очищать от загрязнений набор фильтров без демонтажа их в процессе работы за счет вибрации сеток и их самоочищения.

3. В аппаратах циклонного типа предлагается дополнительно снабдить циклон пластиной, выполненной из металла с шероховатой поверхностью, и установить ее на внутренней поверхности стенки цилиндрического корпуса в месте подачи пылегазового потока, что существенно повысит эффективность золопылеочистки.

4. В конструкциях группового циклона рекомендуется коллектор расположить в верхней части одного из циклонных элементов и выполнить его в виде цилиндра, ступенчато уменьшающимся в диаметре по высоте с тангенциальным подводом газа. При этом предлагается каждую ступень снабдить патрубками для отвода части газа в циклонные элементы, расположенные тангенциально. Кроме того, предлагается в месте выброса зологазового потока установить дополнительный фильтр для очистки мелкодисперсной фазы золы, что существенно повысит экологическую эффективность циклона.

Кроме перечисленных выше одним из приоритетных направлений повышения экологической эффективности эксплуатации на предприятиях ОАО "РЖД" мазутных и угольных котельных, работающих без очистных установок, является дооборудование их модернизированными и новыми конструкциями циклонов-золоуловителей, защищенных авторскими патентами [9, 10].

**Фильтр-циклон для очистки газов новой
конструкции (патент № 204684)**

Данный циклон является усовершенствованной конструкцией известного фильтра-циклона для очистки газов, защищенного ранее патентом № 56221 [11], который состоит из цилиндрического

корпуса с коническим дном, снабженным штуцером для удаления пыли, штуцером для подачи запыленного газового потока, расположенного тангенциально к корпусу, крышки, выхлопной трубы, служащей для отвода очищенного газа, в верхней части которой дополнительно установлен набор фильтров в виде сеток с разными размерами ячеек.

Недостатком известного фильтра-циклона [11] является то, что расположенные в верхней части выхлопной трубы фильтры в виде сеток с разными размерами ячеек при эксплуатации выходят из строя из-за их быстрого забивания золовыми или пылевыми частицами, а для очистки сеток требуется их демонтаж, что приводит к уменьшению производительности фильтра-циклона и снижению эффективности улавливания из зологазового потока мелкодисперсных частиц. Была поставлена задача создать новую конструкцию фильтра-циклона, который позволял бы повысить надежность его работы и обеспечить очистку зологазового потока от пыли крупной, средней и мелкой дисперсной фазы. В итоге существенно повысится экологическая эффективность эксплуатации нового фильтра-циклона в целом.

Для решения этой задачи в известном устройстве [11] в выхлопной трубе были установлены равномерно по ее высоте фильтры в виде сеток с разными размерами ячеек: в нижней части трубы установлена сетка для улавливания крупнодисперсных частиц, в средней части трубы — сетка для улавливания среднедисперсных частиц и в верхней части трубы — сетка для улавливания мелкодисперсных частиц золы.

Признаком, отличающим новый фильтр-циклон от известного [11], является равномерное расположение фильтров по высоте выхлопной трубы в нижней, средней и верхней ее части (рис. 1).

Благодаря такому размещению фильтров обеспечивается надежность работы золоуловителя и его экологическая эффективность эксплуатации. Усовершенствованный циклон работает следующим образом. Загрязненные золой дымовые газы по штуцеру 5 попадают внутрь корпуса 1 фильтра-циклона и движутся спирально вниз вокруг выхлопной трубы 4, при этом частично отделяясь от частиц крупной и средней дисперсной фазы. В нижней части корпуса газовый поток теряет скорость и меняет свое направление, а в коническом днище 2 происходит осаждение крупно- и среднедисперсных частиц золы, которые удаляются из циклона через штуцер 3. Частично очищенные дымовые газы от средних и крупных золовых частиц движутся по выхлопной трубе 4,

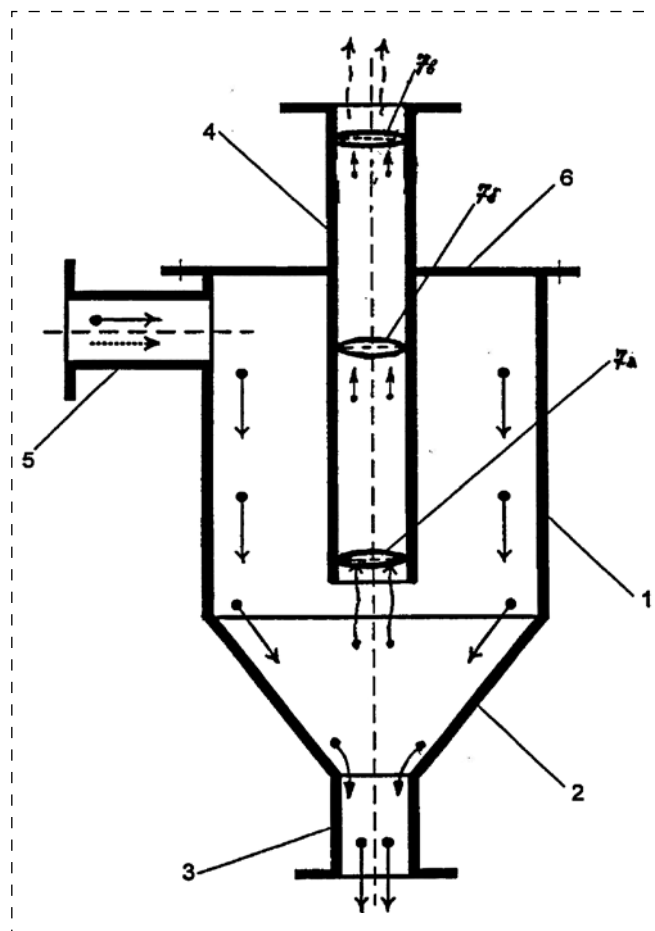


Рис. 1. Схема фильтра-циклона новой конструкции с равномерным расположением сеток по высоте выхлопной трубы:

1 — корпус; 2 — коническое днище; 3 — штуцер для удаления пыли (золы); 4 — выхлопная труба; 5 — штуцер для подачи запыленного газового потока; 6 — крышка; 7а — сетка для улавливания крупнодисперсных частиц; 7б — сетка для улавливания среднедисперсных частиц; 7в — сетка для улавливания мелкодисперсных частиц

в которой они дополнительно проходят очистку в последовательно установленных фильтрах 7а, 7б, 7в в виде сеток с разными размерами ячеек.

Сначала в фильтре 7а улавливаются золовые крупнодисперсные частицы, затем в фильтре 7б — среднедисперсные частицы и в верхней части трубы в фильтре 7в — мелкодисперсные золовые частицы. После прохождения дополнительной очистки дымовые газы выбрасываются из фильтра-циклона в атмосферный воздух. При этом степень очистки газов от золы в новом фильтре-циклоне повышается на 5...10 % и может достигать 90 %, что выше проектных значений. На данное техническое решение авторами получен патент на полезную модель № 204684 как на устройство, отличающееся от известных аналогов новизной и оригинальностью конструкции [9].

Групповой циклон для очистки дымовых газов от золы и сажи (патент № 202973)

Данный циклон-золоуловитель целесообразно использовать на предприятиях ОАО "РЖД" в котельных с количеством котлов более пяти и для очистки больших объемов уходящих загрязненных дымовых газов (до 150 000 м³/ч) [7].

Предлагаемый групповой циклон иллюстрируется схемой, на которой показан вертикальный разрез циклона (рис. 2), содержащего циклонные элементы 1, 2, 3, общий бункер для уловленной пыли 4, камеру для сбора очищенного газа 5 и коллектор 6, выполненный в виде цилиндра, ступенчато уменьшающегося в диаметре по высоте, с тангенциальным подводом газа, при этом ступень снабжена патрубками 7 для отвода части газа в циклонные элементы, расположенные тангенциально, газоход 8 для выброса очищенных от пыли газов и фильтр 9, установленный внутри газохода 8.

Групповой циклон работает следующим образом. Зологазовый поток, попадая внутрь коллектора 6, проходит по окружности вокруг выхлопной трубы (в центре коллектора 6) и движется спирально вниз, обеспечивая повышение концентрации частиц крупнодисперсной фазы у стенок циклона. Часть запыленного газа с повышенной концентрацией крупных частиц отводится через

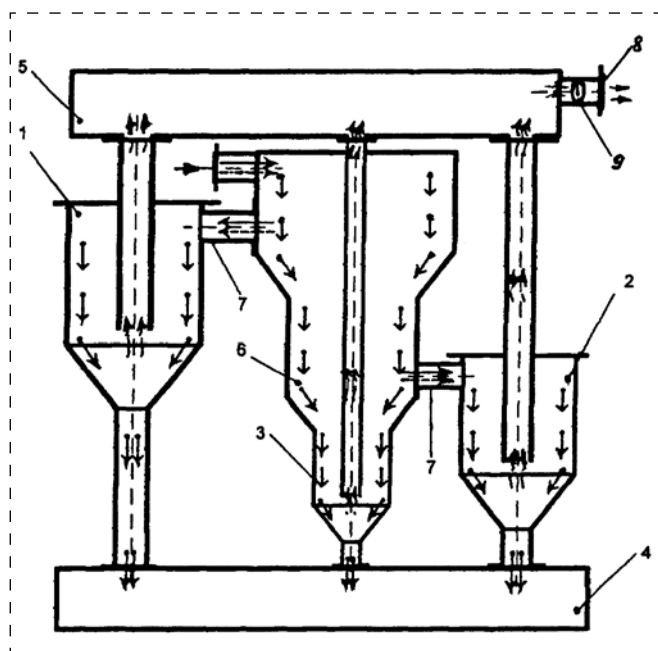


Рис. 2. Схема группового циклона новой конструкции: 1, 2, 3 — циклонные элементы; 4 — общий бункер для уловленной пыли; 5 — камера для сбора очищенного газа; 6 — коллектор; 7 — патрубки для отвода части газа; 8 — газоход; 9 — фильтр

отверстие по патрубку 7 в циклонный элемент 1 для удаления крупной фракции золы. Остальной зологазовый поток продолжает спиральное движение вниз.

На следующей ступени из-за уменьшения диаметра коллектора 6 увеличивается скорость движения газа, вследствие чего происходит концентрация средних частиц газодисперсной среды у внутренней стенки коллектора. Через отверстие по правому патрубку 7, расположенному тангенциально, производится отвод еще части зологазового потока, насыщенного среднedisперсными частицами, в циклонный элемент 2 для удаления золы средней фракции. Оставшаяся часть газового потока движется спирально вниз, увеличивая свою скорость из-за ступенчатого уменьшения диаметра коллектора, попадает в циклонный элемент 3 для удаления мелкой фракции золы, являющийся продолжением коллектора 6. Зологазовый поток, попадая внутрь циклонных элементов 1, 2, 3, проходит по окружности вокруг выхлопной трубы и движется спирально вниз, обеспечивая отделение частиц дисперсной фазы от дисперсионной среды газа. В нижней части корпуса поток теряет скорость и меняет свое направление, вследствие чего происходит выпадение золовых частиц. Частично очищенные газы движутся по восходящей спирали к выхлопной трубе, через которую выводятся из циклонного элемента. Очищенные от крупных и средних частиц газы из всех циклонных элементов поступают в камеру 5, откуда отводятся в газоход 8, в котором специально установлен дополнительный фильтр 9 для улавливания мелкодисперсных золовых частиц. Таким образом, в отличие от аналогов данное устройство позволяет повысить его экологическую эффективность и увеличить тем самым степень очистки зологазового потока. На данную конструкцию нового циклона авторами получен патент на полезную модель № 202973 [10].

Заключение

Рекомендуемые для практического применения технические решения по созданию принципиально новых конструкций циклонов-золоуловителей обладают простотой устройства, достаточно высокой экологической эффективностью и сравнительно невысокой стоимостью золо- и пылеулавливания. Следовательно, дальнейшая разработка и реальное внедрение рассмотренных высокоэффективных аппаратов циклонного типа в котельных позволит улучшить экологическую ситуацию.

Список литературы

1. Вальдберг А. Ю., Николайкина Н. Е. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. — М.: Дрофа, 2008. — 239 с.
2. Катин В. Д., Нестеров В. И., Долгов Р. В. Теория и практика золопылеулавливания и охрана атмосферы путем создания высокоэффективных очистных установок. — М.: Спутник+, 2021. — 166 с.
3. Катин В. Д., Ахтямов М. Х., Долгов Р. В. Модернизация и разработка новых эффективных золо- и пылеуловителей для защиты среды обитания человека. — М.: Спутник+, 2015. — 116 с.
4. Катин В. Д. Повышение эффективности защиты атмосферы при сжигании топлива. — Хабаровск: ТОГУ, 2017. — 160 с.
5. Экологическая стратегия ОАО "Российские железные дороги" на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года. Утверждена Распоряжением ОАО "РЖД" 13.02.2009. № 293 р // ОАО "Российские железные дороги": официальный сайт компании. URL: <http://doc.rzd.ru> (дата обращения 15.07.2021).
6. Карминский В. Д. Экологические проблемы и энергосбережение. — М.: Маршрут, 2014. — 594 с.
7. Катин В. Д. Методы и устройства сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу из котлов на предприятиях железнодорожного транспорта. — М.: Маршрут, 2013. — 86 с.
8. Коузов П. А. Сравнительная оценка циклонов различных типов. — М.: Metallurgiya, 1995. — 138 с.
9. Фильтр циклон для очистки газов. Патент № 204684 (РФ). МПК B04C 9/00 (2006.01) / В. Д. Катин, А. А. Журавлев. Оpubл. 04.06.2021. Бюл. № 16.
10. Групповой циклон для очистки газов. Патент № 202973 (РФ). МПК B04C 5/12 (2006.01) / В. Д. Катин, В. И. Нестеров. Оpubл. 17.03.2021. Бюл. № 8.
11. Фильтр-циклон для очистки газов. Патент № 56221 (РФ). МПК B04C 9/00 (2006.01) / В. Д. Катин, Р. В. Долгов, М. Х. Ахтямов, А. И. Агошков. Оpubл. 10.09.2006. Бюл. № 25.

V. D. Katin, Professor¹, Professor of Chair², G. G. Medvedeva², Associate Professor, A. A. Zhuravlev¹, Postgraduate, e-mail: goposor@yandex.ru

¹ Far Eastern State Transport University, Khabarovsk

² Pacific State University, Khabarovsk

Technical Solutions for the Creation of New Designs of Cyclones-Ash Collectors for Boiler Plants of Railway Transport

Considered and summarized are modern approaches to solving the urgent scientific and industrial problem of protecting atmospheric air from pollution by solid particles, including ash and soot, by using new highly efficient designs of cyclones in heating boiler houses at railway transport enterprises. The priority directions of increasing the ecological efficiency of the operation of cyclone-type ash-collecting plants operating in production are determined and shown, associated with an increase in the degree of purification of exhaust flue gases emitted from boilers with combustion products of liquid and solid fuels. Developed and recommended for practical use in boiler houses of improved designs of cyclones-ash collectors, which differ from the existing treatment plants in the novelty and originality of their design. Detailed descriptions of ash-collecting devices proposed for implementation are given and their technical advantages over domestic and foreign analogues are shown. Recommendations have been developed for the efficient operation of new cyclone devices protected by patents for useful models.

Keywords: coal and fuel oil boilers, railway transport enterprises, cyclone-type ash collectors, flue gas cleaning, particulate matter, atmospheric air, environmental efficiency

References

1. Val'dberg A. Yu., Nikolajkina N. E. Processy i apparaty zashchity okruzhayushchej sredy. — М.: Drofa, 2008. — 239 p.
2. Katin V. D., Nesterov V. I., Dolgov R. V. Teoriya i praktika zolopyleulavlivaniya i ohrana atmosfery putem sozdaniya vysokoeffektivnyh ochistnyh ustanovok. — М.: Sputnik+, 2021 — 166 p.
3. Katin V. D., Ahtyamov M. H., Dolgov R. V. Modernizatsiya i razrabotka novyh effektivnyh zolo- i pyleulovitelej dlya zashchity sredy obitaniya cheloveka. — М.: Sputnik+, 2015. — 116 p.
4. Katin V. D. Povyshenie effektivnosti zashchity atmosfery pri szhiganii topliva. — Habarovsk: TOGU, 2017. — 160 p.
5. Ekologicheskaya strategiya ОАО "Rossijskie zheleznnye dorogi" na period do 2015 goda i na perspektivu do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniem ОАО "RZHD" 13.02.2009. № 293 r. // ОАО "Rossijskie zheleznnye dorogi": oficial'nyj sajт kompanii. URL: <http://doc.rzd.ru> (date of access 15.07.2021).
6. Karminskij V. D. Ekologicheskie problemy i energosberezhenie. — М.: Marshrut, 2014. — 594 p.
7. Katin V. D. Metody i ustrojstva sokrashcheniya vybrosov vrednyh veshchestv v atmosferu iz kotlov na predpriyatiyah zheleznodorozhnogo transporta. — М.: Marshrut, 2013. — 86 p.
8. Kouzov P. A. Sravnitel'naya ocenka ciklonov razlichnyh tipov. — М.: Metallurgiya, 1995. — 138 p.
9. Fil'tr ciklon dlya ochistki gazov. Patent № 204684 (RF). MPK B04C 9/00 (2006.01) / V. D. Katin, A. A. Zhuravlev. Opubl. 04.06.2021. Byul. № 16.
10. Gruppovoj ciklon dlya ochistki gazov. Patent № 202973 (RF). MPK B04C 5/12 (2006.01) / V. D. Katin, V. I. Nesterov. Opubl. 17.03.2021. Byul. № 8.
11. Fil'tr-ciklon dlya ochistki gazov. Patent № 56221 (RF). MPK B04C 9/00 (2006.01) / V. D. Katin, R. V. Dolgov, M. H. Ahtyamov, A. I. Agoshkov. Opubl. 10.09.2006. Byul. № 25.

В. В. Буренин, канд. техн. наук, проф., e-mail: madi.1965@mail.ru, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Новые решения проблемы защиты атмосферного воздуха от загрязнения отходящими дымовыми газами тепловых электрических станций

Рассмотрены новые способы и конструкции устройств для очистки и обезвреживания производственных пылегазовоздушных выбросов (отходящих дымовых газов), отличающиеся улучшенными характеристиками и предложенные в патентах и научно-технической литературе промышленно развитых стран мира. Показаны основные тенденции развития конструкций устройств и фильтров для очистки и обезвреживания пылегазовоздушных выбросов тепловых электрических станций.

Ключевые слова: пылегазовоздушные выбросы, способы обезвреживания, промышленное предприятие, охрана окружающей среды, фильтры-пылегазоуловители, тепловая электростанция, дымовые газы

Загрязнение атмосферного воздуха пылегазовоздушными выбросами (отходящими дымовыми газами) промышленных предприятий является одной из важнейших экологических проблем настоящего времени. Одними из наиболее распространенных предприятий — загрязнителей воздушного пространства являются энергогенерирующие предприятия. К основным типам энергогенерирующих предприятий в России относятся тепловые электрические станции (ТЭС), гидроэлектростанции (ГЭС), атомные электростанции (АЭС), выработка электроэнергии на которых от общего количества распределяется следующим образом: ТЭС — 68,4 %, ГЭС — 20,3 %, АЭС — 11,1 % [1].

ТЭС в России работают на двух основных видах топлива: природный газ — 68 % и уголь — 30 %; в меньшей степени используются нефть и нефтепродукты, горючие сланцы и биотопливо — 2 %.

Тепловые электростанции, сжигающие газ, наиболее "чистые" с точки зрения экологии, выбрасывают в атмосферу оксид и диоксид азота, оксид и диоксид углерода и другие вредные примеси. Выбросы оксидов азота могут быть уменьшены путем реализации так называемых "первичных мер", к которым относятся в первую очередь многостадийное горение, рециркуляция дымовых газов, впрыск воды. Однако даже для ТЭС, сжигающих природный газ, принятие первичных мер подавления оксидов азота часто недостаточно. Возникает необходимость внедрения дополнительных систем очистки отходящих дымовых газов.

Самыми же экологически грязными оказываются ТЭС, сжигающие уголь. В то же время уголь является и самым дешевым топливом и его разведанных запасов хватит более чем на 200 лет эксплуатации. Поэтому необходимо решать экологические проблемы, возникающие при сжигании угля.

Сгорание углеводородного топлива на ТЭС связано с образованием в отходящих дымовых газах вредных примесей, таких как летучая зола, частицы недосгоревшего пылевидного топлива и сажи, оксид и диоксид азота, оксиды серы, оксид и диоксид углерода, летучие органические углеводороды, диоксины, фураны, тяжелые металлы и другие вредные вещества.

Отходящие дымовые газы ТЭС, содержащие индустриальную пыль и техногенные газовые примеси, загрязняющие атмосферный воздух, оказывают вредное воздействие на человека, животных и растительность, наносят ущерб хозяйственной деятельности, вызывают глубокие изменения в биосфере.

Основными путями уменьшения и полного исключения техногенного загрязнения атмосферы являются: применение безотходной технологии производства, использование экологически безопасных источников электрической энергии, разработка и внедрение высокоэффективных фильтров-пылегазоуловителей, озеленение и т. д. В настоящее время по экономическим и техническим причинам основным средством борьбы с загрязнением атмосферы отходящими дымовыми газами ТЭС являются очистные

фильтры-пылегазоуловители различных типов и конструкций [2].

В последние годы заметно повысился интерес российских и зарубежных фирм по производству техники для очистки и обезвреживания производственных пылегазовоздушных выбросов промышленных предприятий к созданию новых фильтров-пылегазоуловителей с высокими технико-экономическими показателями.

Частицы индустриальной пыли, содержащиеся в отходящих дымовых газах тепловых электрических станций, бывают настолько малого размера, что могут в течение длительного времени находиться в потоке производственных пылегазовоздушных выбросов во взвешенном состоянии. Для улавливания частиц пыли, золы, сажи из производственных пылегазовоздушных выбросов применяют фильтры-пылеуловители, которые по принципу действия делятся на механические и силовые.

В механических фильтрах очистка пылегазовоздушных выбросов тепловых электрических станций и других энергогенерирующих предприятий от твердых и пластичных частиц загрязнений осуществляется путем применения различных жестких или гибких фильтрующих перегородок или насыпных слоев фильтрующего материала.

Работа фильтров-пылеуловителей силового типа (силовых фильтров-пылеуловителей) основана на действии различных сил на частицу пыли при ее извлечении из потока производственных выбросов. Такими силами являются сила тяжести, центробежная и инерционная силы, электрическая сила и т. д. В зависимости от этого созданы различные конструкции силовых фильтров-пылеуловителей (осадительные камеры, центробежные и вихревые циклоны, электрические фильтры и т. д.).

Повышенным ресурсом работы отличается установка [3] для очистки горячих пылегазовоздушных выбросов (отходящих дымовых газов) от взвешенных частиц загрязнений, схема которой изображена на рис. 1. Горячие пылегазовоздушные выбросы при давлении 0,4...0,6 МПа и температуре 200...700 °С от теплоэнергетической установки 3 по трубопроводу 2 поступают в фильтр-пылеуловитель грубой очистки 5, обеспечивающий обеспыливание выбросов на 60...80 %. После этого пылегазовоздушные выбросы по трубопроводу 4 поступают в холодильник 8, где их охлаждают путем распыления воды с помощью форсунки 6 до температуры не выше 200 °С, определяемой с помощью датчика 7. Затем

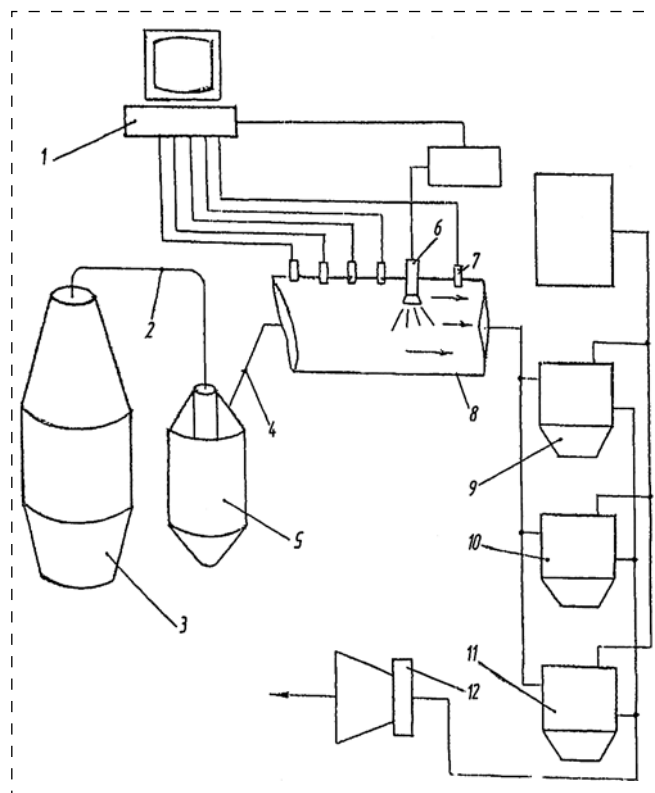


Рис. 1. Установка для очистки горячих отходящих дымовых газов от взвешенных частиц загрязнений с механическими рукавными фильтрами

пылегазовоздушные выбросы поступают в механические рукавные фильтры 9, 10, 11 для тонкой очистки от взвешенных частиц загрязнений. Процесс очистки пылегазовоздушных выбросов идет в автоматическом режиме с помощью информационной системы 1. Регенерацию рукавных фильтров 9, 10, 11 осуществляют азотом, аргоном или очищенными пылегазовоздушными выбросами, имеющими давление не менее чем на четыре атмосферы, превышающее давление очищаемых пылегазовоздушных выбросов. Очищенные пылегазовоздушные выбросы подаются перед выбросом в атмосферу на газовую турбину 12 для получения с помощью генератора электрической энергии.

Разработан новый механический рукавный фильтр марки Optipulse LKP [4] для очистки больших объемов отходящих дымовых газов от пылеугольных котлов тепловых электростанций. Фильтр обеспечивает высокую степень очистки отходящих дымовых газов от мелкодисперсных частиц загрязнений и отличается низкими эксплуатационными расходами благодаря энергоэффективному импульсному процессу регенерации фильтрующего рукава.

Повышенной эффективностью очистки производственных пылегазовоздушных выбросов промышленных предприятий от частиц пыли отличается силовой центробежный фильтр-пылеуловитель [5], содержащий цилиндрический корпус 1 (рис. 2, а) с входным патрубком 2, расположенным тангенциально под углом к горизонтали, с выходным патрубком 3, расположенным соосно в центре корпуса 1, и с разгрузочным патрубком 4 для выхода пыли, расположенным соосно в конце конической части корпуса 1, и вставкой 5 в форме винтовой поверхности, имеющей

бортик *б* (рис. 2, б) со щелевыми улавливающими отверстиями *в*.

Поток пылегазовоздушных выбросов поступает на очистку в корпус 1 (см. рис. 2, а) фильтра-пылеуловителя через патрубок 2 и движется по спирали по направлению к нижнему концу выходного патрубка 3. Под действием возникающей при этом центробежной силы частицы пыли, находящиеся в потоке пылегазовоздушных выбросов, движутся к стенке корпуса 1 фильтра-пылеуловителя. При этом частицы пыли большего размера касаются стенки корпуса 1 выше места установки вставки 5, опускаются по стенке кор-

пуса 1 на поверхность вставки 5 и движутся по ней вниз в коническую часть корпуса 1 к разгрузочному патрубку 4. Частицы пыли меньшего размера, имеющие меньшую радиальную составляющую скорости, движутся в нисходящем потоке очищаемых пылегазовоздушных выбросов, тем самым достигают поверхности бортика *б* со щелевыми улавливающими отверстиями *в*.

Продолжая движение по поверхности бортика *б*, мелкие частицы пыли проходят через щелевые улавливающие отверстия *в*, попадают на поверхность вставки 5 и движутся по ней совместно с крупными частицами пыли вниз к разгрузочному патрубку 4 и благодаря этому улавливаются. Бортник *б* вставки 5 также предотвращает их вынос из корпуса 1 фильтра-пылеуловителя с выходящим потоком очищенных пылегазовоздушных выбросов при прохождении зоны его поворота в выходной патрубок 3.

Высота бортика *б*, количество витков, форма образующей винтовой поверхности вставки 5, а также конфигурация, размеры, угол наклона и количество щелевых улавливающих отверстий *в* на бортике *б* вставки 5 в форме винтовой поверхности определяются в зависимости от

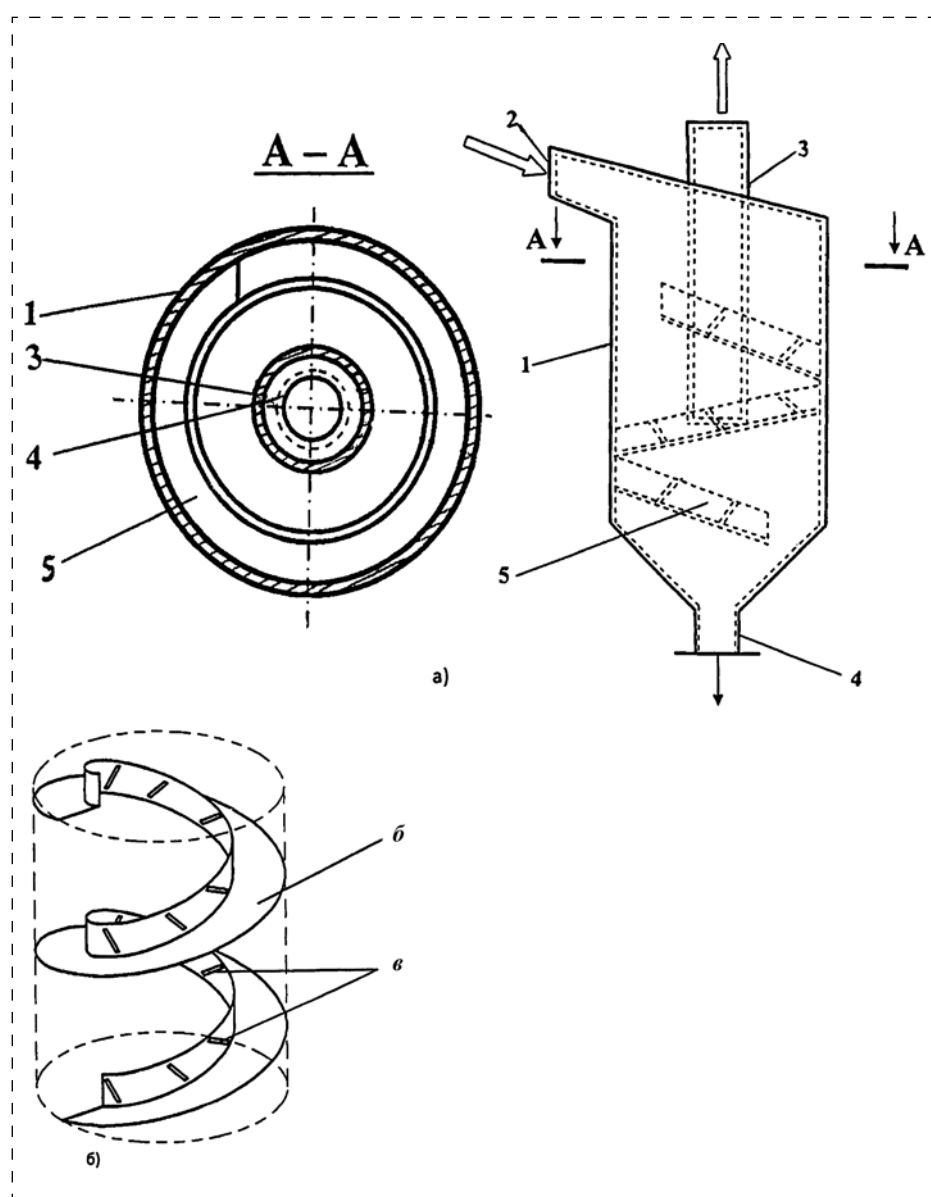


Рис. 2. Силовой центробежный фильтр-пылеуловитель:
а — конструктивная схема фильтра-пылеуловителя; б — вставка 5 в форме винтовой поверхности, имеющей бурты *Б* со щелевыми улавливающими отверстиями *В*

концентрации, физико-механических свойств пыли и режимных параметров работы фильтра-пылеуловителя.

В пылегазовоздушных выбросах тепловых электростанций, котельных и других теплоэнергетических предприятий образуются аэрозоли — дисперсные системы, состоящие из газовой среды, в которой взвешены твердые или жидкие частицы.

В зависимости от размеров частиц различают следующие виды аэрозолей: пыль (частицы дисперсной фазы размером $10 \dots 0,1$ мкм); дымы (частицы размером $0,1 \dots 0,001$ мкм). Следует отметить среди аэрозолей те, в которых варьируются частицы размером в несколько десятых или даже сотых долей микрона. Именно в силу своего размера они практически не задерживаются большинством механических фильтров.

Большие трудности возникают при очистке пылегазовоздушных выбросов от капельных аэрозолей. Чтобы обеспечить улавливание жидких (капельных) частиц из аэрозолей конденсационного происхождения, необходимо предварительно добиться укрупнения этих частиц. Процесс коагуляции жидких аэрозолей может происходить под действием акустических, гидродинамических, электрических и других сил.

Для эффективного отделения от производственных пылегазовоздушных выбросов (аэрозолей) жидких примесей, например, капелек масла и масляного тумана, предназначен центробежный фильтр-сепаратор [6], содержащий корпус 2 (рис. 3), внутри которого расположен вращающийся элемент, состоящий из вертикального вала 3 с разделительными дисками 1. Вал 3 установлен на подшипнике 6 и приводится в движение с помощью привода 4, например, электродвигателя, установленного на опорном устройстве 8.

Корпус 2 центробежного фильтра-сепаратора имеет впускной патрубок 10 для подлежащих очистке пылегазовоздушных выбросов, выпускной патрубок 7 для очищенных пылегазовоздушных выбросов, каналы А и Б для отделенных от очищаемых пылегазовоздушных выбросов жидких примесей, которые могут также содержать твердые частицы загрязнений.

Кольцевая наружная поверхность экранирующего элемента 5 и кольцевая внутренняя поверхность корпуса 2 образуют кольцевую канавку В, расположенную в радиальном направлении внутри от выпускных отверстий А и Б для отвода жидких примесей. Таким образом отделенные жидкие примеси собираются в кольцевой

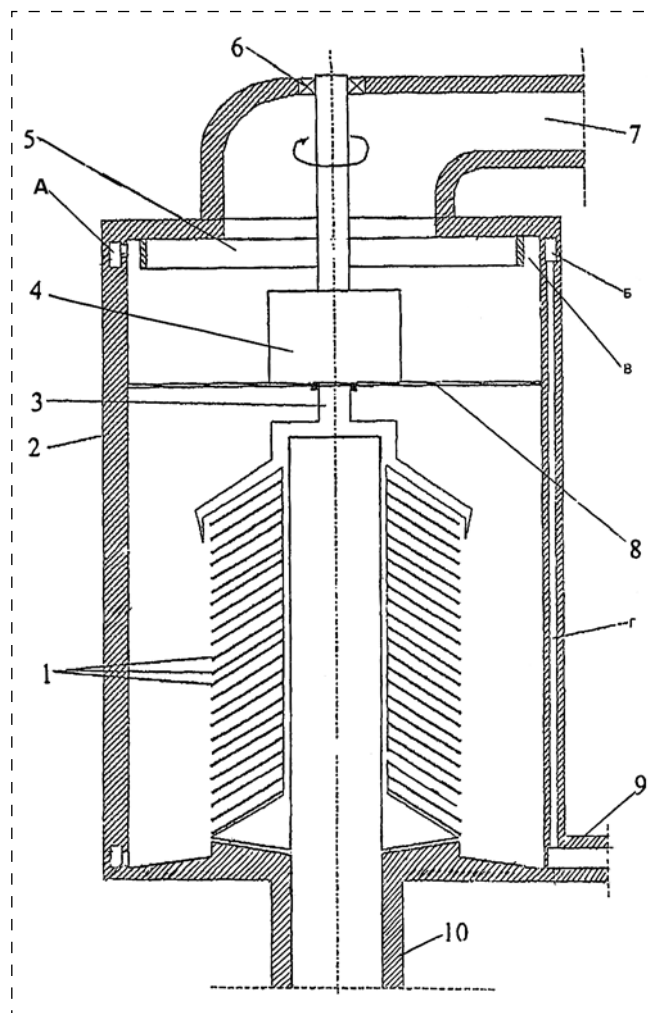


Рис. 3. Силовой центробежный фильтр-сепаратор для отделения от пылегазовоздушных выбросов жидких примесей

канавке В и затем отводятся по каналу Г через патрубков 9. Центробежный фильтр-сепаратор имеет простую конструкцию и удобен в эксплуатации.

Принцип очистки в силовых электрических фильтрах состоит в том, что частицы пыли в том числе тепловых электрических станций, содержащиеся в пылегазовоздушных выбросах промышленных предприятий, проходя электростатическое поле, получают электрический заряд, а затем осаждаются на противоположно заряженных электродах.

Большинство теплоэлектростанций в нашей стране оснащены силовыми электрофильтрами, как наиболее эффективными аппаратами золоочистки. Так как частицы золы в отходящих дымовых газах имеют большое удельное электрическое сопротивление, примерно $(4 \dots 5) \cdot 10^{10}$ Ом·м [7], чтобы исключить образование обратной короны и для снижения величины удельного электрического

сопротивления до рекомендуемого уровня, необходимо обеспечить предварительный подогрев дымовых газов или применить две ступени очистки: батарейный циклон и скруббер Вентури.

Большим ресурсом работы отличается пылеулавливающий аппарат [8], состоящий из электрофилтра и последовательно установленным за электрофилтром механического тканевого фильтра с отношением активных объемов тканевого фильтра к электрофилтру 0,1...0,9. Пылеулавливающий аппарат обеспечивает высокую степень очистки отходящих дымовых газов от пыли (сажи) независимо от ее концентрации, дисперсности и от удельного электрического сопротивления.

Отходящие дымовые газы поступают в аппарат на очистку от частиц пыли (сажи) через диффузор 1 (рис. 4), очищаются сначала в электрофилтре 3, состоящем из двух секций, а затем в механическом тканевом фильтре 5 и выходят из корпуса 2 аппарата через конфузор 6. Высокое напряжение в электрофилтр 3 подается по проводам, закрепленным на изоляторах 4, а уловленные частицы пыли поступают в бункеры 7. Корпус 2 является единым для размещения электрофилтра 3 и механического тканевого фильтра 5. Пылеулавливающий аппарат, состоящий из электрофилтра и механического тканевого фильтра, удовлетворяет современным требованиям и обеспечивает межремонтный цикл.

Повышенной степенью очистки отходящих дымовых газов от частиц пыли и сажи отличается электрофилтр [9], состоящий из корпуса 1 (рис. 5), в котором размещен ионизатор 2, осадитель 3, включающий установленные параллельно очищаемому потоку *A* отходящих дымовых газов (пылегазовоздушных выбросов) коронирующие 4 и некоронирующие 5 электроды, источник

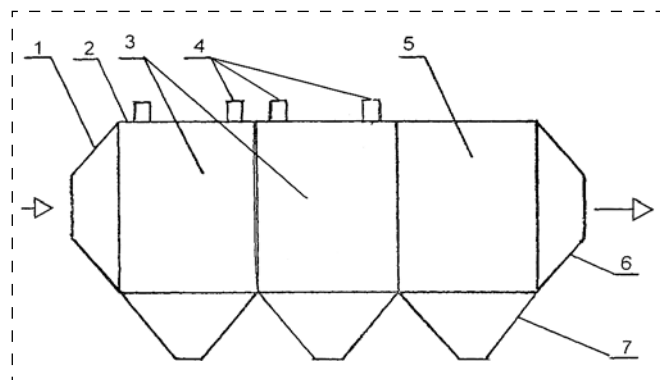


Рис. 4. Пылеулавливающий аппарат для очистки отходящих дымовых газов от частиц пыли (сажи), состоящий из электрофилтра и механического фильтра

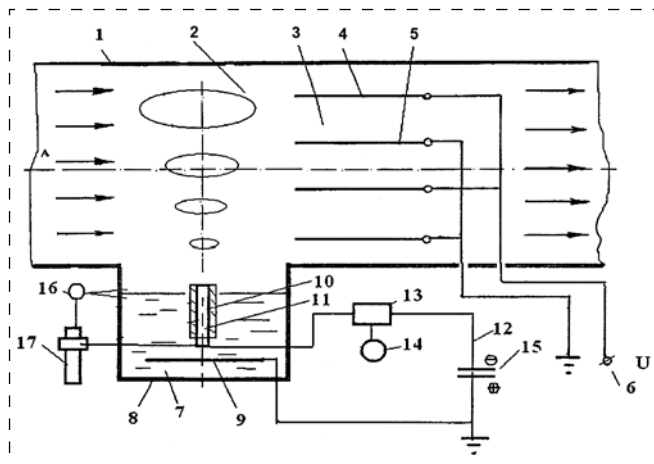


Рис. 5. Электрофилтр для очистки отходящих дымовых газов от частиц пыли и сажи с устройством образования гидратированных ионов

высокого напряжения 6, устройство для образования гидратированных ионов 7, содержащее емкость 8 с водой и расположенными в ней кольцевым короткозамкнутым анодом 9 и замкнутым в кварцевую трубку 10 цилиндрическим катодом 11. Торцевой катод 11, размещенный в воде, токопроводом 12 соединен через электронный ключ 13 и таймер 14 с отрицательно заряженной пластиной конденсаторной батареи 15. Верхний торцевой катод 11 выступает над уровнем воды на расстоянии 3...5 мм.

Короткозамкнутый анод 9 соединен токопроводом с положительно заряженной пластиной конденсаторной батареи 15. Электрофилтр дополнительно содержит фотодатчик 16 положения верхней торцевой части катода 11, соединенный токопроводом с расположенным вне емкости 8 механизмом 17 перемещения вертикального положения катода 11.

Очищаемый пылегазовоздушный поток *A* отходящих дымовых газов поступает в расположенный в корпусе 1 ионизатор 2, в котором из устройства 7 перпендикулярно потоку *A* диспергируются гидратированные ионы, при соударении которых с нейтральными частицами пыли и сажи происходит ионизация последних. При включении таймера 14 происходит срабатывание электронного ключа 13 и замыкание электрической цепи, состоящей из отрицательно заряженной пластины конденсаторной батареи 15, токопровода 12, цилиндрического катода 11, замкнутого в кварцевую трубку 10, паров воды над катодом 11, воды в емкости 8, короткозамкнутого анода 9, соединенного токопроводом с положительно заряженной пластиной конденсаторной батареи 15.

При смачивании капель воды верхней торцевой части цилиндрического катода *11* из нее вылетает плазменная струя на высоту 15...20 мм. Через 0,1 с электрический разряд прекращается, образуется плазмод, который поднимается вверх перпендикулярно потоку очищаемых выбросов. Через 1...2 с оболочка плазмоды исчезает и положительно и отрицательно заряженные гидратированные ионы поступают в пылегазовоздушный поток *А*. При соударении с нейтральными частицами пыли или сажи положительно и отрицательно заряженные гидратированные ионы сообщают им заряд, т. е. ионизируют их.

Далее поток *А* отходящих дымовых газов, содержащий ионизированные частицы пыли и сажи, поступает в пространство между коронирующими *4* и некоронирующими *5* электродами осадителя *3*. При этом между коронирующими электродами *4*, подключенными к выводу высоковольтного источника *6*, и некоронирующими электродами *5*, соединенными с заземленным выводом источника высокого напряжения, создается электрическое поле. Под действием кулоновских сил электрического поля ионизированные частицы пыли и сажи осаждаются на некоронирующих электродах *5* и выводятся из очищаемого потока пылегазовоздушных выбросов *А*.

Изменение положения верхней торцевой части катода *11* над уровнем воды регистрируется с помощью фотодатчика *16*, сигнал которого поступает на механизм регулирования *17* положения катода, выполненного в виде реечной передачи. Если верхняя торцевая часть цилиндрического катода *11* опускается ниже уровня воды в емкости *8*, то включается привод реечной передачи (не показан), и верхняя торцевая часть катода *11* поднимается вверх. Наоборот, если верхняя торцевая часть катода *11* поднимается выше уровня воды на высоту более 5 мм, то включается привод реечной передачи (не показан) и верхняя торцевая часть катода *11* опускается вниз.

Эксплуатация электрофильтра для очистки отходящих дымовых газов в промышленных условиях позволяет снизить потребление электрической энергии за счет снижения установочной мощности источника высокого напряжения.

Для очистки пылегазовоздушных выбросов тепловых электростанций от вредных газов, паров и токсичных веществ используется адсорбционный, абсорбционный, химический, биохимический и термический способы.

К наиболее распространенным способам очистки и обезвреживания производственных

пылегазовоздушных выбросов от вредных и токсичных веществ относятся сорбционные способы (адсорбция и абсорбция). При этом либо происходит процесс физической сорбции, либо сорбент вступает в химическое взаимодействие с сорбируемым вредным компонентом (химическая сорбция).

Способ адсорбции основан на физических свойствах некоторых твердых тел (адсорбентов) с ультрамикроскопической структурой селективно извлекать и концентрировать на своей поверхности отдельные компоненты из производственных пылегазовоздушных выбросов. В то время как абсорбция представляет собой процесс, при котором происходит разделение пылегазовоздушных выбросов на составные части путем поглощения одного или нескольких компонентов жидким поглотителем (абсорбентом) с образованием раствора.

Разработана шахтная мультиблочная установка [10] для очистки и утилизации горячих пылегазовоздушных выбросов (горячих отходящих дымовых газов) теплогенераторов и других объектов теплоэнергетики, позволяющая повысить экологическую и экономическую эффективности ее работы. Установка содержит транзитный газопровод *1* (рис. 6) с отсечными клапанами *3*, соединенную с ним через окно в его днище зону обработки, представляющую собой вертикальную шахту, разделенную вертикальными перегородками *4*

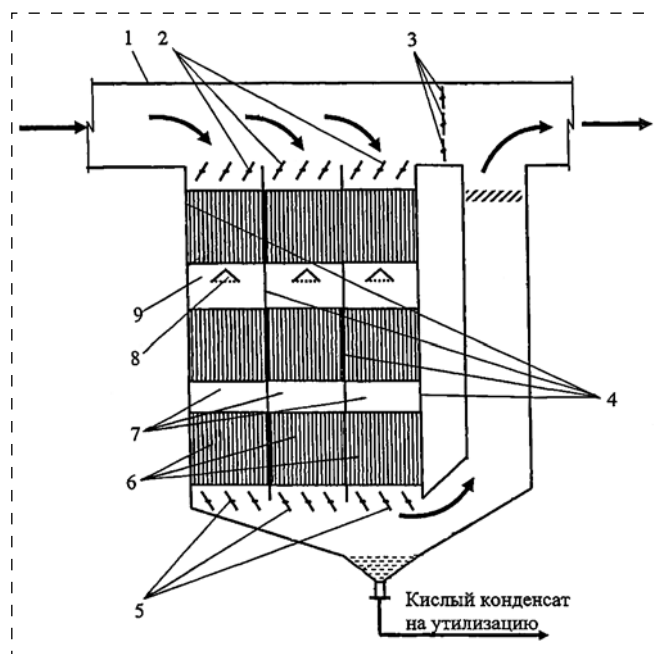


Рис. 6. Шахтная мультиблочная установка для очистки и утилизации пылегазовоздушных выбросов

на параллельные газоходы с входными 2 и выходными 5 клапанами, в которых устроены блоки очистки и утилизации. Каждый блок очистки и утилизации состоит из воздухоподогревателя-абсорбера 6, в котором размещены сверху вниз три ступени охлаждения горячих пылегазовоздушных выбросов (отходящих дымовых газов). Между первой и второй ступенями охлаждения устроена окислительная камера 9 с помещенным в ней патрубком подачи озono-воздушной смеси, снабженным насадком 8, выполненным в виде конуса с полусферическим перфорированным основанием. Между второй и третьей ступенями охлаждения помещена камера усреднения 7, где происходит усреднение концентраций реагирующих компонентов по всему объему очищаемых дымовых газов. Шахтная мультиблочная установка обеспечивает компактность размещения оборудования в вертикальных газоотводах с входными 2 и выходными 5 клапанами, автономность работы вертикальных газоходов, равномерное распределение озono-воздушной смеси в объеме дымовых газов, что обеспечивает более полное протекание реакции окисления труднорастворимого монооксида азота (NO) в легкорастворимый диоксид азота (NO_2), соединяющийся с водой с образованием азотной кислоты (HNO_3), при этом в условиях конденсации скорость кислотообразования возрастает по сравнению с обычной абсорбцией окислов азота в 10 раз.

Кроме того, исключается возможность образования отложений на внутренней поверхности труб ступеней охлаждения в воздухонагревателях-абсорберах 6, повторного испарения кислого конденсата, влекущее за собой повышенный расход охлаждающего воздуха, опасность проскока озона в очищенные дымовые газы, унос капель кислого конденсата в транзитный газоход 1, необходимость сооружения отводных и параллельного газоходов.

Высокую степень очистки отходящих дымовых газов от оксида азота топливосжигающих установок любой мощности и назначения обеспечивает способ очистки путем введения в поток дымовых газов специального продукта смешения [11]. Этот продукт готовят следующим образом. Водный раствор карбамида контактирует с перегретым паром при температуре $150...500\text{ }^{\circ}\text{C}$, давлении $3...10\text{ атм.}$ в течение $0,5...5,0\text{ с.}$ Полученную парогазовую восстановительную смесь смешивают с озоновоздушной или озонкислородной смесью и продукт смешения подают в поток очищаемых дымовых газов с температурой

$150...1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Массовое отношение "озон : карбамид" составляет $0,01...1,0$. Продукт смешения подают в поток дымовых газов, имеющих температуру $250...450\text{ }^{\circ}\text{C}$, газом-носителем, выбранным из группы, содержащей воздух, водяной пар, дымовые газы, инертные газы или их смесь. Время пребывания продукта смешения в потоке очищаемых дымовых газов составляет $0,2...1,0\text{ с.}$ Способ позволяет повысить степень очистки дымовых газов от оксидов азота в широком диапазоне температур.

В биологических (биохимических) фильтрах очищаемые пылегазовоздушные выбросы пропускаются через слой насадки, орошаемый жидкостью, содержащей питательные вещества, которая создает влажность, достаточную для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов. Поверхность насадки покрыта биологически активной пленкой (биопленкой) из микроорганизмов. Микроорганизмы биопленки в процессе своей жизнедеятельности поглощают и разрушают содержащиеся в очищаемой пылегазовоздушной среде вредные вещества. Разложение веществ происходит под действием ферментов, вырабатываемых микроорганизмами в пылегазовоздушной среде. После биологического фильтра орошающая жидкость поступает в отстойники и далее вновь подается на орошение.

Достоинствами биохимического способа очистки (обезвреживания) пылегазовоздушных выбросов промышленных предприятий от вредных примесей являются:

- высокая эффективность очистки при малых энергетических затратах;
- простота конструкции очистного оборудования и его эксплуатации;
- возможность изготовления очистного оборудования из полимерных материалов.

Конечно, биохимический способ очистки ограничен составом удаляемых из очищаемых пылегазовоздушных выбросов вредных веществ (его нельзя рекомендовать для очистки диоксида серы, хлористого и фтористого водорода и т. д.). Кроме этого, высокий эффект газоочистки достигается при условии, что скорость биохимического окисления уловленных вредных веществ больше скорости их поступления из газовой фазы.

Развитие энергогенерирующих предприятий, в том числе тепловых электрических станций, связанное с современными достижениями науки и техники, потребовало усовершенствования конструкций фильтров-пылегазоуловителей для очистки и обезвреживания отходящих дымовых



газов от вредных примесей, загрязняющих окружающую природную среду. Эти усовершенствования направлены на повышение степени улавливания частиц загрязнений и вредных газовых примесей из производственных пылегазовоздушных выбросов, увеличение надежности, повышение ресурса работы и технологичности изготовления, уменьшение массы и габаритных размеров, обеспечение более удобной эксплуатации и технологического обслуживания фильтров, применение новых более совершенных материалов для их изготовления.

Список литературы

1. **Гончаров А. Э.** Технологии очистки вредных атмосферных выбросов // *Экология и промышленность России*. — 2012. — Ноябрь. — С. 14—18.
2. **Буренин В. В., Иванина Е. С.** Очистка отходящих дымовых газов тепловых электростанций, работающих на угле // *Безопасность жизнедеятельности*. — 2015. — № 7. — С. 28—34.
3. **Пат. 2430971** Россия. МПК С21В 7/22. Способ сухой очистки доменного газа / В. В. Осипенко, В. Д. Осипенко. Оpubл. 19.10.2011. Бюл. № 28.
4. **Березовая Е. Е.** Рукавный фильтр — высокоэффективное газоочистительное оборудование // *Материалы 6 Международной научно-практической конференции*. — Невинномысск, 2013. — С. 110—111.
5. **Пат. 2496584** Россия. МПК В04С 5/103. Центробежный пылеуловитель / А. В. Некрасов. Оpubл. 27.10.2013. Бюл. № 30.
6. **Пат. 2424029** Россия. МПК В01Д 45/14. Центробежный сепаратор / Карлссон Клаэс-Йоран, Ског Ян, Мюрванг Томми Александер, Риддерстролс Рольф. Оpubл. 20.07.2011. Бюл. № 20.
7. **Богачева Т. М., Жарнова А. А.** Перспективы экологически безопасной угольной энергетики // *Экология и промышленность России*. — 2014. — Декабрь. — С. 11—13.
8. **Пат. 2248837** Россия. МПК В01Д 36/02. Пылеулавливающий аппарат / Л. В. Чекалов, В. М. Ткаченко, Ю. И. Громов. Оpubл. 27.03. 2005. Бюл. № 9.
9. **Пат. 2476271** Россия. МПК В03С 3/08. Электрофильтр двухзонный / Е. А. Максимов, Ю. В. Ситчихин. Оpubл. 27.02.2013. Бюл. № 6.
10. **Пат. 2348761** Россия. МПК В01Д 53/00 Шахтная мультиблочная установка для очистки и утилизации газообразных выбросов теплогенераторов / В. С. Ежов. Оpubл. 27.04.2012. Бюл. № 13.
11. **Пат. 2411065** Россия. МПК В01Д 53/56 Способ очистки дымовых газов от оксидов азота / О. Н. Кулиш, С. А. Кузубатов, М. Н. Орлова и др. Оpubл. 10.02.2011. Бюл. № 4.

V. V. Burenin, Professor, e-mail:madi.1965@mail.ru, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University

New Solution to the Problem of Protection of Atmospheric Air Pollution from Flue Gases of Thermal Power Plants

There are considered new processes designs of devices for purification and neutralization of dust gas air emissions distinguished by improved characteristics and suggested in patents and scientific technical literature of industrially advanced and filters for dust gas air emission purification and neutralization are shown.

Keywords: dust gas — air emission, decontamination methods, industrial enterprise, environmental protection, dust recovery filters, thermal power plant flue gases

References

1. **Goncharov A. E.** Tekhnologii oshchistki vrednykh atmosferynykh vybrosov. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2012. Noyabr'. P. 14—18.
2. **Burenin V. V., Ivanina E. S.** Oshchistka othodyashchikh dymovykh gazov teplovykh elektrostanciy, rabotayushchikh na ugle. *Bezopasnost' zhiznedeatelnosti*. 2015. No. 7. P. 28334.
3. **Pat. 2430971** Rossiya. MPK S21V 7/22. Sposob suhoj oshchistki domennogo gaza / V. V. Osipenko, V. D. Osipenko. Opubl. 19.10.2011. Byul. No. 28.
4. **Berezovaya E. E.** Rukavnyj fil'tr — vysokoeffektivnoe gazoochistitel'noe oborudovanie. *Materialy 6 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Nevinnomyssk, 2013. P. 110—111.
5. **Pat. 2496584** Rossiya. MPK V04S 5/103. Centrobezhnyj pyl-eulovitel' / A. V. Nekrasov. Opubl. 27.10.2013. Byul. No. 30.
6. **Pat. 2424029** Rossiya. MPK V01D 45/14. Centrobezhnyj separator/ Karlsson Klaes-Joran, Skog YAn, Myurvang Tommi Aleksander, Ridderstrols Rol'f. Opubl. 20.07.2011. Byul. No. 20.
7. **Bogacheva T. M., Zharnova A. A.** Perspektivy ekologicheskii bezopasnoj ugol'noj energetiki. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2014. Dekabr'. P. 11—13.
8. **Pat. 2248837** Rossiya. MPK V01D 36/02. Pyleulavlivayushchij apparat / L. V. Chekalov, V. M. Tkachenko, Yu. I. Gromov. Opubl. 27.03. 2005. Byul. No. 9.
9. **Pat. 2476271** Rossiya. MPK V03S 3/08. Elektrof'il'tr dvuhzonnyj / E. A. Maksimov, Yu. V. Sitchihin. Opubl. 27.02.2013. Byul. No. 6.
10. **Pat. 2348761** Rossiya. MPK V01D 53/00 Shahtnaya mul'tiblochnaya ustanovka dlya oshchistki i utilizacii gazoobraznykh vybrosov teplogeneratorov / V. S. Ezhov. Opubl. 27.04.2012. Bul. No. 13.
11. **Pat. 2411065** Rossiya. MPK V01D 53/56 Sposob oshchistki dymovykh gazov ot oksidov azota / O. N. Kulish, S. A. Kuzhebatov, M. N. Orlova i dr. Opubl. 10.02.2011. Byul. No. 4.

УДК 677.074, 677.027.62, 699.868

Т. А. Будыкина, д-р техн. наук, проф. кафедры, e-mail: tbudykina@yandex.ru, Академия гражданской защиты МЧС России, Московская обл., Химки, Новогорск,
Р. И. Николаев, лейтенант, e-mail: romchiko1999@mail.ru, Волжский спасательный центр МЧС России, Самара

Термодеструкция кабельной линии, обработанной огнезащитной краской

Приведены результаты термодеструкции кабеля, обработанного огнезащитной краской "ОГНЕЗА-ВД-К". Показано, что исследуемый образец демонстрирует хорошие характеристики термоустойчивости как на основе анализа термогравиметрических кривых, так и на основе сравнительного анализа с аналогичными исследованиями других авторов. Начало термодеструкции зафиксировано при температуре 204 °С. Отмечено, что наиболее интенсивно потеря массы образца происходит в интервале температур 204...349 °С.

Ключевые слова: термодеструкция, огнезащитная краска, интумесценция, кабельная линия, синхронный термический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия, термоанализатор, термогравиметрические кривые

Введение

Производство и применение огнезащитных материалов для повышения устойчивости зданий и сооружений в случае пожара является актуальной задачей современности. Накопление знаний о поведении материалов при температурном воздействии, а также свойства огнезащитных материалов являются важными параметрами для их использования на конкретном защищаемом объекте.

Огнезащита кабельных линий позволяет снизить тепловое воздействие на защищаемые кабели, уменьшить распространение пламени по кабельным изделиям при горизонтальном и вертикальном расположении в пространстве, а также обеспечить увеличение времени работоспособности и целостности электрической цепи кабеля.

Кабельные линии состоят из токопроводящих жил, изоляции, оболочек и защитных покрытий [1]. Все элементы кабелей, кроме токопроводящих жил, горючи, что обуславливает их пожарную опасность. Для защиты кабелей от пожара на их поверхность наносят огнезащитные покрытия, основной целью которых является пассивная огнезащита, а в случае пожара — ингибирование процесса горения. В последние годы в качестве огнезащитных средств широко применяются

вспучивающиеся (интумесцентные) материалы, которые создают на поверхности защищаемой конструкции объемное покрытие, способное защищать от нагрева в течение длительного времени.

Исследовательские работы по огнезащите кабельных линий огнезащитными покрытиями различной химической природы в открытой печати представлены достаточно [2—11], однако в них практически не приводятся результаты исследований термически деструктированных покрытий [12].

Цель исследования: изучить способность кабельной линии без токопроводящих жил, обработанной огнезащитной краской, противостоять температурному воздействию.

Задачи исследования: изучение скорости потери массы, тепловых эффектов огнезащитной краски для кабельных линий при термическом воздействии; определение температурных и временных интервалов потери массы, тепловых эффектов.

Характеристика объекта исследования. Объектом исследования являлась огнезащитная краска "ОГНЕЗА-ВД-К" (ООО "ОГНЕЗА", Санкт-Петербург), нанесенная на фрагмент кабеля (на рис. 1, а — верхний слой белого цвета). Термическому воздействию подвергался срез покрытия кабельной линии для защиты токопроводящих жил (рис. 1, б).

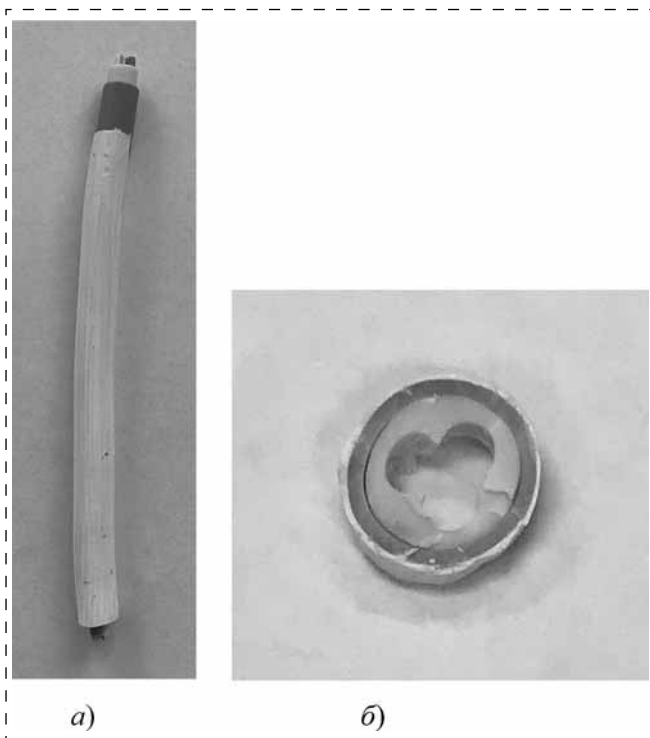


Рис. 1. Внешний вид кабеля, обработанного огнезащитной краской:

а — фрагмент кабеля, обработанного огнезащитной краской "ОГНЕЗА-ВД-К" (белый верхний слой); *б* — исследуемый образец покрытия кабеля для защиты токопроводящих жил

Краска "ОГНЕЗА-ВД-К" (ТУ 2313-004-92450604—2013) применяется для защиты от огня и предотвращения распространения пожара по кабельным линиям силовых, контрольных и других кабелей в резиновых, полиэтиленовых или полимерных оболочках. Исследуемая краска — водно-дисперсионная, вспучивающаяся (степень вспучивания 2000...5000 %), создает при термическом воздействии на поверхности кабеля плотный пенококсовый слой. Толщина сухого слоя покрытия должна составлять не менее 0,64 мм. Огнезащитная эффективность соответствует ГОСТ 53311—2009 [12].

Методы исследования

Для исследования термодеструкции кабельной линии без токопроводящих жил, обработанной огнезащитной краской, использовался метод синхронного термического анализа (СТА), включающий дифференциальную сканирующую калориметрию (ГОСТ Р 55134—2012) и термогравиметрию (ГОСТ Р 56721—2015). Исследование методом синхронного термического анализа проводилось на кафедре пожарной безопасности



Рис. 2. Синхронный термический анализатор STA 449 F3 Jupiter фирмы NETZSCH

Академии гражданской защиты МЧС России на термическом анализаторе STA 449 F3 Jupiter немецкой компании NETZSCH (рис. 2).

Термический анализатор STA 449 F3 Jupiter представляет собой термовесы (цифровые, высокочувствительные, высокого разрешения) с верхней загрузкой образца и прямым измерением температуры на образце. В данных приборах пробу вещества в мг нагревают в заданном температурном режиме, с заданной скоростью в атмосфере (инертной, окислительной), фиксируют убыль массы вещества с помощью термогравиметрического анализа (ТГ), и экзо- и эндоэффекты — с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [13]. При исследовании проба помещается в тигли цилиндрической формы, изготовленные из корунда.

Дифференциальная сканирующая калориметрия измеряет значение разности тепловых потоков между образцом-эталоном и исследуемым образцом. Единицы измерения отклика ДСК — мкВ или мкВ/г. Методы термического анализа наиболее информативны для определения термодеструкции огнезащитных покрытий.

Характеристики условий эксперимента: режим измерений — ТГ/ДСК; скорость нагрева — 20 °С/мин; нагрев — 800 °С (характерный для стандартного режима пожара [5]); атмосфера — воздух.

Обработка результатов осуществлялась с помощью программного обеспечения NETZSCH Proteus Thermal Analysis. Результаты анализа

Технические характеристики анализатора STA 449 F3 Jupiter

Параметр	Значение
Температурный диапазон, °C	–150...2400
Максимальная масса образца, г	35
Скорость нагрева и охлаждения, °C/мин	0,001...50
Разрешение ТГ, мкг	0,1
Разрешение ДТГ, мкВт (в зависимости от типа датчика)	< 10

регистрировались в виде графических зависимостей:

— ТГ (термогравиметрическая кривая) — изменение массы образца — продолжительность нагрева;

— ДСК (тепловые эффекты) — экзо- и эндо-эффекты — продолжительность нагрева.

Программа также позволяет вычислить ДТГ — первую производную от термогравиметрической кривой, иллюстрирующую скорость уменьшения массы образца в определенное время эксперимента.

Основные технические характеристики термоанализатора STA 449 F3 Jupiter приведены в таблице [14].

Результаты исследований

На рис. 3 представлены термогравиметрические кривые поведения при термическом воздействии кабельной линии без токопроводящих жил, обработанной огнезащитной краской, в зависимости от температуры, а на рис. 4 — в зависимости от времени.

Анализ термогравиметрических кривых позволяет сделать следующие выводы. Термодеструкция кабельной оболочки начинается при температуре 204 °C на 11-й мин эксперимента. Через 40 мин эксперимента и при воздействии температуры 800 °C исследуемый образец теряет 57 % массы.

Согласно ДТГ-кривой высокая скорость потери массы образцом приходится на интервал температур 282...327 °C (8,8 %/мин ... 6,4 %/мин) с максимумом 11,2 %/мин (при 300 °C). В этот момент

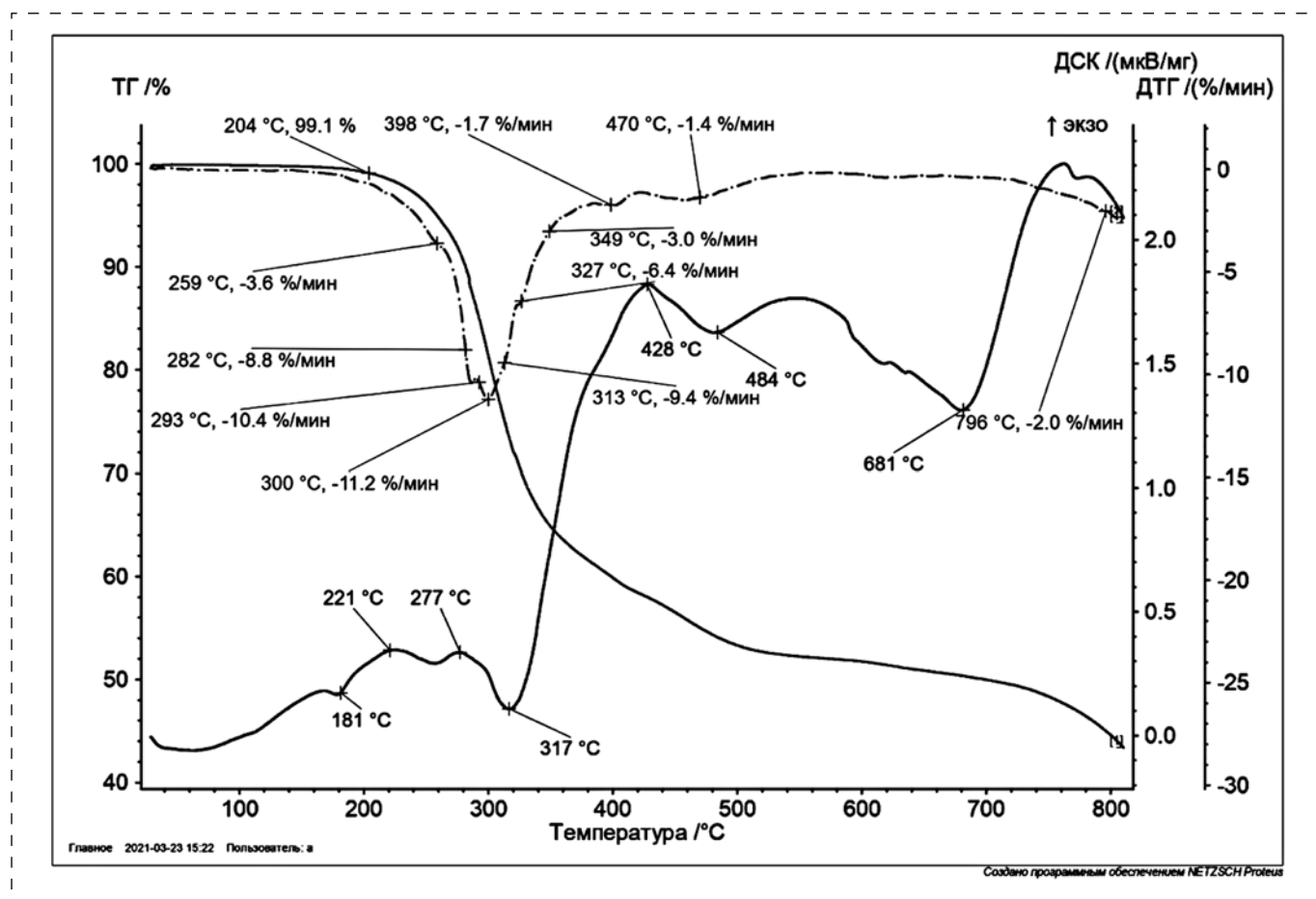


Рис. 3. Термогравиметрические кривые деструкции кабельной линии, обработанной огнезащитной краской, в зависимости от температуры

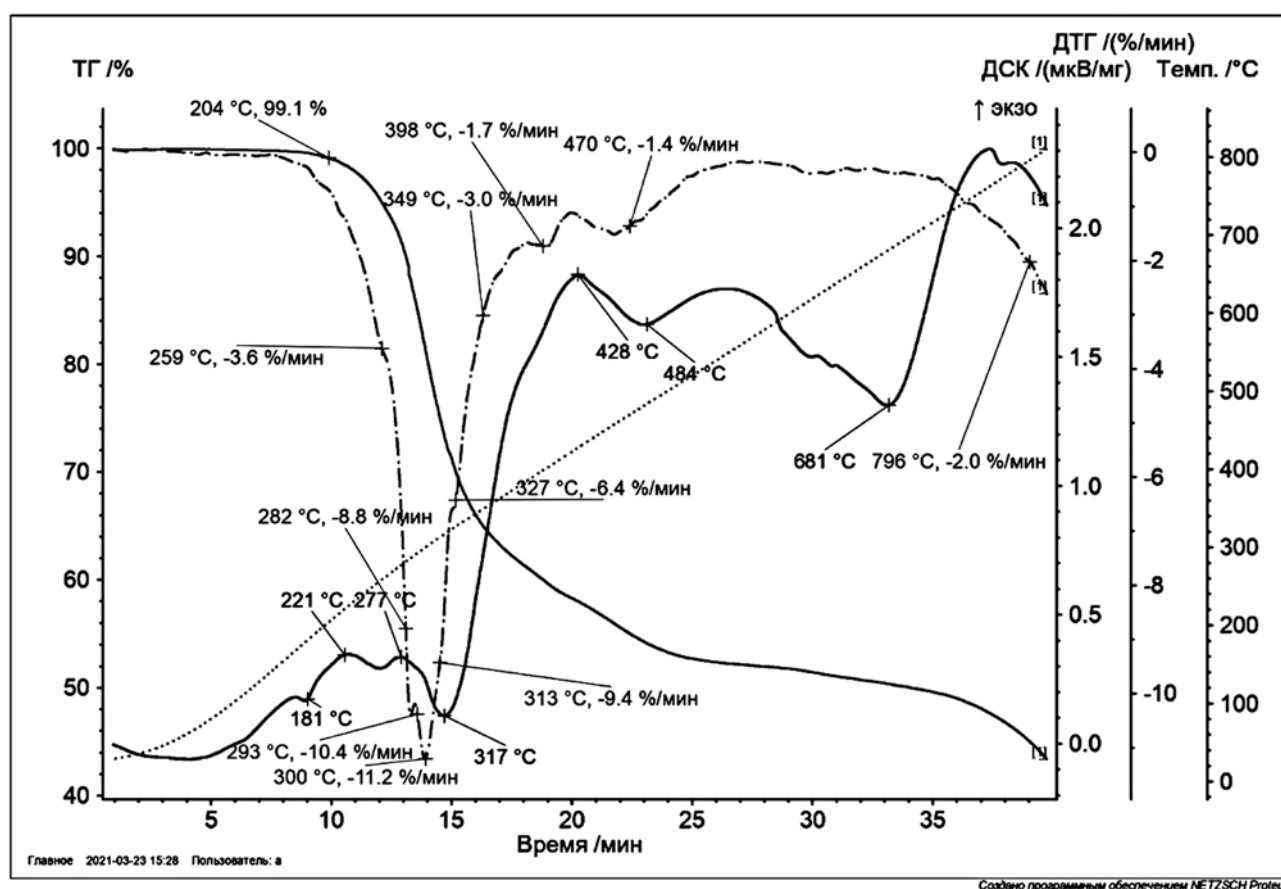


Рис. 4. Термогравиметрические кривые деструкции кабельной линии, обработанной огнезащитной краской, в зависимости от времени

от исходной массы образца остается 77 % (14-я мин эксперимента).

Для температурного интервала 204...349 °C зафиксирована интенсивная потеря массы, что, согласно данным работы [5], свидетельствует о наступлении интумесценции с выделением газов, интенсивной потерей массы и формированием пенококса. На основе анализа литературных источников [5, 6] можно считать, что при достижении температуры 428 °C и до 796 °C в исследуемом образце наступает следующая стадия — выгорание связующего огнезащитного состава, а также структурирование (карбонизация) пенококса. Небольшая потеря массы (1...2 %/мин) и сдвиг наступления этого процесса в область более высоких температур могут свидетельствовать о достаточно высокой термостойкости исследуемого образца покрытия кабеля. При этом известно, что металлические конструкции, быстро нагреваясь при пожаре, уже при 500 °C теряют несущую способность [5].

Экзотермический пик, начинающийся при температуре 796 °C, характеризует протекание сразу нескольких процессов с выделением тепла: горение связующего, отверждение и формирование пенококса, коксование, выгорание пенококса и ухудшение теплоизолирующих свойств испытуемого образца.

В работах [3, 8], по данным опыта зарубежных авторов, приводится значение температуры разрушения ПВХ-изоляции кабеля, равное 139 °C. В соответствии с п. 1.4.16 Правил устройства электроустановок температура нагрева проводников при коротком замыкании с ПВХ и резиновой изоляциями должна быть не выше 150 °C, а полиэтиленовой — не выше 120 °C. Таким образом, исследуемое защитное покрытие начинает термодеструкцию при 204 °C, что подтверждает эффективную тепловую защиту и значительный температурный запас (более 50 °C).

Ниже приведены данные о величине зольного остатка огнезащитных кабельных покрытий при 800 °С различной химической природы:

- на акриловой основе — 28 % [4];
- на основе водной полимерной дисперсии — для двух разных образцов по 15 %, для трех разных образцов 25 %, 30 %, 38 % [5];
- на основе органического растворителя — 41 % [5];
- на основе низкомолекулярного каучука — 50 % [5].

Зольный остаток исследуемого образца кабельной линии, обработанной водно-дисперсионной краской, при воздействии температуры 800 °С составляет 43 %.

Выводы

Проведенный эксперимент демонстрирует хорошие результаты термоустойчивости образца как на основе анализа термогравиметрических кривых, так и на основе сравнительного анализа с аналогичными исследованиями других авторов.

В результате экспериментальных исследований определены характеристики термодеструкции фрагмента кабеля, обработанного огнезащитной краской "ОГНЕЗА-ВД-К". Исследуемый образец термоустойчив до температуры 204 °С, выше которой начинается термодеструкция, заканчивающаяся при температуре 800 °С образованием зольного остатка в количестве 43 % от начальной массы. Наиболее интенсивно потеря массы происходит в интервале температур 204...349 °С.

Список литературы

1. Мансуров Т. Х., Беззапонная О. В., Головина Е. В., Сафронова И. Г. Применение огнезащитных интумесцентных составов для повышения пожарной безопасности кабельных изделий при одиночной и групповой прокладке // Техносферная безопасность. — 2019. — № 2 (23). — С. 65—73.
2. Можарова Н. П. О целесообразности применения отечественных огнезащитных материалов // Пожаровзрывобезопасность. — № 2. — 2004. — С. 15—17.
3. Мансуров Т. Х., Беззапонная О. В., Головина Е. В. Оценка достижения критических температур кабельного изделия с огнезащитными кабельными покрытиями по

результатам огневых испытаний при температурном режиме стандартного пожара // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. — 2020. — № 3 (7). — С. 312—315.

4. Гравит М. В., Прусаков В. А., Симоненко Я. Б. Изгибаемая конструктивная интумесцентная (3D) огнезащита строительных конструкций. URL: https://www.normaccs.info/uploads/ckeditor/attachments/4311/XXXI_MNPK_APPB-2019.pdf / Материалы XXXI Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы пожарной безопасности". — С. 63—68 (дата обращения 28.08.2021).
5. Беззапонная О. В., Пискашева А. С., Ефимов И. А., Выгузова Е. В., Глухих П. А. Диагностика температуры воздействия пожара на огнезащитные покрытия интумесцентного типа методами термического анализа // Техносферная безопасность. — 2019. — № 4 (25). — С. 73—81.
6. Мансуров Т. Х. Критерии оценки термостойкости огнезащитных кабельных покрытий различной химической природы интумесцентного типа методом синхронного термического анализа // Техносферная безопасность. — 2021. — № 2 (31). — С. 104—112.
7. Еремина Т. Ю., Гравит М. В., Дмитриева Ю. Н. Исследования электропроводности полифосфатов аммония для интумесцентных огнезащитных покрытий // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21. — № 9. — С. 38—41.
8. Мансуров Т. Х., Беззапонная О. В., Головина Е. В., Сафронова И. Г. Исследование кабельного изделия с огнезащитными покрытиями различной химической природы при температурном режиме стандартного пожара // Техносферная безопасность. — 2020. — № 3 (28). — С. 108—120.
9. Голованов В. И., Пехотиков А. В., Павлов В. В. Оценка огнезащитной эффективности покрытий для стальных конструкций // Пожарная безопасность. — 2020. — № 4 (101). — С. 43—54. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2020.101.4.004.
10. Eremina T., Korolchenko D. Fire Protection of Building Constructions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Compositions. Buildings. 2020. 10. 185. 10.3390/buildings10100185.
11. Pestereva L., Shakirov N., Shakirova O. Intumescent Type Fire Retardant Epoxy Coating. Materials Science Forum. 2020. 992. P. 605—609. 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.605
12. Официальный сайт Огнеза. URL: <https://ogneza.com/zaklyuchenie-na-termorasshiryayushhuyu-uplotnitelnuyu-lentu-ogneza-ltu.html> (дата обращения 27.07.2021).
13. Budykina T., Anosova Ye. Influence of temperature on the properties of fireproof materials. E3S Web of Conferences 264, 02065 (2021), CONMECHYDRO — 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402065> (дата обращения 13.01.2021).
14. NETZSCH STA 449 F3 Jupiter® — Совмещенный ТГ-ДСК: NETZSCH [сайт]. URL: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/ru/produkty-reshenija/sinkhronnyi-termicheskii-analiz/sta-449-f3-jupiter-sovmeshchennyyi-tg-dsk> (дата обращения 13.01.2021).



T. A. Budykina, Professor of Department, e-mail: tbudykina@yandex.ru, Academy of Civil Defence EMERCOM of Russia, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk,
R. I. Nikolaev, Lieutenant, e-mail: romchiko1999@mail.ru, Volzhsky Rescue Center EMERCOM of Russia, Samara

Thermal Destruction of the Cable Line Treated with Fire-Protective Paint

The results of thermal destruction of a cable fragment treated with fire-retardant paint "OGNEZA-VD-K" are presented. The sample under study demonstrates good thermal stability characteristics both on the basis of the analysis of thermogravimetric curves and on the basis of a comparative analysis with similar studies by other authors. The onset of thermal destruction was recorded at a temperature of 204 °C. The most intense loss of mass of the sample occurs in the temperature range 204...349 °C. The ash residue at a temperature of 800 °C is 43 % of the initial mass.

Keywords: thermal destruction, flame retardant paint, intumescence, cable line, synchronous thermal analysis, differential scanning calorimetry, thermal analyzer, thermogravimetric curves

References

1. **Mansurov T. H., Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V., Safronova I. G.** Primenenie ognezashchitnyh intumescentnyh sostavov dlya povyshe-niya pozharnoj bezopasnosti kabel'nyh izdelij pri odinochnoj i grup-povoj prokladke. *Tekhnosfer-naya bezopasnost'*. 2019. No. 2 (23). P. 65–73.
2. **Mozharova N. P.** O celesoobraznosti primeneniya otechestvennyh ognezashchitnyh materialov. *Pozharovz-ryvobezopasnost'*. 2004. No. 2. P. 15–17.
3. **Mansurov T. H., Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V.** Ocen-ka dostizheniya kriticheskikh temperatur kabel'nogo izdeliya s ognezashchitnymi kabel'nymi pokrytiyami po rezul'tatam ognevyyh ispytaniy pri temperaturnom rezhime standartnogo pozhara. *Pozharnaya i tekhnosfer-naya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya*. 2020. No. 3 (7). P. 312–315.
4. **Gravit M. V., Prusakov V. A., Simonenko Ya. B.** Izgibaemaya konstruktivnaya intumescentnaya (3D) ognezashchita stroitel'nyh konstrukcij. URL: https://www.normacs.info/uploads/ckeditor/attachments/4311/XXXI_MNPK_APPB-2019.pdf *Materialy XXXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti"*. P. 63–68.
5. **Bezzaponnaya O. V., Piskasheva A. S., Efimov I. A., Vygu-zova E. V., Gluhii P. A.** Diagnostika temperatury vozde-jstviya pozhara na ognezashchitnye pokrytiya intumescentnogo tipa metodami termicheskogo analiza. *Tekhnosfer-naya bezopasnost'*. 2019. No. 4 (25). P. 73–81.
6. **Mansurov T. H.** Kriterii ocenki termostojkosti ognezash-chitnyh kabel'nyh pokrytij razlichnoj himicheskoj prirody intumescentnogo tipa metodom sinhronnogo termicheskogo analiza. *Tekhnosfer-naya bezopasnost'*. 2021. No. 2 (31). P. 104–112.
7. **Eremina T. Yu., Gravit M. V., Dmitrieva Yu. N.** Issle-dovaniya elektroprovodnosti polifosfatov ammoniya dlya intumescentnyh ognezashchitnyh pokrytij. *Pozharovzryvobe-zopasnost'*. 2012. Vol. 21. No. 9. P. 38–41.
8. **Mansurov T. H., Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V., Safronova I. G.** Issledovanie kabel'nogo izdeliya s ognezash-chitnymi pokrytiyami razlichnoj himicheskoj prirody pri temperaturnom rezhime standartnogo pozhara. *Tekhnosfer-naya bezopasnost'*. 2020. No. 3 (28). P. 108–120.
9. **Golovanov V. I., Pekhotikov A. V., Pavlov V. V.** Evaluation of fire-retardant effectiveness of coatings for steel structures. *Pozharnaya bezopasnost'*. 2020. No. 4 (101). P. 43–54. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2020.101.4.004.
10. **Eremina T., Korolchenko D.** Fire Protection of Building Con-structions with the Use of Fire-Retardant Intumescent Com-positions. *Buildings*. 2020. 10. 185. 10.3390/buildings10100185.
11. **Pestereva L., Shakirov N., Shakirova O.** Intumescent Type Fire Retardant Epoxy Coating. *Materials Science Forum*. (2020). 992. P. 605–609. 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.605
12. **Oficial'nyj sayt Ogneza.** URL: <https://ogneza.com/zaklyuchenie-na-termorasshiryayushhuyusya-uplotnitelnuyu-lentu-ogneza-ltu.html> (date of access 27.07.2021).
13. **Budykina T., Anosova Ye.** Influence of temperature on the properties of fireproof materials. *E3S Web of Confer-ences* 264, 02065, CONMECHYDRO — 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402065> (date of access 13.01.2021).
14. **NETZSCH STA 449 F3 Jupiter®** — Sovmeshchennyj TG-DSK. URL: NETZSCH [sajt]. URL: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/ru/produkty-resheniya/sinkhronnyi-termicheskii-analiz/sta-449-f3-jupiter-sovmeshchennyi-tg-dsk> (date of access 13.01.2021).

УДК 358.2, 537.6, 543

А. В. Рычков, д-р техн. наук, доц., e-mail: sniii_iv@mail.ru,

Г. Н. Щербаков, д-р техн. наук, проф., e-mail: scherbakovgn@mail.ru, Военный учебно-научный центр Сухопутных войск "Общевойсковая ордена Жукова академия Вооруженных Сил Российской Федерации", Москва,

Н. А. Соколов, ст. науч. сотр., e-mail: snii_iv@mail.ru, **Д. А. Рябухин**, науч. сотр., e-mail: snii_iv@mail.ru, Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск Минобороны России, Московская обл., Нахабино

К вопросу создания дорожных инженерных разведывательных машин с многоканальными системами обнаружения взрывоопасных предметов

Приведен обзор мирового опыта решения проблемы обнаружения взрывоопасных предметов (ВОП) и перспективы создания технических средств обнаружения ВОП на маршрутах движения войск в современных условиях. Рассмотрены проблемы обнаружения ВОП и возможности их решения с помощью комплекса косвенных методов поиска и методов прямого обнаружения взрывчатых веществ. Проведен анализ истории создания дорожных широкозахватных средств, предназначенных для разведки минирования дорог и местности. Дан обзор общемировых тенденций в области развития систем разминирования путей движения таких, как модульное построение, совместимость с экипажными и безэкипажными платформами, способность адаптироваться ко многим видам угроз, обеспечение обновления встроенных программных средств для снижения стоимости. Представлен проект перспективного роботизированного комплекса с комплектом оборудования для обнаружения и разминирования ВОП в зависимости от типа базового шасси и с учетом всех возможных типов угроз в нескольких вариантах базового шасси. Отмечено, что основным отличием перспективного комплекса является включение в его состав системы прямого обнаружения взрывчатых веществ на основе нейтронных методов элементного анализа и многоканальной магнитометрической системы поиска, обеспечивающей возможность построения с помощью программной обработки карты магнитных аномалий для оценки глубины залегания и характера расположения объекта поиска в грунте.

Ключевые слова: машина, защищенная от мин, машина, защищенная от мин и обстрелов, обнаружения взрывоопасных предметов, системы разминирования, поиск объектов, магнитометрическая система, системы прямого обнаружения, нейтронные методы элементного анализа

Введение

Начало современным МРАВ (Mine Protected Armoured Vehicle — машинам, защищенным от мин) и MRAP (Mine Resistant Ambush Protected — машинам, защищенным от мин и обстрелов) было положено после Второй мировой войны, когда бывшие колониальные территории массово получали независимость в процессе локальных вооруженных конфликтов [1]. Новой угрозой в этих конфликтах явилась минная война и постоянные обстрелы транспорта.

Состояние вопроса

В 1970-е годы в Родезии было впервые разработано и применено транспортное средство, защищенное от мин и получившее название Леопард (рис. 1) [2]. Основой для МРАВ Леопард послужил фургон-микроавтобус Volkswagen Transporter, кузов и двигатель которого полностью демонтировались, ходовая часть приподнималась, а к днищу крепился V-образный экран для защиты от мин.

Опыт применения МРАВ Леопард показал их высокую живучесть [2]. Леопард стал первой



Рис. 1. Общий вид МРАВ Леопард

массовой машиной, защищавшей экипаж при подрыве на минах, однако требовалось средство, которое позволяло бы обнаруживать взрывные устройства, установленные в дорожном покрытии на пути движения техники [3].

Основной проблемой всех транспортных средств является большое удельное давление колеса на грунт, приводящее к срабатыванию контактных взрывателей мин. Снизить удельное давление на грунт позволила установка широких шин от болидов "Формулы-1" на шасси МРАВ Леопард, но еще нужно было установить миноискатель и убрать лишние места размещения экипажа. За основу был взят тот же Volkswagen Transporter, новая машина с миноискателем получила название Пуки (Pookie) (рис. 2) [4].

В период с 1976 по 1980 г. было создано около 70 машин с миноискателем Пуки. За время их использования было обнаружено около 500 мин,



Рис. 2. Машина с миноискателем Пуки (Pookie)

при этом ни одной машины не было уничтожено в результате подрыва на мине.

В тот же период в СССР для разведки путей движения и маневра войск в инженерных войсках был разработан и принят на вооружение дорожный индукционный миноискатель ДИМ-М на базе автомобиля УАЗ-469 (рис. 3) [5]. Миноискатель ДИМ-М являлся дорожным широкозахватным индукционным средством, предназначенным для разведки минирования дорог и местности. Он обеспечивал обнаружение в зоне шириной до 2,2 м противотанковых мин в металлических корпусах, установленных в грунт на глубину до 25 см. Миноискатель ДИМ-М был снабжен автостопом, автоматически останавливавшим машину в момент обнаружения мины при движении со скоростью до 10 км/ч.

Было изготовлено также несколько образцов миноискателя ДИМ-М на базе бронетранспортеров для повышения защищенности экипажа от осколков и при обстрелах, но широкого применения они не получили, так как противотанковые мины стали применяться в пластиковых корпусах, а бронетранспортеры не обеспечивали требуемой защиты экипажа при подрыве (рис. 4) [6].

К настоящему времени рассмотренные средства морально устарели, так как были разработаны на устаревших схемотехнических решениях и элементной базе и не отвечали современным требованиям.

В области развития зарубежных систем разминирования путей движения войск на данный момент имеется несколько тенденций [7, 8]: модульное построение, совместимость с экипажными и безэкипажными платформами; способность адаптироваться ко многим видам угроз; обеспечение обновления встроенных программных средств для снижения стоимости модернизации.



Рис. 3. Дорожный индукционный миноискатель ДИМ-М



Рис. 4. Миноискатель ДИМ-М на базе бронетранспортера БРДМ

В Великобритании а 2004 г. были начаты работы по созданию машины PEROCC (Pearson Engineering Route Opening and Clearing Capability) для военных инженеров. Целью было создать инженерную машину, способную обеспечить обнаружение и обезвреживание взрывных устройств, а также обеспечить проделывание проходов в минных полях (рис. 5) [9]. Проект предусматривал использование серийного коммерческого шасси, выпускаемого компанией Caterpillar (США). Фронтальная часть машины PEROCC имеет броневой корпус оригинальной конструкции многоугольного сечения с V-образным днищем. В задней части кабины находилась платформа для установки боевого модуля. По данным разработчика машина PEROCC имеет баллистическую и противоминную защиту 3-го уровня по стандарту STANAG 4569, выдерживает обстрел бронебойными винтовочными пулями калибра 7,62 мм или подрыв 8 кг тротила под колесом или днищем [9].

Машина BUFFALO, разработанная компанией Force Protection (США) для инженерных



Рис. 5. Машина PEROCC

подразделений стран НАТО, классифицируется как защищенное от взрывов саперное транспортное средство (MPCV), создана на шасси южноафриканского бронетранспортера Casspir (рис. 6) [10].

MPCV BUFFALO оснащена алюминиевой броней, имеет V-образное шасси и обеспечивает живучесть экипажа при подрыве 18 кг взрывчатого вещества (ВВ) в тротиловом эквиваленте под колесом и 12 кг под днищем. Она способна выдерживать огонь огнестрельного оружия (вплоть до калибра 7,62) и ручных противотанковых гранатометов (сбоку и сверху). MPCV BUFFALO оборудована дистанционно управляемой "рукой-манипулятором" с захватом, которая используется для досмотра в радиусе 7 м подозрительных предметов и определения их типа [10].

Принципиально новым изделием является машина разминирования HUSKY, созданная для инженерных подразделений американской армии и имеющая модификации, выполняющие задачи в безэкипажном режиме.

Машина HUSKY разработана компаниями Critical Solutions International (США) и DCD-Dorbyl Rolling Stock Division (ЮАР). Она оборудована металлодетектором и подповерхностным радаром HMDS (HUSKY Mounted Detection System), разработанным компанией NIITEK (США). Данные поисковые системы совмещают алгоритмы автоматического распознавания целей в реальном времени и систему глобального позиционирования GPS (рис. 7).

Конструкция машины HUSKY оригинальная, но построена по принципу классических машин MPAV и MRAP. Она оборудована манипулятором, применяемым для досмотра обнаруженных подозрительных объектов, мин и самодельных взрывных устройств [11].



Рис. 6. MPCV BUFFALO



Рис. 7. Машина HUSKY

Компанией NIITEK для машины HUSKY проводилась модернизация подповерхностных радаров за счет интегрирования усовершенствованного металлодетектора STMR (Single Transmit Multiple Receive — одноканальная передача многоканальный прием), являющегося разработкой компании Minelab (Австралия). Компания NIITEK анонсировала, что данная модернизация позволит обнаруживать объекты, установленные на глубине до 2,5 м под поверхностью грунта, при этом все сенсоры будут объединены в единую систему, обеспечивающую построение 3D-изображений объектов в грунте [12].

Так же машина HUSKY оснащается разработанной компанией TORC Robotics (США) обзорной видеосистемой наблюдения и системой самозащиты QNET от компании QinetiQ North Americas (США) для защиты от обстрела из ручных противотанковых гранатометов.

Для создания подобных систем в России, которые были бы способны обеспечивать ведение инженерной разведки в темпе движения войск в современных условиях ведения боевых действий

мобильными силами, требуется разработка автоматизированных и роботизированных машин с учетом опыта применения данных систем в зарубежных странах [13, 14].

Предложения по концепции создания комплекса обнаружения и разминирования взрывоопасных предметов

Анализ опыта создания и применения дорожных машин обеспечения движения и разминирования показывает, что предъявление требований защиты базового шасси от подрыва и требований по обеспечению защищенности машины при подрыве должно быть обязательным. Максимальная скорость базового шасси менее 50 км/ч является недостаточной для движения в составе высококомбинированных колонн. Вместе с тем требования к средствам обнаружения взрывоопасных предметов (ВОП) в грунте должны соответствовать современному техническому уровню средств данного назначения.

Создание перспективного комплекса с комплектом оборудования для обнаружения и разминирования ВОП, в зависимости от типа базового шасси и с учетом возможных типов ВОП, должно быть предусмотрено в вариантах как автономного функционирования образца (без экипажа), так и передвижения с экипажем под управлением водителя-оператора, что в случае создания роботизированной дорожной инженерной разведывательной машины необходимо при протяженных перегонах к месту выполнения задач [15]. Отсюда следует концепция перспективной дорожной инженерной разведывательной машины (рис. 8), которая должна включать следующий комплекс оборудования.

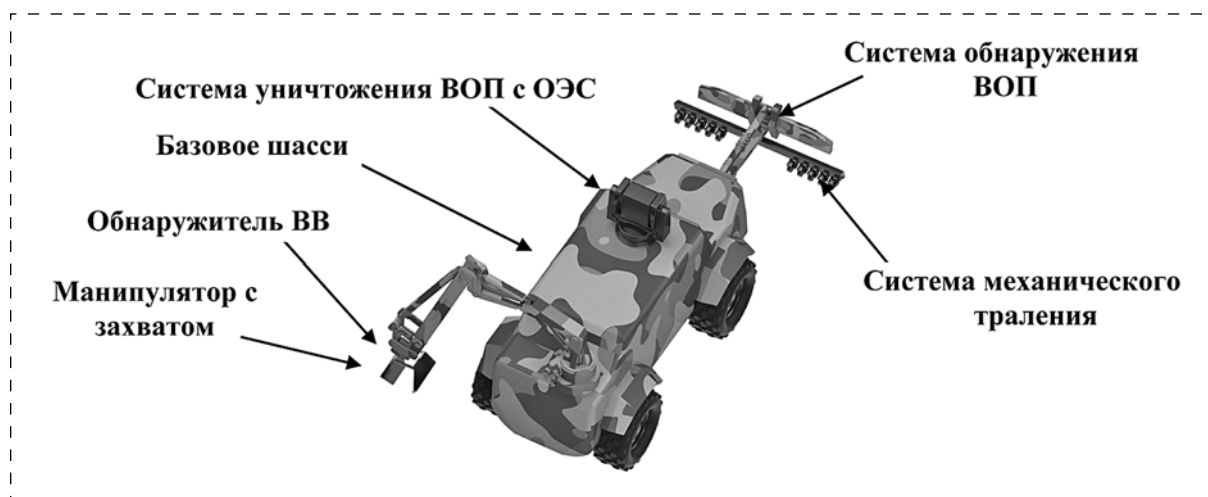


Рис. 8. Технический облик дорожной инженерной разведывательной машины

1. Базовое шасси серийное или специальное, обеспечивающее максимальную скорость движения по шоссе при управлении водителем до 100...150 км/ч. Должна обеспечиваться живучесть экипажа при подрыве не менее 8 кг взрывчатых веществ (ВВ) под днищем или колесом, экипаж машины — 2—3 человека.

2. Система механического траления, включающая катковый трал.

3. Система обнаружения ВОП под поверхностью, включающая несколько каналов поиска: индукционный MD, радиолокационный GPR и дополнительно для идентификации ферромагнитных объектов может быть применена многоканальная магнитометрическая система (ММС).

4. Система доразведки ВОП, включающая обнаружитель ВВ на основе нейтронных методов элементного анализа, размещенный на гидравлическом манипуляторе со сменным рабочим оборудованием (захват, ковш).

5. Система уничтожения ВОП на основе лазерного излучения с оптико-электронной системой (ОЭС) наблюдения (на поверхности).

6. Система постановки радиопомех, активной и пассивной защиты от противобортовых мин.

Многоканальная магнитометрическая система может включать несколько чувствительных элементов, расположенных в пространстве по принципу градиентометра. Чтобы повысить точность измерений целесообразно одновременно регистрировать сигналы с нескольких чувствительных элементов, закрепленных на единой "жесткой" конструкции, расположенных рядом на некотором расстоянии друг от друга перпендикулярно траектории движения. Дополнительным преимуществом такой системы будет являться увеличение ширины зоны поиска вдоль направления движения, обеспечивая пропорциональное увеличение темпа ведения разведки и сокращение времени поиска [16]. Разработана и представлена на рис. 9 блок-схема алгоритма автоматической обработки сигналов в ММС.

Алгоритм программной реализации математической обработки сигналов в разработанной ММС включает:

- ввод данных по магнитной индукции;
- применение программной фильтрации и усиления по амплитуде сигналов;
- расчет получаемых данных по магнитной индукции параллельно для каждого магнитометра;
- расчет глубины залегания и расчет магнитного момента объекта поиска;
- оценка достоверности результата.

На основе разработанного алгоритма и программной реализации обработки сигналов создан

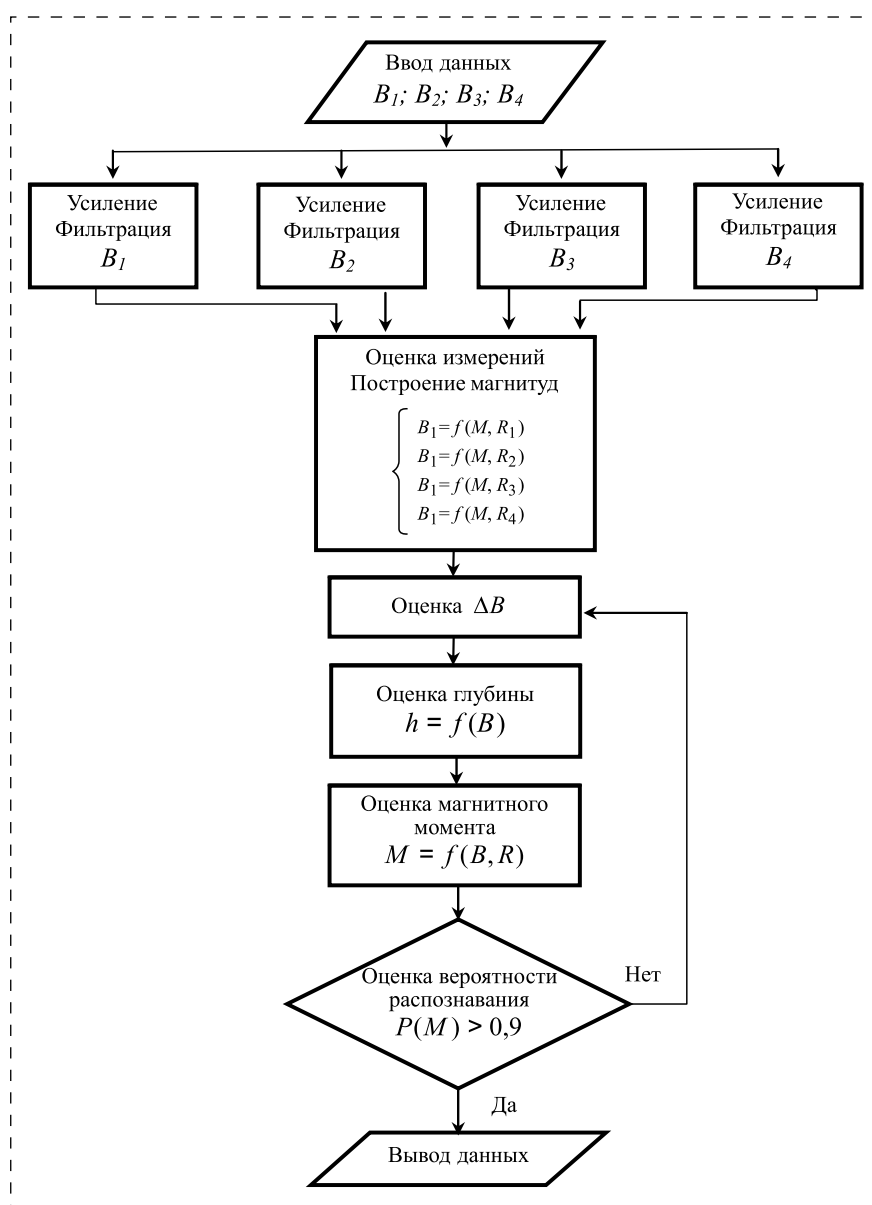


Рис. 9. Алгоритм программной реализации обработки сигналов в разработанной ММС



Рис. 10. Макет ММС

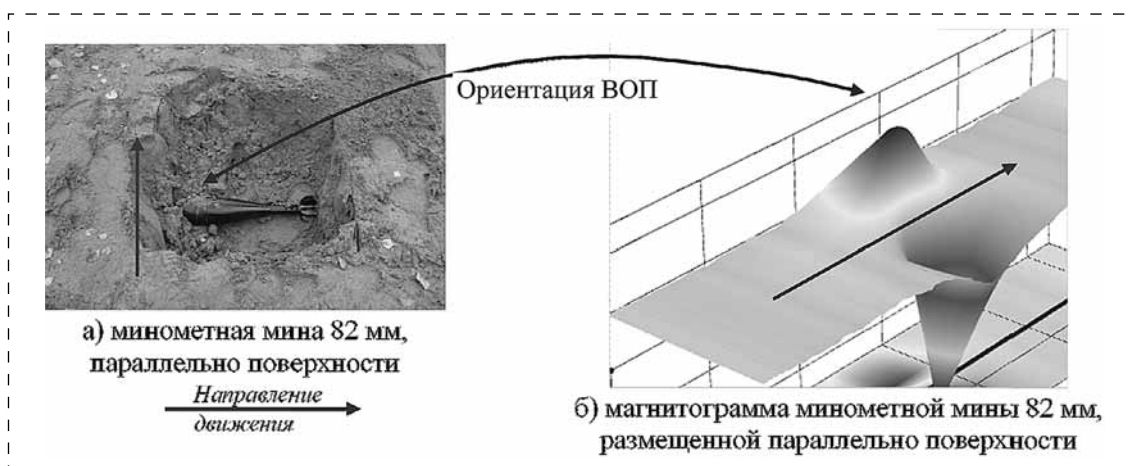


Рис. 11. Результаты экспериментальных исследований зависимости сигнатур от типа и ориентации ВОП

макет ММС и проведены его экспериментальные исследования (рис. 10).

Результаты экспериментальных исследований зависимости формы полученных сигнатур реальных ВОП от их типа и пространственной ориентации показаны на рис. 11.

Обнаружитель ВВ на основе нейтронных методов элементного анализа из состава системы доразведки ВОП позволяет локализовать фиксированный объем грунта и проанализировать его элементный состав, исключив из рассмотрения окружающих материалов сигнал ВОП в целом, что

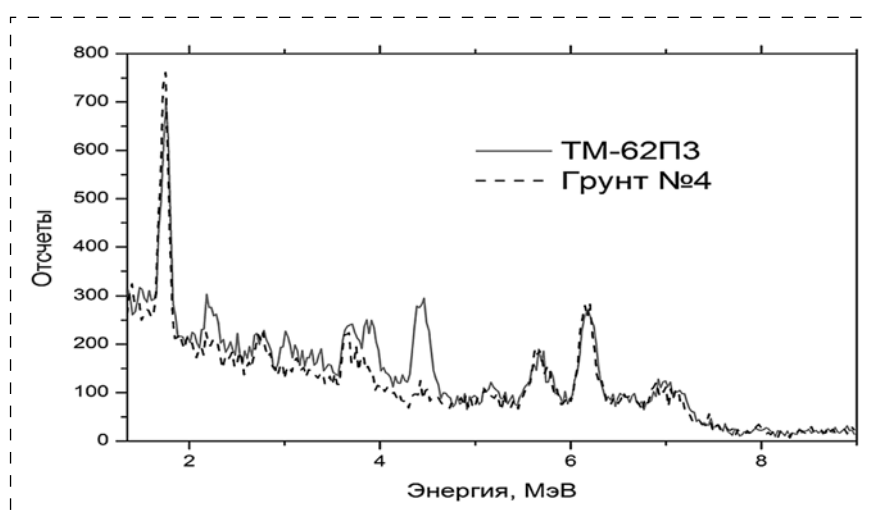


Рис. 12. Экспериментальные исследования обнаружения ВВ в составе мины ТМ-62ПЗ (грунт № 4 — суглинок, глубина установки — 0,13 м)

значительно повышает точность анализа ВВ (за счет увеличения соотношения сигнал/шум) [17].

Ввиду того факта, что данный метод позволяет проводить элементный анализ только уплотненных сред, он слабо чувствителен к химическому составу грунта, что определяет его высокую эффективность при обнаружении ВВ в составе ВОП, установленных в грунт.

Достоверность и применимость нейтронных методов элементного анализа для обнаружения ВВ подтверждается экспериментальными исследованиями (рис. 12).

Расположение обнаружителя ВВ целесообразно на конце манипулятора машины в целях применения его для идентификации подозрительных объектов без риска для жизни и здоровья личного состава инженерно-саперных подразделений.

Заключение

Применение предложенной многоканальной магнитометрической системы в качестве целевой нагрузки будет обладать рядом преимуществ перед применяемыми в настоящее время методами поиска и позволит добиться следующих результатов:

- оценивать ориентацию и глубину залегания объекта поиска в грунте;
- определять тип объекта поиска.

Таким образом, разработка эффективных дистанционных методов обнаружения ВОП, создание перспективных автоматизированных дорожных инженерных разведывательных машин, оснащенных многоканальными системами обнаружения взрывоопасных предметов, в том числе магнитометрических, а также средств прямого обнаружения ВВ является актуальной задачей, требует внедрения передовых научных достижений по сенсорным устройствам и технологиям защиты. Новизна предложенного технического решения подтверждается патентами РФ RU202581U1 [18] и RU201140U1 [19].

Список литературы

1. **Остоич Никола М.** Modern weapons and military equipment for issue no. 2-2016 // Vojnoteh. glas. 2016. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modern-weapons-and-military-equipment-for-issue-no-2-2016> (дата обращения 05.05.2021).

2. **Leopard-Land** Mine Resisting Vehicle. URL: <http://baragwanath.co.za/leopard/> (дата обращения 05.05.2021).
3. **Leopard security** vehicle. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Leopard_security_vehicle (дата обращения 05.05.2021).
4. **Pookie** (vehicle). URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pookie_\(vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pookie_(vehicle)) (дата обращения 05.05.2021).
5. **Дорожный индукционный миноискатель** ДИМ. URL: <http://saper.isnet.ru/technica/dim.html> (дата обращения 05.05.2021).
6. **БРДМ-2** (ГАЗ-41). URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/БРДМ-2> (дата обращения 05.05.2021).
7. **More mrap**s mpvs. URL: <https://www.defenseindustrydaily.com/more-mraps-1200-maxxpro-mpvs-from-navistar-03344/> (дата обращения 05.05.2021).
8. **Robotic Systems** Joint Project Office Unmanned Ground Systems Roadmap ADDENDUM July 2012. URL: <http://amrel.com/wp-content/uploads/2013/01/RSJPO-Unmanned-Ground-Systems-Roadmap-2012.pdf> (дата обращения 05.05.2021).
9. **PEROCC** — Pearson Engineering Route Opening and Clearing Capability. URL: <https://www.pearson-eng.com> (дата обращения 05.05.2021).
10. **Buffalo** (mine protected vehicle). URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Buffalo_\(mine_protected_vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Buffalo_(mine_protected_vehicle)) (дата обращения 05.05.2021).
11. **HUSKY** Critical Solutions International. URL: <https://c-s-i.com> (дата обращения 05.05.2021).
12. **Sensors** and information/counter explosive hazard/ied detection. URL: <https://www.chemring.co.uk/what-we-do/sensors-and-information/counter-explosive-hazard/ied-detection> (дата обращения 06.05.2021).
13. **Робототехнический комплекс** разминирования "Уран-6". URL: <https://766uptk.ru/index.php?do=static&page=uran-6> (дата обращения 06.05.2021).
14. **Pentagon** Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042. URL: <https://news.usni.org/2018/08/30/pentagon-unmanned-systems-integrated-roadmap-2017-2042> (дата обращения 06.05.2021).
15. **Роботизированный КАМАЗ**. URL: https://kamaz.ru/press/releases/sozdan_robotizirovanny_kamaz/ (дата обращения 06.05.2021).
16. **Соколов Н. А.** Многоканальная магнитометрическая система для разминирования больших территорий // Сб. материалов XV Всероссийской научно-практической конференции "Перспективные системы и задачи управления" и XI молодежной школы семинара "Управление и обработка информации в технических системах". — Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2020. — С. 214—220.
17. **Амурский А. Г., Батяев В. Ф., Беличенко С. Г.** и др. Нейтронные методы элементного анализа: Учебное пособие. — М.: Буки Веди, 2018. — 158 с.
18. **Дорожная инженерная машина** разведки. Патент Российской Федерации от 26.10.2020 № RU202581U1.
19. **Четырехзондовый магнитометрический искатель**. Патент Российской Федерации от 30.11.2020 № RU201140U1.



A. V. Rychkov, Associate Professor, e-mail: cniii_iv@mail.ru,
G. N. Shcherbakov, Professor, Military Training and Research Center of the Ground Forces "Combined Arms Order of Zhukov Academy of the Armed Forces of the Russian Federation
N. A. Sokolov, Senior Researcher, **D. A. Ryabukhin**, Researcher, Central Research Testing Institute of Engineering Troops" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Nakhbino, Moscow Region,

On the Issue of Creating Road Engineering Reconnaissance Vehicles with Multi-Channel Systems for Detecting Explosive Objects

The article provides an overview of the experience of solving the problem of detecting explosive objects (VOP), and the prospects for creating means to combat VOP on the routes of the movement of troops in modern conditions. The article considers the problems of detection of VOP and the possibility of solving them by combining the combined methods of search together with the method of direct detection of explosives. The analysis of the history of the creation of road wide-reach equipment designed for exploration for mining roads and localities is carried out. The article provides an overview of the global trends in the development of path-sharing systems at the moment, such as modular construction, compatibility with crewed and unmanned platforms, the ability to adapt to many types of threats, and the provision of updates to the built-in software to reduce cost. It is proposed to create a promising robotic complex with a set of equipment for detecting and clearing VOP, depending on the type of base chassis and taking into account all possible types of threats in several versions of the base chassis. The main difference between the prospective complex, in addition to non-crew operation, is the inclusion of a system for direct detection of GPS based on neutron methods of elemental analysis and a multi-channel magnetometric search system, which provides the ability to build a map of magnetic anomalies using software processing to assess the depth of occurrence and the nature of the location of the search object in the ground.

Keywords: mine protected armored vehicle, mine resistant ambush protected vehicle, explosive object detection, mine clearance systems, object search, magnetometric system, direct detection systems, neutron element analysis methods

References

1. **Ostoich Nikola M.** Modern weapons and military equipment for issue No. 2-2016. *Vojnoteh. glas.* 2016. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modern-weapons-and-military-equipment-for-issue-no-2-2016> (date of access 05.05.2021).
2. **Leopard-Land** Mine Resisting Vehicle. URL: <http://baragwanath.co.za/leopard/> (date of access 05.05.2021).
3. **Leopard** security vehicle. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Leopard_security_vehicle (date of access 05.05.2021).
4. **Pookie** (vehicle). URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pookie_\(vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pookie_(vehicle)) (date of access 05.05.2021).
5. **Road** induction mine detector DIM. URL: <http://saper.isnet.ru/tehnica/dim.html> (date of access 05.05.2021).
6. **BRDM-2** (GAZ-41). URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/БРДМ-2> (date of access 05.05.2021).
7. **More mraps** mpvs. URL: <https://www.defenseindustrydaily.com/more-mraps-1200-maxxpro-mpvs-from-navistar-03344/> (date of access 05.05.2021).
8. **Robotic Systems** Joint Project Office Unmanned Ground Systems Roadmap ADDENDUM July 2012. URL: <http://amrel.com/wp-content/uploads/2013/01/RSJPO-Unmanned-Ground-Systems-Roadmap-2012.pdf> (date of access 05.05.2021).
9. **PEROCC-Pearson** Engineering Route Opening and Clearing Capability URL: <https://www.pearson-eng.com> (date of access 05.05.2021).
10. **Buffalo** (mine protected vehicle). URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Buffalo_\(mine_protected_vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Buffalo_(mine_protected_vehicle)) (date of access 05.05.2021).
11. **HUSKY** Critical Solutions International. URL: <https://c-s-i.com> (date of access 05.05.2021).
12. **Sensors** and information/counter explosive hazard/ied detection. URL: <https://www.chemring.co.uk/what-we-do/sensors-and-information/counter-explosive-hazard/ied-detection> (date of access 06.05.2021).
13. **Robotic mine** clearance complex "Uran-6". URL: <https://766uprk.ru/index.php?do=static&page=uran-6> (date of access 06.05.2021).
14. **Pentagon** Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042. URL: <https://news.usni.org/2018/08/30/pentagon-unmanned-systems-integrated-roadmap-2017-2042> (date of access 06.05.2021).
15. **A robotic KAMAZ** was created. November 5, 2019. URL: https://kamaz.ru/press/releases/sozdan_robotizirovanny_kamaz/ (date of access 06.05.2021).
16. **Sokolov N. A.** Multichannel magnetometric system for mine clearance of large territories. *Collection of materials of the XV All-Russian Scientific and practical conference "Perspective systems and management tasks" and the XI Youth School of the seminar "Management and information processing in technical systems"*. Rostov-on-Don; Taganrog: Publishing House of the Southern Federal University, 2020. — P. 214—220.
17. **Amursky A. G., Batyaev V. F., Belichenko S. G.** et al. Neutron methods of element analysis: Textbook. Moscow: Buki Vedi, 2018. 158 p.
18. **Road engineering** reconnaissance vehicle. Patent of the Russian Federation No. RU202581U1 dated 26.10.2020.
19. **Four-probe magnetometric finder**. Patent of the Russian Federation No. RU201140U1 dated 30.11.2020.

УДК 551.515.9

К. Б. Лиев, канд. физ.-мат. наук, зав. отделом, e-mail: buffy-li@mail.ru,
С. А. Кушев, мл. науч. сотр. отдела, e-mail: stasuk6@mail.ru, Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Особенности перемещения градовых ячеек в центральной части Северного Кавказа

Статья посвящена анализу перемещения мощных конвективных градовых ячеек по территории центральной части Северного Кавказа. Рассмотрены исследования, проведенные ранее в этой области, и проанализированы полученные результаты. Выявлены недостатки предыдущих исследований: использование материалов наблюдений за градом, а также данных метеорологических станций и постов, которые не показывают пространственного распределения перемещения градовых облаков. Кроме того, для метеорологического анализа использовались станции, расположенные до высоты 1000 м над уровнем моря, что не дает полной картины градоопасности. Отмечено, что в настоящее время имеется возможность исследовать мощные конвективные облака с помощью радиолокатора, который полностью охватывает территорию исследования независимо от труднодоступности, а также использовать программное обеспечение, благодаря чему появилась возможность создания базы данных радиолокационной характеристики градовых облаков.

Ключевые слова: град, градовые облака, траектории градовых ячеек

Введение

В России выпадение града отмечается практически на всей территории страны, где возможно развитие активных конвективных процессов. Северный Кавказ является одним из наиболее градоопасных районов Российской Федерации. Сложность орографии, высокая температура подстилающей поверхности, а также большое влагосодержание воздушных масс, приходящих с бассейна Черного моря, обуславливают развитие интенсивных градовых процессов. В ряде регионов происходят катастрофические градобития, почти полностью уничтожающие посевы сельскохозяйственных культур и приносящих огромный материальный ущерб населению.

Цель исследования — изучение особенностей перемещения градовых облаков по территории центральной части Северного Кавказа.

Методика исследований

Применение радиолокатора в метеорологии позволило получить качественно новую информацию — общую картину пространственного распределения градовых облаков на большой площади при большом пространственном и временном разрешении. Все полученные данные

основываются только на радиолокационной информации. Как показано во многих работах, например, [1, 2] сравнение радиолокационных данных с наземными измерениями дает вполне удовлетворительный для практики результат.

Исследование проводилось с помощью автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса (АМРК) "МетеоХ", расположенного на научно-исследовательском полигоне "Кызбурун". Основа комплекса — двухволновый метеорологический радиолокатор МРЛ-5. Система АМРК "МетеоХ" дает возможность автоматической обработки получаемой информации.

Радиолокатор позволяет проводить наблюдения за местоположением и передвижением областей осадков, и с помощью его можно получать данные об интенсивности осадков в пределах действия радиолокатора. Осадки ослабляют радиолокационный луч и этот эффект проявляется наиболее сильно при использовании коротковолновых радиолокаторов. К сожалению, длинноволновые радиолокационные установки не обнаруживают слабые осадки, как это делают коротковолновые радиолокаторы. Используемый в процессе исследования метеорологический двухволновый радиолокатор МРЛ-5 с длинами волн: $\lambda = 3,2$ см, $\lambda = 10$ см, имеет эффективную дальность действия 130 км [3, 4].



Результаты и их обсуждение

Проанализированы 60 конвективных ячеек. В данном исследовании рассмотрены отдельные градовые ячейки всех известных типов градовых процессов: одноячейковых, многоячейковых упорядоченных, многоячейковых неупорядоченных, суперячейковых и процессов переходного типа [5]. Как известно, суперячейковые и большинство многоячейковых процессов Северного Кавказа формируются в горной зоне (первый максимум), в основном в междуречье верховий Кубани и Малки, на границе Кабардино-Балкарии и Карачаево-Черкесии [6–8]. Этот факт базируется на результатах исследований, проведенных в семидесятых-восемидесятых годах прошлого века, где отмечалось, что области регистрации первого радиоэха градовых ячеек варьируются от

года к году. При этом второй максимум располагается обычно в центральной части Кабардино-Балкарии. Результаты анализа радиолокационных данных показывают, что за исследуемый период большая часть градовых процессов сформировались в междуречье Чегема и Черема Балкарского.

За период наблюдений с июня по август 2017 г. в районе работ было отмечено 37 дней с ливнями и грозами, 23 дня со шквалистым усилением ветра, 20 дней с градом. Развитие грозоградовых процессов в течение наблюдения было обусловлено взаимодействием холодных влажных полярных масс воздуха с тропическими массами воздуха, образованием циклонов и обострением фронтальных разделов, при наличии струйных течений меридионального направления [9, 10].

Синоптическая ситуация в дни с градом приведена в таблице.

Характеристики синоптической ситуации в дни с градом

Дата	Тип воздушных масс	Тип процесса, направление и скорость перемещения фронта, время суток	Характер термобарического поля	
			На 1000 мб	На 500 мб
02.06.2017	Полярная	Холодный фронт с северо-запада (СЗ), скорость 15 км/ч, после 16:00	Ложбина с северо-востока	Ложбина с севера
07.06.2017	Полярная	Холодный фронт с СЗ, скорость 15 км/ч, после 16:00	Ложбина с юга с циклоном на юго-востоке и на северо-западе Черного моря	Ложбина с северо-запада от высотного циклона на северо-западе Черного моря
10.06.2017	Тропическая	Фронт окклюзии, скорость 15 км/ч, после 13:00	Ложбина с юга от циклона южнее Анкары	Передняя часть циклона с центром над Черным морем
11.06.2017	Полярная	Холодный фронт с СЗ, скорость 10 км/ч, после 13:00	Ложбина от циклона с центром в Ростове	Передняя часть ложбины с северо-запада
22.06.2017	Полярная	Холодный фронт с СЗ, скорость 15 км/ч, после 13:00	Гребень с запада	Ложбина с севера
23.06.2017	Полярная	Холодный фронт с СЗ, скорость 15 км/ч, после 16:00	Гребень с запада	Ложбина с севера
29.06.2017	Полярная	Холодный фронт с СЗ, скорость 15 км/ч, 12:00	Ложбина с северо-востока	Передняя часть ложбины с севера
30.06.2017	Полярная	Фронт окклюзии вдоль гор, скорость 10 км/ч, 12:00	Гребень с юго-запада	Ложбина с севера
04.07.2017	Полярная	Холодный фронт с СЗ, скорость 20 км/ч, 16:00	Ложбина с северо-запада	Передняя часть ложбины с северо-запада
16.07.2017	Полярная	Холодный фронт с СЗ, скорость 15 км/ч, 18:00	Ложбина с юга	Гребень с юга
19.07.2017	Тропическая	Холодный фронт с СЗ, скорость 15 км/ч, 18:00	Ложбина с юго-запада	Ложбина с северо-запада
29.07.2017	Полярная	Холодный фронт с СЗ, скорость 15 км/ч, 16:00	Малоградиентное поле пониженного давления от циклона в районе Кишинева	Передняя часть ложбины с северо-запада
8.08.2017	Полярная	Фронт окклюзии вдоль гор, скорость 15 км/ч, 12:00	Ложбина с юго-востока	Ложбина с северо-запада
9.08.2017	Полярная	Фронт окклюзии с юго-юго-запада, скорость 10 км/ч, 17:00	Ложбина с юга	Гребень с запада-юго-запада
23.08.2017	Полярная	Холодный фронт с запада, скорость 30 км/ч, 12:00	Ложбина вдоль гор	Передняя часть ложбины с северо-запада
25.08.2017	Полярная	Холодный фронт с северо-востока, скорость 15 км/ч, 13:00	Поле повышенного давления	Ложбина с северо-запада

По радиолокационным данным были построены карты перемещения градовых облаков в зоне наблюдений (рис. 1 и 2 — см. 3-ю стр. обложки).

На картах кружочками показаны зоны зарождения градового облака, а стрелки указывают на направление и место диссипации. Больше всего случаев выпадения града было в предгорных зонах Зольского, Баксанского, Чегемского, Черекского районах Кабардино-Балкарской Республики, а также на территории Республики Северная Осетия — Алания. В равнинной части республик в 2017 г. града почти не наблюдалось. На рис. 3 приведены данные о перемещении градовых ячеек в 2017 г., зафиксированные в центральной части Северного Кавказа. Из рисунка видно, что преобладающее количество перемещений градовых облаков имеет северо-восточное, восточное и юго-восточное направление. Как видно из рис. 3, за период наблюдений не зафиксировано перемещение градового облака в северо-западном направлении и зафиксирован всего один случай перемещения в западном направлении.

Территория наблюдений за облаками, находящаяся в радиусе обзора радиолокационной станции Высокогорного геофизического института, расположена в южной климатической зоне умеренных широт. Формирование грозоградовых облаков происходит под воздействием глобальных процессов и местных орографических особенностей данного региона. Активизация конвективных процессов в теплый период года обусловлена главным образом двумя факторами [4, 7]:

- близостью Черного моря, лежащего на пути западных вторжений, приводящего к понижению температуры и повышению увлажнения воздуха;
- влиянием Главного Кавказского хребта, задерживающего продвижение атмосферных

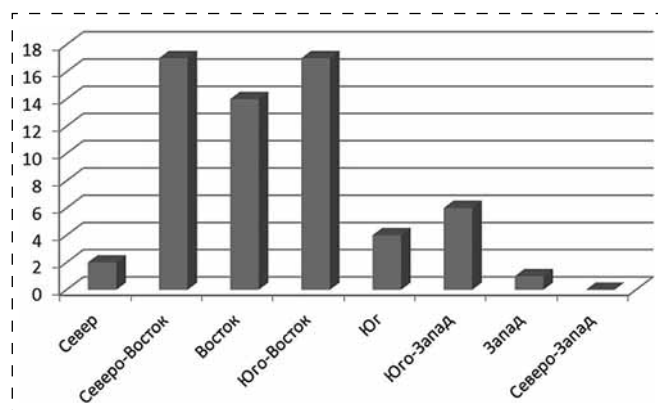


Рис. 3. Гистограммы перемещения градовых ячеек в центральной части Северного Кавказа в 2017 г.

фронтов и способствующего их стационарированию, волнообразованию и окклюдированию.

В заключении можно отметить, что среднесезонное количество дней с градом убывает с северо-запада на юго-восток. В теплый период года над Северным Кавказом преобладает воздушный поток западного направления, обычно сопровождающийся вторжением полярных, реже арктических воздушных масс.

Выводы

В результате взаимодействия крупномасштабной циркуляции с особенностями рельефа регионов Северного Кавказа возникают условия, способствующие изменению интенсивности фоновое конвективного процесса. Для центрального региона Северного Кавказа при преобладании юго-западного переноса в средней тропосфере и северо-западного в нижней тропосфере наибольшее количество осадков отмечается в равнинных и предгорных районах до высоты 1000 м. Следует отметить, что полученные при исследовании данные хорошо согласуются с данными, приведенными в работах [3, 10]. Дополняя проделанную работу новыми и полученными ранее данными, можно более точно определить перемещения градовых облаков, что позволит дать рекомендации противорадовым службам и сельскому хозяйству.

Список литературы

1. Баркова М. В., Инюхин В. С., Макитов В. С. Радиолокационная структура и динамика развития отдельных градовых ячеек // Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию "Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР. — Нальчик, 2015. — С. 271—282.
2. Лиев К. Б., Малкаров А. С. Сопоставление радиолокационных и наземных измерений осадков по результатам 2010 г. в горных районах Кабардино-Балкарии // Известия вузов Северо-Кавказского региона. Естественные Науки. — 2011. — № 6. — С. 36—40.
3. Лиев К. Б., Кушев С. А., Долова М. Л. Сравнительный анализ количества осадков в летний период 2014 г. в центральной части Северного Кавказа // Метеорология и гидрология. — 2017. — № 8. — С. 105—109.
4. Лиев К. Б., Долова М. Л. Исследование радиолокационных и физических параметров конвективных облаков для оценки их пригодности к воздействию // Устойчивое развитие горных территорий. — 2017. — Т. 9. — № 3 (33). — С. 233—239.
5. Инюхин В. С., Лиев К. Б., Кушев С. А., Макитов В. С. Радиолокационные исследования распределения районов формирования первого радиозола градовых облаков // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Ч. 1. Нальчик, 2017. — С. 311—319.
6. Инюхин В. С., Лиев К. Б., Кушев С. А., Березинский И. Н., Суспицына Ю. В. Радиолокационные



характеристики градовых облаков [Электронный ресурс] Доступ из локальной сети ФГБУ "ВГИ" — номер регистрации (свидетельства) 2017620749 от 10.07.2017 г.

7. **Инюхин В. С., Лиев К. Б., Кушев С. А.** Районирование территории Кабардино-Балкарской Республики по степени градовой активности // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Ч. 2. Нальчик, 2017. — С. 127—133.
8. **Инюхин В. С., Калов Х. М., Кушев С. А., Макитов В. С.** Радиолокационные характеристики осадков при различных соотношениях града и дождя в зоне выпадения // Доклады Адыгской Международной Академии наук. — 2014. — Т. 16. — № 2. — С. 109—115.

9. **Inyukhin V. S., Kushchev S. A., Liev K. B., Makitov V. S.** Radar studies of the distribution of the formation zones of the first radar echo of hail clouds // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. — 2016. — Vol. 52. — No. 6. — P. 615—621.
10. **Барекова М. В., Инюхин В. С., Макитов В. С.** Комплексные исследования интенсивного градового процесса, развивавшегося над центральной частью Северного Кавказа // Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбурской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР. — Нальчик, 2015. — С. 264—271.

K. B. Liev, Head of Department, e-mail: buffy-li@mail.ru,
S. A. Kushchev, Junior Researcher of Department, High-mountain Geophysical Institute, Nalchik

Features of the Movement of Hail Cells in the Central Part of the North Caucasus

The article is devoted to the analysis of the movement of powerful convective hail cells over the territory of the central part of the North Caucasus. The authors reviewed the studies carried out earlier in this area and analyzed the results of the obtained works. The disadvantages of the previous studies are: use of materials, hail observations, meteorological stations and posts, and the fact they do not show the spatial distribution of hail cloud movements; for meteorological analysis, stations located up to 1000 m above sea level were used, which does not give us a complete picture of hail hazard. Now it is possible to study powerful convective clouds with the help of radar, which completely covers the territory of the study regardless of the inaccessibility. Also the software was used, which made it possible to create a database of radar characteristics of hail clouds.

Keywords: hail, hail clouds, hail cell trajectories

References

1. **Barekova M. V., Inyukhin V. S., Makitov V. S.** Radiolocation structure and dynamics of development of individual hail cells. *Papers of All-Russian Open Conference on Cloud Physics and Active Impacts on Hydrometeorological Processes, dedicated to the 80th anniversary of the Elbrus High Mountain Complex Expedition of the USSR Academy of Sciences*. 2015. P. 271—282.
2. **Liev K. B., Malkarov A. S.** Comparison of radar and ground precipitation measurements from 2010 in the mountainous regions of Kabardino-Balkaria. *Izvestia of North Caucasus Region's Higher Education Institutions. Natural Sciences*. 2011. No. 6. P. 36—40.
3. **Liev K. B., Kushev S. A., Dolova M. L.** Comparative analysis of the amount of precipitation in the summer of 2014 in the central part of the North Caucasus. *Meteorology and Hydrology*. 2017. No. 8. P. 105—109.
4. **Liev K. B., Dolova M. L.** Study of radar and physical parameters of convective clouds to assess their suitability for impact. *Sustainable development of mountainous areas*. 2017. Vol. 9. No. 3 (33). P. 233—239.
5. **Inyukhin V. S., Liev K. B., Kushchev S. A., Makitov V. S.** Radar studies of the distribution of areas of formation of the first radio echo of hail clouds. *Papers of the All-Russian Conference on Cloud Physics and Active Influences on Hydrometeorological Processes*. P. 1. Nalchik, 2017. P. 311—319.
6. **Inyukhin V. S., Liev K. B., Kushchev S. A., Berezinsky I. N., Suspitsina U. V.** Radar characteristics of hail clouds. *Data base No. 2017620749*. 10.07.2017.
7. **Inyukhin V. S., Liev K. B., Kushchev S. A.** Rationing of the territory of the Kabardino-Balkarian Republic according to the degree of hail activity. *Papers of the All-Russian Conference on Cloud Physics and Active Influences on Hydrometeorological Processes*. P. 2. Nalchik, 2017. P. 127—133.
8. **Inyukhin V. S., Kalov H. M., Kushchev S. A., Makitov V. S.** Radar characteristics of precipitation at different ratios of hail and rain in the precipitation area. *Reports of the Adyghe International Academy of Sciences*. 2014. Vol. 16. No. 2. P. 109—115.
9. **Inyukhin V. S., Kushchev S. A., Liev K. B.** Radar studies of the distribution of the formation zones of the first radar echo of hail clouds. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2016. Vol. 52. No. 6. P. 615—621.
10. **Barekova M. V., Inyukhin V. S., Makitov V. S.** Comprehensive studies of the intense hail process developing over the central part of the North Caucasus. *Reports of the All-Russian Open Conference on Cloud Physics and Active Effects on Hydrometeorological Processes, dedicated to the 80th anniversary of the Elbrus High Mountain Complex Expedition of the USSR Academy of Sciences*. 2015. P. 264—271.

В. Ф. Мартынюк, д-р техн. наук, проф., e-mail: anaopa@gmail.com, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва

COVID-19 как цепная реакция. Динамика распространения и критические условия

Рассмотрена модель распространения коронавирусной инфекции COVID-19 на основе представлений, принятых при анализе цепных реакций. В качестве определяющего параметра системы принималось число инфицированных, способных инфицировать окружающих. Изучено влияние изменения параметров, связанных с управленческими решениями, на число инфицированных, рассматриваемых как запас системы, определяющий ее динамическое поведение. Определены критические значения коэффициента передачи инфекции, определяющие достижение коллективного иммунитета. Показано, что для достижения коллективного иммунитета необходима всеобщая вакцинация.

Ключевые слова: COVID-19, распространение инфекции

Введение

Распространение новой коронавирусной инфекции (COVID-19) представляет серьезную опасность для всего человечества и требует принятия управленческих решений, последствия которых не всегда однозначно предсказуемы. Это во многом связано с недостаточным пониманием того, какие параметры определяют распространение инфекции.

При этом для описания пандемии предложены многочисленные модели, некоторые из которых проанализированы в работе Цзяньси Луо [1]. Однако и в самой работе, и в ее названии подчеркивается, что множество неизвестных факторов затрудняет прогнозирование. Это является обычным делом для динамически сложных систем.

Динамическое поведение системы всегда проявляет неожиданные свойства, если имеются нелинейные зависимости или задержки. А именно такой системой является распространение COVID-19, характерной особенностью которой является наличие задержек в откликах на возмущение, при которых поведение системы выглядит неожиданным, контринтуитивным.

Цель исследования: представить модель, описывающую развитие пандемии с учетом влияния нелинейных эффектов и задержек. При этом в качестве основного подхода в модели использовать представления, принятые при рассмотрении цепных реакций.

1. Модель распространения инфекции

При моделировании динамического поведения сложной системы важно выделить параметры, которые будут наиболее полно отражать изменение системы. В случае COVID-19 в прессе обычно приводят значения числа заразившихся за последние

сутки, а также числа выздоровевших. Кроме того, рассматривается общее число заразившихся и выздоровевших. Однако динамическое состояние системы определяют не эти параметры. В системной динамике самое главное — это выделить запас, то, что имеется в определенном количестве, накоплено за какой-то период времени, в чем отражается хронология изменения потоков в системе. Запас в свою очередь определяется потоками, при этом входные потоки увеличивают запас системы, а выходные — уменьшают. Так вот в случае COVID-19 число заразившихся и выздоровевших являются потоками и их значение не определяет в полной мере состояние системы. Запасом же системы является количество зараженных, не количество заразившихся за все время, а количество зараженных на данный момент. Поток заразившихся пополняет этот запас, а поток выздоровевших и умерших от болезни уменьшает его. Именно этот запас — количество зараженных — определяет состояние системы, и именно динамика изменения этого запаса важна для понимания состояния системы и принятия управленческих решений.

Рассмотрим модель распространения инфекции, основанную на подходах, принятых при описании цепных реакций. Подобный подход использовался, например, в работе В. М. Гольдберга в предположении, что в каждом случае в эпидемии будет заражено ограниченное число людей [2]. В данной работе рассмотрена динамика распространения эпидемии на этапе, когда число потенциальных жертв не ограничено, а все меры по ее ограничению присутствуют в модели в виде изменения коэффициента передачи инфекции.

Важно понимать, что основным показателем распространения инфекции является текущее число инфицированных x (запас системы). Это некий аналог активных центров в цепных реакциях. Тогда изменение запаса определяется разницей входных



и выходных потоков. Сумма двух потоков, связанных с прибытием зараженных извне и передачей вируса от больных к здоровым, определяют входной поток. А сумма потоков выздоровевших и умерших — полный выходной поток.

Одна из составляющих входного потока — число прибывших зараженных извне n_0 не зависит от количества зараженных, в то время как количество зараженных за счет передачи вируса в единицу времени пропорционально имеющемуся числу зараженных x , и это самый главный поток в системе. Тогда входной поток определяется как $n_0 + fx$, где f — коэффициент передачи инфекции или относительная доля заразившихся за единицу времени — количество зараженных одним носителем в единицу времени. В качестве единицы времени в дальнейшем рассматриваются сутки. Коэффициент f характеризует вероятность передачи инфекции. Это обычная вещь для цепной реакции, где этот показатель называется коэффициентом разветвления цепей.

Ситуация с выходным потоком несколько отличается от обычного обрыва цепей в цепных реакциях. Выходной поток — это число вылечившихся и умерших за единицу времени. При этом число умерших имеет порядок нескольких процентов от числа выздоровевших, и с хорошим приближением эта сумма равна количеству людей, заразившихся ранее. Предположим, что человек заразен с момента инфицирования до момента выздоровления. Обозначим этот отрезок времени t_{inf} . Предположим также, что все заразившиеся болеют (т. е. способны заражать других) одно и то же время t_{inf} . Тогда выходной поток в момент t равен входному потоку в момент $t - t_{inf}$. Действительно, заразившиеся в момент $t - t_{inf}$ люди никуда не делись и к моменту t либо вылечились, либо умерли. Тогда выходной поток в момент времени t определяется как входной поток в момент времени $t - t_{inf}$, обозначенный как $f(t - t_{inf})x(t - t_{inf})$. Здесь коэффициент передачи инфекции f тоже берется в момент времени $(t - t_{inf})$ и поэтому имеет соответствующее обозначение.

Тогда скорость изменения числа зараженных x в момент времени t определяется уравнением

$$dx/dt = n_0 + fx(t) - f(t - t_{inf})x(t - t_{inf}). \quad (1)$$

Рассмотрим распространение инфекции с самого начала, с появления "нулевого пациента". В начальный период выздоровевших и прибывших извне зараженных еще нет. Тогда в правой части уравнения (1) остается только второй член:

$$dx/dt = fx(t).$$

При начальном условии $x(0) = 1$ решение уравнения имеет вид:

$$x(t) = \exp(ft). \quad (2)$$

Это соответствует распространению инфекции в Китае в течение первого месяца [3], когда изменение числа зараженных подчиняется экспоненциальной зависимости, и в первом приближении коэффициент передачи инфекции f в уравнении (2) равен 0,3 человека/сутки. Это значение f и будет использоваться в модели для иллюстрации динамики распространения инфекции на начальном этапе, когда никаких мер по ограничению не принимается.

По истечении времени t_{inf} появляется выходной поток. При этом уравнение (1) не имеет аналитического решения даже при отсутствии притока зараженных извне n_0 . Поэтому перепишем уравнение (1) в виде конечных приращений:

$$\Delta x(t_{i+1})/\Delta t = f(t_i)x(t_i) - f(t_i - t_{inf})x(t_i - t_{inf}). \quad (3)$$

Здесь индекс i обозначает, что переменная относится к i -м суткам после появления первого пациента, $\Delta x(t_{i+1})$ — прирост за $(i+1)$ -е сутки.

Так как в качестве размерности выбраны сутки ($\Delta t = 1$), то прирост числа зараженных за $(i+1)$ -е сутки составит:

$$\Delta x(t_{i+1}) = f(t_i)x(t_i) - f(t_i - t_{inf})x(t_i - t_{inf}).$$

Тогда число зараженных через сутки определяется по уравнению:

$$x(t_{i+1}) = x(t_i) + f(t_i)x(t_i) - f(t_i - t_{inf})x(t_i - t_{inf}). \quad (4)$$

В уравнении (4) учитывается, что коэффициент передачи инфекции может меняться во времени, поэтому могут использоваться разные значения для $f(t_i)$ и $f(t_i - t_{inf})$.

Для определения периода времени, в течение которого инфицированный человек является распространителем инфекции t_{inf} , проведен анализ изменения во времени числа заразившихся, числа выздоровевших и умерших [4]. Оказалось, что это число равно числу заразившихся две-три недели назад на начальном этапе эпидемии и приблизительно одному месяцу на ее катастрофическом этапе через год после начала. В дальнейшем при расчетах по данной модели используется время t_{inf} , равное 30 дням.

2. Результаты расчетов

В сделанных предположениях проведен расчет распространения коронавируса с нулевого времени, когда появился "нулевой пациент". Исследуемым параметром явилось число зараженных x как запас системы, определяющий ее динамику.

Развитие эпидемии в первый месяц в соответствии с выражением (2) соответствует экспоненциальному закону. Если за первые 10 дней заболевает всего лишь 20 человек, то к концу месяца их число приближается к 10 000 человек.

Через месяц в соответствии с предположениями рассмотренной модели начинают выздоравливать первые заразившиеся (сначала это один человек), и у запаса появляется выходящий поток. Поэтому дальше расчет ведется по уравнению (4). Но при коэффициенте передачи инфекции, равном 0,3, выходной поток почти не оказывает влияния на динамику процесса распространения болезни. Это видно, если посмотреть на представленные на рисунке результаты расчетов. На графике на оси абсцисс время приведено в сутках, прошедших с момента появления "нулевого пациента", а по оси ординат представлено количество зараженных. Видно, что особого изменения в первые двадцать дней в динамике распространения инфекции не наблюдается, а еще через двадцать дней распространение инфекции принимает катастрофический характер, когда число заразившихся превышает уже полтора миллиона.

Далее рассмотрим динамический отклик системы на принимаемые управленческие решения. В модели предполагается, что в борьбе с пандемией на 50-й день распространения вводится локдаун, что выражается в уменьшении значения $f(t_i)$ с 0,3 до 0,01. Однако значение $f(t_i - t_{inf})$ при этом еще в течение 30 дней остается равным 0,3.

Даже при таких жестких ограничениях виден продолжающийся рост числа зараженных, которое достигает 1375 тысяч через 17 дней, и только потом начинается спад. Еще через 22 дня без притока зараженных извне инфекцию удастся победить.

При менее жестких ограничениях по распространению инфекции ($f(t_i) = 0,02$ после 50 суток неограниченного распространения) число инфицированных продолжит расти еще в течение 20 дней до значения 2 127 000 человек, после чего начнется более медленный спад с окончанием на 103-е сутки с начала распространения. При этом любые послабления в ограничениях, приводящие к увеличению коэффициента передачи инфекции f , вызовут

постепенный, но неуклонный рост числа зараженных, и как следствие, числа заразившихся за сутки (входной поток) с дальнейшим взрывным ростом (вторая и последующие волны).

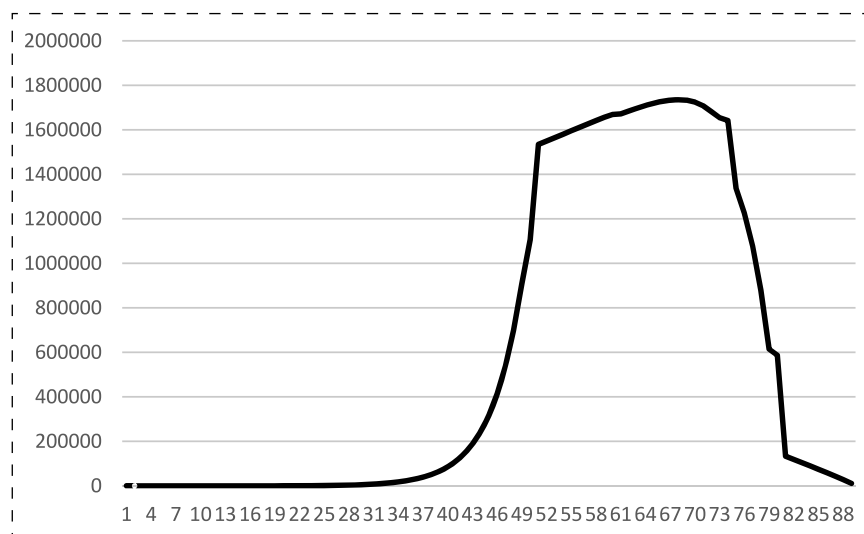
Понятно, что ограничить распространение инфекции можно только при условии, что больной за время болезни заразит менее одного человека. В представленной модели это означает, что в конце болезни показатель степени в экспоненте не должен превышать $\ln 2$, что при времени болезни 30 суток соответствует критическому значению $f_{кр} = 0,023$. При условии $f > f_{кр}$, победить инфекцию вообще невозможно. Как только коэффициент распространения превышает $f_{кр}$ при любых начальных условиях начинается следующая волна инфекции. Например, отмена масочного режима приводит к увеличению значения f приблизительно в полтора раза. Также в разы увеличивают коэффициент передачи инфекции новые штаммы. Модель показывает, к каким катастрофическим последствиям это приводит.

Добиться $f < f_{кр}$ означает, что коэффициент передачи инфекции необходимо уменьшить более чем в 13 раз по сравнению с первоначальным значением. Если такого коэффициента передачи инфекции удастся добиться без применения ограничительных мер, то это означает достижение коллективного иммунитета. Видно, что добиться этого при существующей эффективности вакцин и ограниченности по времени иммунитета переболевших можно только путем всеобщей вакцинации. Если же время выздоровления уменьшить до двух недель, то критическое значение коэффициента передачи инфекции увеличится до 0,049.

В действительности не все зараженные одинаково влияют на динамику развития ситуации. Часть из них находится в тяжелом состоянии в больнице в относительной изоляции, часть на самоизоляции, часть не знает о своем заболевании. Для каждой из этих категорий коэффициенты уравнения будут разные.

Коэффициент f также не является константой и меняется в зависимости от ограничительных мер и по мере нарастания популяционного иммунитета. Поэтому система уравнений, описывающих динамическое развитие системы, должна включать переменные n_0 и f для каждой категории зараженных. Варьируя эти коэффициенты по времени в соответствии с эмпирическими данными и предполагаемыми управленческими решениями, можно численным методом моделировать различные пути развития эпидемии.

Именно число инфицированных, которое определяется как запас системы, характеризует динамическое состояние системы и нагрузку на медучреждения, которая пропорциональна



Распространение коронавирусной инфекции



величине числа инфицированных (запаса). В свою очередь эта нагрузка является критическим параметром, определяющим возможность оказать необходимую помощь. И если в массовом сознании наибольшее внимание привлекают не запасы, а потоки — число заразившихся, выздоровевших, умерших, то при принятии решений власти ориентируются в первую очередь на нагрузку медицинских учреждений, которая определяется количеством тяжелобольных. В свою очередь количество тяжелобольных отражает состояние системы, так как они являются частью запаса, доля которого довольно устойчива.

Выводы

Модель распространения коронавирусной инфекции как цепной реакции с числом зараженных в качестве определяющего параметра (запаса системы распространения пандемии) позволяет оценить характер и масштаб контринуитивного динамического поведения системы.

Принятое предположение, что количество заболевших за день (входной поток) в любой момент времени равно количеству выздоровевших за день

(выходной поток) через отрезок времени, равный времени болезни, определяет значительное отставание отклика системы на управленческие решения, связанные с изменением коэффициента передачи инфекции.

Критическое значение коэффициента передачи инфекции, определяющее достижение популяционного иммунитета, больше чем на порядок меньше значения на начальном этапе развития COVID-19 в Китае. Учитывая мутацию вируса, это свидетельствует о необходимости всеобщей вакцинации как обязательного условия преодоления кризиса.

Список литературы

1. **Jianxi Luo.** Forecasting COVID-19 pandemic: Unknown Unknowns and predictive monitoring. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 166. May 2021. 120602. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120602>.
2. **Гольдберг В. М.** Динамика распространения коронавируса в аспекте кинетики химических реакций // *Известия Академии наук. Серия химическая*. — 2020. — № 10. — С. 2022—2028.
3. <https://blogs.uainfo.org/uploads/media/topic/2020/01/30/10/ec6626c3a2fa55020aac.jpg> (дата обращения 08.09.2021).
4. <https://infotables.ru/meditsina/1197-tablitsa-koronavirusa> (дата обращения 28.06.2021).

V. Ph. Martynyuk, Professor, e-mail: anaopa@gmail.com, Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow

COVID-19 as a Chain Reaction. Propagation Dynamics and Critical Conditions

A model of the spread of COVID-19 coronavirus infection is presented based on the concepts adopted in the analysis of chain reactions. The number of infected people capable to infect others was taken as the determining parameter of the system. The influence of changes in the parameters associated with management decisions on the number of infected people, considered as a reserve of the system that determines its dynamic behavior, is studied. The critical values of the transmission coefficient of infection that determine the achievement of collective immunity are determined. It is shown that overall vaccination is necessary to achieve collective immunity.

Keywords: gas leak, explosive mixture, gas-air explosion, explosions in residential buildings

References

1. **Jianxi Luo.** Forecasting COVID-19 pandemic: Unknown Unknowns and predictive monitoring. *Technological Forecasting and Social Change*. Vol. 166, May 2021, 120602. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120602>.
2. **Gol'dberg V. M.** Dinamika rasprostraneniya koronavirusa v aspekte kinetiki himicheskikh reakcij. *Izvestiya Akademii nauk. Seriya himicheskaya*, 2020, No. 10. P. 2022—2028.
3. <https://blogs.uainfo.org/uploads/media/topic/2020/01/30/10/ec6626c3a2fa55020aac.jpg> (date of access 08.09.2021).
4. <https://infotables.ru/meditsina/1197-tablitsa-koronavirusa> (date of access 28.06.2021).

Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2., оф. 45

Телефон редакции журнала 8 (499) 270-16-52, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>

Телефон главного редактора 8 (921) 960-41-75, e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Н. В. Яшина*

Сдано в набор 08.09.21. Подписано в печать 15.10.21. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ BG1121. 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



Русак Олег Николаевич
(09.01.1937 – 21.10.2021)

На 85 году жизни скоропостижно скончался Олег Николаевич Русак, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Заслуженный эколог РФ, главный редактор журнала «Безопасность жизнедеятельности».

Окончив в 1962 г. Ленинградский горный институт, Олег Николаевич несколько лет проработал на горных предприятиях Российского Севера. После возвращения в Горный институт он защищает кандидатскую диссертацию.

В 1968 г. начинается его преподавательская деятельность в Лесотехнической академии, с 1976 г. он – заведующий кафедрой «Охрана труда», впоследствии ставшей кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» в соответствии с названием новой научно-образовательной области. За внедрение системы подготовки специалистов в этой области в высших учебных заведениях Олег Николаевич в 2003 г. в составе группы специалистов был отмечен Премией Президента РФ.

Олег Николаевич Русак – создатель (1993 г.) и бессменный Президент Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), имеющей более 100 отделений в Российской Федерации и ряде зарубежных стран. Академия – ассоциированный член Департамента общественной информации ООН (с 200 г.), представлена в Экологическом и социальном Совете ООН (ECOSOC) – с 2003 г.

С журналом «Безопасность жизнедеятельности» Олег Николаевич связан с момента создания. Он – член редакционного Совета первого состава. Как главный редактор он возглавил журнал в июле 2008 г. За это время выпущено более 150 номеров, причем выходили они с каждым годом во все более сложных условиях, зависящих не от качества работы журнала, а от «формальных» обстоятельств. Вот и весь последний год своей жизни он активно занимался связанными с этим проблемами. Впрочем, не только ими. Достаточно сказать, что за несколько часов до кончины он провел видеоконференцию по актуальным проблемам экологической безопасности и природообустройства. Ему было трудно, но он провел конференцию до конца. Таким был Олег Николаевич во всем. Нам будет не хватать его – известного ученого, талантливого педагога, крупного организатора и прекрасного человека.

*Издательство «Новые технологии»,
редакционный совет, редколлегия и редакция журнала.*

Издательство «НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» выпускает научно-технические журналы



Научно-практический и учебно-методический журнал

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В журнале освещаются достижения и перспективы в области исследований, обеспечения и совершенствования защиты человека от всех видов опасностей производственной и природной среды, их контроля, мониторинга, предотвращения, ликвидации последствий аварий и катастроф, образования в сфере безопасности жизнедеятельности.

Подписной индекс по Объединенному каталогу
«Пресса России» – 79963



Ежемесячный теоретический
и прикладной научно-
технический журнал

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В журнале освещаются современное состояние, тенденции и перспективы развития основных направлений в области разработки, производства и применения информационных технологий.

Подписной индекс по
Объединенному каталогу
«Пресса России» – 72656

Междисциплинарный
теоретический и прикладной
научно-технический журнал

НАНО- и МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

В журнале освещаются современное состояние, тенденции и перспективы развития нано- и микросистемной техники, рассматриваются вопросы разработки и внедрения нано микросистем в различные области науки, технологии и производства.



Подписной индекс по
Объединенному каталогу
«Пресса России» – 79493



Ежемесячный теоретический
и прикладной
научно-технический журнал

МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ

В журнале освещаются достижения в области мехатроники, интегрирующей механику, электронику, автоматику и информатику в целях совершенствования технологий производства и создания техники новых поколений. Рассматриваются актуальные проблемы теории и практики автоматического и автоматизированного управления техническими объектами и технологическими процессами в промышленности, энергетике и на транспорте.

Подписной индекс по
Объединенному каталогу
«Пресса России» – 79492

Теоретический
и прикладной
научно-технический журнал

ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

В журнале освещаются состояние и тенденции развития основных направлений индустрии программного обеспечения, связанных с проектированием, конструированием, архитектурой, обеспечением качества и сопровождением жизненного цикла программного обеспечения, а также рассматриваются достижения в области создания и эксплуатации прикладных программно-информационных систем во всех областях человеческой деятельности.



Подписной индекс по
Объединенному каталогу
«Пресса России» – 22765

Адрес редакции журналов для авторов и подписчиков:

107076, Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2, оф. 45. Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ".

Тел.: (499) 270-16-52. E-mail: antonov@novtex.ru