



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

Редакционный совет:

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

Главный редактор

РУСАК О. Н., д.т.н., проф.

Зам. главного редактора

ПОЧТАРЕВА А. В.

Редакционная коллегия:

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

6(198)
2017

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Русак О. Н. Термины и определения в области безопасности деятельности 3

ОХРАНА ТРУДА

Михайлов В. А., Сотникова Е. В., Калпина Н. Ю. Оценка работы водоиспарительного локального воздухоохладителя кабин наземных транспортных средств 7

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Свинцов А. П., Абдулина А. Ш. Оценка надежности инфраструктурных сетей водоснабжения и обеспечение населения питьевой водой при их отказе 13

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Гера В. И., Аитов Р. Н., Калмыков Е. В. К вопросу идентификации опасности при анализе риска эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры 20

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Березуцкий А. Ю., Катин В. Д. Результаты экологических исследований газомазутных горелочных устройств трубчатых печей и разработка новой конструкции горелочного устройства 29

Юшин В. В., Кирильчук И. О. Геоинформационный учет и оценка опасности стихийных несанкционированных свалок 34

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Боброва О. Б., Свиридова Т. В. Загрязнение почв тяжелыми металлами под влиянием объектов размещения отходов металлургической промышленности 43

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

Бобович Б. Б., Новахов Г. Г. Разработка технологии утилизации нефтесодержащих шламов 49

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Агаев Т. Д., Ибрагимова Н. З. Роль ветрового режима в формировании штормовых волн на Каспийском море и безопасность жизнедеятельности 55

Дрозд Г. Я. Влияние военно- политической обстановки юго -востока Украины на экологическое состояние поверхностных водоемов 59

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



LIFE SAFETY

BEZOPASNOST' ZHIZNEDATELNOSTI

The journal published since
January 2001

Editorial board

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

Editor-in-chief

RUSAK O. N., Dr. Sci. (Tech.)

Deputy editor-in-chief

POCHTAREVA A. V.

Editorial staff

ALBOROV I. D., Dr. Sci. (Tech.)
BELINSKIY S. O.,
Cand. Sci. (Tech.)
VASILYEV A. V., Dr. Sci. (Tech.)
ZABOROVSKIY T. (Poland),
Dr. Sci. (Tech.)
IVANOV N. I., Dr. Sci. (Tech.)
KACHURIN N. M., Dr. Sci. (Tech.)
KIRSANOV V. V., Dr. Sci. (Tech.)
KOSORUKOV O. A., Dr. Sci. (Tech.)
KRASNOGORSKAYA N. N.,
Dr. Sci. (Tech.)
KSENOFONTOV B. S.,
Dr. Sci. (Tech.)
KUKUSHKIN Yu. A.,
Dr. Sci. (Tech.)
MALAYAN K. R., Cand. Sci. (Tech.)
MARTYNYUK V. Ph.,
Dr. Sci. (Tech.)
MATYUSHIN A. V., Dr. Sci. (Tech.)
MINKO V. M., Dr. Sci. (Tech.)
MIRMOVICH E. G.,
Cand. Sci. (Phys.-Math.)
PALJA Ja. A. (Poland),
Dr. Sci. (Agri.-Cult.)
PETROV S. V., Cand. Sci. (Yurid.)
SIDOROV A. I., Dr. Sci. (Tech.)
TOPOLSKIY N. G., Dr. Sci. (Tech.)
FILIN A. E., Dr. Sci. (Tech.)
FRIDLAND S. V., Dr. Sci. (Chem.)
JIANG MINGJUN (China), Prof.
SHVARTSBURG L. E.,
Dr. Sci. (Tech.)

6(198)
2017

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS

Rusak O. N. Terms and Determinations in the Field of Security Activities 3

LABOUR PROTECTION

Mikhailov V. A., Sotnikova E. V., Kalpina N. Yu. Estimation of the Work Evaporation Water
Local Air Cooled of Cabins Ground Transport Means 7

POPULATION HEALTH PROTECTION

Svintsov A. P., Abdulina A. Sh. Reliability Estimation of the Water Supply Network
Infrastructure and Ensuring of Drinking Water to the Population in Case of their Failure 13

INDUSTRIAL SAFETY

Gera V. I., Aitov R. N., Kalmykov E. V. To the Question of the Hazard Identification
in the Risk Analysis for Exploitation of the Ground Space Infrastructure Objects 20

ENVIRONMENT PROTECTION

Berezutskiy A. Yu., Katin V. D. Results of Ecological Researches Oil-Gas Burner Devices
of Tubular Furnaces and Development of a New Design of Burner Devices 29
Yushin V. V., Kirilchuk I. O. Geoinformation Accounting and Estimation of Danger of Spon-
taneous Unauthorized Dumps 34

ENVIRONMENT MONITORING

Bobrova O. B., Sviridova T. V. Soil Pollution by Heavy Metals due to Location of Industry
Metallurgical Waste 43

USE AND RECYCLING OF WASTE

Bobovich B. B., Novahov G. G. Development of Technology Utilization of Oil Sludge 49

REGIONAL PROBLEMS OF SAFETY

Agayev T. D., Ibragimova N. Z. Role of Wind Regime in the Formation of Storm Waves
on the Caspian Sea and Life Safety 55
Drozd G. Y. Influencing Military — Political Situation of South — the East Ukraine
on the Ecological State of Superficial Reservoirs 59

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

УДК 001.4:331.45

О. Н. Русак, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, e-mail: rusak-maneb@mail.ru, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет

Термины и определения в области безопасности деятельности

В статье приведен критический анализ понятий и определений, применяемых в различных сферах безопасности деятельности. Рассмотрены требования к стандартам и нормативным документам, приведены примеры ошибочных определений в стандарте ГОСТ 12.0.002—2014.

Ключевые слова: жизнедеятельность, деятельность, безопасность, биосфера, техносфера, стандарт, термины, определения

Язык является средством общения и взаимопонимания людей в обществе.

Единицей языка, служащей для названия отдельных предметов и понятий, является слово.

Наука о языке называется языкознанием, или лингвистикой [С. И. Ожегов. Словарь русского языка].

Сведения о значении, употреблении, происхождении слов и понятий приводятся в справочных книгах, именуемых словарями.

В зависимости от назначения словари делятся на лингвистические, энциклопедические, толковые, терминологические, специальные (гlossарий, тезаурус) и др.

Значение слов и понятий раскрывается применительно к конкретному тексту. Одно и то же слово может иметь разный смысл. Поэтому возникает необходимость в определениях, раскрывающих значение слов.

В научной и образовательной области "безопасность деятельности" пока нет общепризнанной терминологии. Это создает определенные сложности.

В разное время Демокрит (460—370 до н. э.), Рене Декарт (1596—1650), А. С. Пушкин (1799—1837) призывали определять значение слов, чтобы избегать заблуждений. В современных условиях интенсивного развития науки и техники проблемы терминологии стали особенно актуальны.

Изречение французского дипломата Талейрана (1754—1838), который говорил, что язык дан человеку для того, чтобы скрывать свои мысли, относится к особой области отношений между людьми и государствами.

Целесообразно обратить внимание специалистов на проблему понятий и определений с целью формирования словаря в области безопасности.

Безопасность деятельности — это область научных знаний, изучающая опасность и методы защиты от них человека во всех сферах его нахождения.

Считаем ошибочными предложения расширять приведенное определение за счет включения в него опасностей для природы, материального ущерба и других отрицательных последствий.

Это компетенции других наук. Слово деятельность семантически связано только с человеком.

Деятельность в отличие от **жизнедеятельности** имеет целью предварительную продуманность и направленность на достижение конкретного результата.

Понятие деятельности изучается более 100 лет.

Психолог и философ А. Н. Леонтьев (1903—1979) является основателем теории деятельности (Леонтьев А. Н. "Деятельность. Сознание. Личность". М., 1975. 170 с.)

Деятельность определяется как **специфически человеческая** форма активного отношения к окружающему миру, содержание которой составляет его целесообразное изменение и преобразование в интересах людей.

Деятельность включает в себя цель, средства, результаты и сам процесс (Советский энциклопедический словарь. М., 1980. 136 с.).

Из этого определения следует, что словосочетание "деятельность человека", часто употребляемое в разных источниках, некорректно так как в определении деятельности уже входит понятие "специфически человеческая".

В теории терминологии различают понятия, термины, определения и дефиниции.

Понятие — целостная совокупность суждений, в которых что-либо утверждается об отличительных признаках рассматриваемого объекта.



Понятие есть результат обобщения массы единичных конкретных предметов и явлений.

Слово является носителем понятий.

Любая наука представляет собой стройную систему непротиворечивых понятий, связанных друг с другом.

Термин (лат. *terminus* — предел, граница) — слово или словосочетание, являющееся точным названием строго определенного понятия науки, техники, сферы деятельности и др.

Одним из главных качеств научного термина должна быть его устойчивая однозначность.

Необходимо строго выдерживать раз установленное значение термина, иначе неизбежна двусмысленность, которая ведет к заблуждениям.

Определение понятий — это логическая операция по раскрытию содержания понятия. Понятия определяются через ближайший род и видовое отличие. Дать определение понятия — это значит подвести его под другое, более определенное и понятное.

Дефиниция (лат. *definition* — определение) — предложение, раскрывающее содержание понятия или термина. Дефиниции используются в тех случаях, когда надо в краткой форме определить понятие.

Но дефиниции недостаточно для раскрытия существенных признаков понятия.

В каждой специализированной области знаний постепенно формируется понятийно-терминологический аппарат, облегчающий решение научных проблем на основе информационного взаимодействия. В системе АН СССР был специализированный Комитет научно-технической терминологии.

О важности этой работы свидетельствуют многочисленные публикации, в которых рассматриваются методы и порядок формирования терминов и понятий.

Вот несколько примеров.

Кондаков Н. И. Логический словарь. М.: Наука, 1971. 655 с.

Сидоров В. И. Краткое методическое пособие по разработке и упорядочению научно-технической терминологии. М.: Наука, 1979. 128 с.

Суперанская А. В. и др. Общая терминология: вопросы теории. М.: Наука, 1989. 256 с.

В перечисленных и других работах сформулированы требования, которым должны удовлетворять понятия, термины, дефиниции и определения.

К таким требованиям относятся: научность, системность, однозначность, практическая необходимость, непротиворечивость, краткость, грамматическая правильность, согласованность с общепризнанными источниками, отсутствие тавтологии и др.

Теория, писал Энгельс, "должна употреблять термины, отличные от бытовых" (Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения. Т. 23. С. 32).

Тавтология (греч. *tavto* — то же самое, *logos* — слово) — выражение, повторяющее в иной словесной форме ранее сказанное. Тавтология считается грубой логической ошибкой.

Существо ее заключается в том, что предмет определяется через самого же себя. В итоге определяемый предмет остается нераскрытым.

Новые понятия и определения должны соответствовать требованиям научности и практики. Введение новых терминов необходимо обосновывать научной целесообразностью при условии недостаточности существующих. Избыточность терминологии нежелательна так же, как и ее недостаточность.

Рассмотрим некоторые проблемы терминологии, имеющиеся в научной и образовательной области "безопасность деятельности".

Напомним, что такая область появилась в официальных документах в 1990 году под названием "Безопасность жизнедеятельности" (БЖД). (Решение Коллегии Государственного комитета СССР по народному образованию № 8/3 от 27.04.1990 г. "О мерах по созданию системы **непрерывного** образования в области безопасности жизнедеятельности".)

Жизнедеятельность на Земле началась с появлением живых существ около 4 млрд лет назад.

В соответствии с современными научными воззрениями под жизнедеятельностью следует понимать целесообразное витальное поведение живых существ.

В Толковом словаре живого великорусского языка В. М. Даля находим такое определение: "Жизнедеятельность почти то же, что жизненность: силы, животворящая плоть, прах, сила орудная, животная и растительная" (том I, стр. 541). Из приведенного определения следует, что жизнедеятельность — это активность представителей животного мира, в основе которой лежит инстинкт.

В результате дальнейшего развития биосферы и антропогенеза (греч. *antropos* — человек и ген) на Земле появился новый вид, получивший название *Homo Sapiens* — человек разумный. Это событие произошло около 200 тыс. лет тому назад.

Homo Sapiens — единственный вид из миллиона видов, живущих на Земле, обладает сознанием. Сознание вытесняет инстинкты, и активность человека становится деятельностью.

Биосфера (греч. *bios* — жизнь и *sphaira* — шар) — оболочка Земли, в которой имеются условия для жизни.

Техногенез (греч. *techne* — искусство, мастерство и... генез) — целенаправленный процесс

технической деятельности человека в биосфере. Это понятие ввел в научный обиход академик А. Е. Ферсман (1883—1945) в 1936 г.

Результатом техногенеза является **техносфера**, т. е. преобразованная человеком часть биосферы, включающая всю совокупность созданных человеком объектов.

Понятие "техносфера" ввел в научную терминологию в 1982 г. Р. К. Баландин.

Из определения техносферы некоторые авторы делают ошибочный вывод о том, что техносфера "идет" на смену биосфере. Встречаются утверждения, что в техносфере уже живет более 75 % населения развитых стран (С. В. Белов, 2010). Это паралогизм (греч. *paralogismos* — неправильный вывод), не учитывающий наличия известного закона В. И. Вернадского (1863—1945) о незаменимости биосферы.

Вот как звучит этот закон в формулировке выдающегося ученого В. Г. Горшкова.

Закон незаменимости биосферы. Биосфера — единственная система, обеспечивающая устойчивость среды обитания при любых возникающих возмущениях. Нет никаких оснований надеяться на построение искусственных сообществ, обеспечивающих стабилизацию окружающей среды в той степени, что и естественные сообщества (Стадницкий Г. В. Законы экологии: Учебно-справочное пособие. СПб.: СПб ГТУРП, 2003. 36 с.).

В техносфере жизнь невозможна, так как в ней нет воздуха, воды и других условий для жизни. Биосфера так потому и называется, что это сфера жизни.

Из-за происшедшей метаморфозы (лат. *metamorphosis* — превращение) понятий в вузах в настоящее время осуществляется подготовка специалистов по направлению техносферная безопасность, что соответствует только части общей проблемы "безопасность деятельности". Куда же делись остальные сферы?

Деятельность является системообразующим элементом, объединяющим все сферы активности человека. Потенциальные опасности существуют во всех частях биосферы, включая техносферу. Поэтому специалистов следует готовить по "Безопасности деятельности" и вручать диплом с таким же названием.

"Безопасность деятельности" как учебный и научный предмет делится на такие относительно самостоятельные области знания, как охрана труда, промышленная безопасность, техника безопасности, санитария, техносферная безопасность, информационная безопасность, охрана окружающей среды, пожарная безопасность, чрезвычайные ситуации и др.

В основе этих частных наук лежат единые теоретические и методологические основы, которые рассматриваются в безопасности деятельности.

В заключение рассмотрим ГОСТ 12.0.002—2014 "ССБТ. Термины и определения", который не учитывает общепринятые требования к терминологическим документам.

Стандарт принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 сентября 2014 г. № 70 П).

Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 октября 2015 г. № 1570 межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.002—2014 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июня 2016 г.

Предыдущие стандарты под таким же названием (ГОСТ 12.0.002—74 и ГОСТ 12.0.002—80) содержали около 20 понятий и терминов.

В рассматриваемом стандарте определяемых слов и словосочетаний на порядок больше. Анализ показывает, что столь значительное увеличение объема вызвано, в частности, необоснованным включением в стандарт слов, не относящихся к охране труда. Таких ненужных слов, вносящих путаницу в данную терминологическую сферу, в стандарте не менее 120. Не понятно, чем руководствовались разработчики стандарта, наполняя стандарт обычной бытовой терминологией.

Напомним, что стандарт (англ. *standard* — норма, образец) представляет эталон документа, соответствующий строго определенным требованиям, изложенным выше.

Приведем примеры несоблюдения общепринятых положений в рассматриваемом стандарте.

В ГОСТ 12.0.002—2014 приведены такие понятия, как охрана труда, условия труда, опасный и вредный производственные факторы, рабочее место, требования охраны труда и ряд других, которые содержатся и законодательно определены в Трудовом кодексе РФ (ст. 209).

В стандарте даны противоречащие закону определения, что свидетельствует о непонимании или намеренном игнорировании принципа иерархичности законодательства.

В качестве примера тавтологии и абсолютной ненужности приведем дословно предложения, взятые из анализируемого стандарта:

— "травма смертельная: травма, вызвавшая смерть пострадавшего"

— "травма не смертельная: травма, не приведшая к смерти пострадавшего"

— "управление риском: методы управления людьми и организацией"?



Некоторые понятия и определения, содержащиеся в стандарте, вызывают недоумение из-за абсурдности, например, "опасности и риски: полная совокупность всех потенциальных источников вреда и их воздействия"? или "место работы: Наименование работодателя (юридического или физического лица), в интересах которого работает работник на договорных условиях работы"?

Наличие в стандарте примечаний к некоторым терминам и определениям является прямым доказательством их непригодности. В стандарты должны включаться только самодостаточные понятия и

определения. В этом идеология стандартизации и стандартов.

Рассматриваемый стандарт вносит дезинформацию в развивающуюся область знаний "безопасность деятельности".

Список литературы

1. **Русак О. Н.** Безопасность жизнедеятельности. История. Теория. Практика. Концептуальные аспекты. — СПб.: СПб ГЛТУ, 2016. — 88 с.
2. **Русак О. Н.** Безопасность деятельности. Факторы окружающей среды: учебное пособие. — СПб.: СПб ГЛТУ, 2016. — 44 с.

O. N. Rusak, Professor, Head of Chair, e-mail: rusak-maneb@mail.ru, Saint-Petersburg State Forest Technical University

Terms and Determinations in the Field of Security Activities

The article presents a critical analysis of concepts and definitions, used in different spheres of life safety. It also covers the requirements for standards and normative documents, gives some examples of erroneous definitions in the new standard GOST 12.0.002—2014

Keywords: life safety, activity, safety, biosphere, technosphere, standard, terms, determinations

References

1. **Rusak O. N.** Bezopasnost' Ziznedeatelnosti. Istorija, teorija, praktika. Konceptual'nye aspekty, Saint-Petersburg: SPb GLTU, 2016. 88 p.
2. **Rusak O. N.** Bezopasnost' dejatel'nosti. Faktory okruzhajushhej sredy: uchebnoe posobie. Saint-Petersburg: SPb GLTU, 2016. 44 p.

Информация

"StopFire — 2017"

Выставка технологий, товаров и услуг для пожарной безопасности в рамках проекта Международная сеть выставок по безопасности

26—28 сентября 2017 года

г. Екатеринбург, Дворец Игровых Видов Спорта (ДИВС)

Выставка "StopFire" — единственная специализированная выставка технологий, продукции и услуг для пожарной безопасности в Екатеринбурге.

Тематические разделы выставки

- Пожарная безопасность
- Технические средства обеспечения пожарной безопасности
- Охрана и наблюдение

Подробнее: <http://stopfire.souzpromexpo.ru/>

УДК 504.5

В. А. Михайлов, д-р техн. наук, проф., **Е. В. Сотникова**, канд. хим. наук, доц.,
e-mail: ev.sotnikova@yandex.ru, **Н. Ю. Калпина**, канд. техн. наук, доц.,
Московский политехнический университет

Оценка работы водоиспарительного локального воздухоохладителя кабин наземных транспортных средств

Рассмотрена возможность рационального использования в кابинах машин локального водоиспарительного охладителя как средства нормализации теплового состояния операторов с учетом их пола, массы, изменяющейся температуры наружного воздуха, а также переменной психофизической нагрузки при работе в городских транспортных потоках. Показано, что при изменении внешней температуры в течение дневной рабочей смены целесообразно регулировать принятую для конкретного оператора подачу воздуха. Однако для обеспечения теплового баланса между холодопроизводительностью аппарата и различными по уровню тепловыделениями операторов во всем диапазоне их возможного изменения подача воздуха в кабину должна иметь бесступенчатую автоматизированную регулировку.

Ключевые слова: нормализация теплового состояния оператора, тепловыделения оператора, подача воздуха, степень снижения температуры воздуха, холодопроизводительность, регулирование производительности аппарата, система управления

Состояние вопроса

Одним из средств обеспечения теплового комфорта операторов (водителей) наземных транспортных средств (грузовых автомобилей, тракторов и других самоходных машин) в теплый период года является локальный водоиспарительный воздухоохладитель [1], режим работы которого характеризуется подачей воздуха L ($\text{м}^3/\text{ч}$) в область "голова—грудь" человека и степенью E_a снижения его температуры. Эти параметры выбираются по условию отведения от тела человека выделяемой организмом теплоты $Q_{\text{ч}}$ (Вт). При оценке функционального качества опытной модели такого аппарата с постоянной подачей $L = 120 \text{ м}^3/\text{ч}$ в результате эксперимента выявлено [2], что из двадцати испытуемых мужчин и женщин 85 % дали положительную оценку локальному охлаждению. Согласно методике, оценивающей тепловое состояние человека по его субъективным ощущениям [3], такой относительно высокий показатель приемлем в современных условиях, однако не в полной мере отвечает перспективному направлению в части повышения качества внутреннего воздуха [4], что в рассматриваемом случае связано с необходимостью

расширения диапазона эффективного использования конкретного аппарата возможно большим числом операторов независимо от их массы, пола, психофизического состояния. Указанное вызывает необходимость проведения соответствующего исследования.

Оценка теплового состояния операторов

В работе [5] отмечается, что расчетные значения полных тепловыделений человека $Q_{\text{ч}}$ по ГОСТ 12.1.005—88 "Общие санитарно-гигиенические требования" в практике кондиционирования помещений объектов различного назначения принято относить к "условному" человеку массой $m_{\text{ч}} = 70 \text{ кг}$. Однако указывается, что это справедливо при создании систем кондиционирования помещений значительного объема (концертные залы, спортивные комплексы, кинотеатры и т. п.), в которых присутствует большое число людей. Система же, предназначенная для небольших помещений (каюты, купе-люкс, кабины машин и др.) должны обеспечивать тепловой комфорт не "условного", а реально находящегося здесь человека. Таким образом, например, в одноместной кабине машины имеет место индивидуальная



тепловая защита оператора, которая связана с массой его тела, обуславливающей тепловыделение. Их величину (Вт) для операторов-мужчин предлагается [5] определять по выражению:

$$Q_{\text{ч}} = m_{\text{ч}} A_{\text{ч}} (1 - \eta_{\text{ч}}), \quad (1)$$

где $A_{\text{ч}}$ — показатель активности деятельности оператора, зависящий от ее вида, Вт/кг; $\eta_{\text{ч}}$ — безразмерный показатель эффективности деятельности оператора транспортного средства.

Приняв по рекомендации [5] при работе средней тяжести $A_{\text{ч}} = 2,8$ Вт/кг и $\eta_{\text{ч}} = 0$, получим формулу для оценки теплового состояния операторов-мужчин:

$$Q_{\text{ч}} = 2,8 m_{\text{ч}}. \quad (2)$$

Отметим, что по данным работы [6] тепловыделения женщин составляют 85 % от тепловыделений мужчин. С учетом этого проведен соответствующий расчет тепловыделений операторов при наиболее характерных значениях их массы $m_{\text{ч}} = 60 \dots 90$ кг [5], результаты которого представлены в табл. 1.

По ГОСТ 12.1.005—88 полные тепловыделения "условного" оператора-мужчины массой $m_{\text{ч}} = 70$ кг при выполнении им работы средней тяжести принимают равными в среднем 203 Вт, а по "Справочнику проектировщика" [7] — 200 Вт. Это достаточно близко к значению $Q_{\text{ч}} = 196$ Вт по табл. 1, что свидетельствует о правомерности использования данных работы [2] для рассматриваемого случая.

Таблица 1

Полные тепловыделения операторов в зависимости от их массы и пола при выполнении работы средней тяжести

Масса оператора $m_{\text{ч}}$, кг		60	70	80	90
Тепловыделения $Q_{\text{ч}}$, Вт	Мужчины	168	196	224	252
	Женщины	143	167	190	214

Оценка работы инновационного локального воздухоохладителя при постоянной расчетной температуре наружного воздуха

Созданный в МАМИ усовершенствованный локальный воздухоохладитель [8] обладает следующими функциональными показателями:

- подача воздуха на повышенном режиме $L_{\text{max}} = 125$ м³/ч (0,035 м³/с);
- подача воздуха на пониженном режиме $L_{\text{min}} = 100$ м³/ч (0,028 м³/с);
- коэффициент эффективности снижения температуры обрабатываемого воздуха $E_a = 0,66$.

Оценим, в какой мере такой аппарат отвечает условию обеспечения климатического комфорта операторов в диапазоне их тепловыделений (см. табл. 1), используя при расчетах необходимых параметров соответствующие известные математические выражения, которые представлены ниже.

Климатический комфорт оператора в рассматриваемом случае обеспечивается при нормализации теплового состояния его организма путем достаточного отвода теплоты $Q_{\text{ч}}$ в обдувающий открытую поверхность его тела поток охлажденного воздуха, который должен обладать необходимой ассимилирующей способностью, зависящей от холодопроизводительности Q_0 , Дж/с(Вт), аппарата, определяемой по выражению:

$$Q_0 = c_p \rho_a L (t - t_a), \quad (3)$$

где $c_p = 1005$ Дж/(кг·°С) — теплоемкость воздуха; t и t_a — температура воздуха по сухому термометру соответственно начальная и на выходе из аппарата, °С; ρ_a — плотность воздуха при температуре t_a , кг/м³; L — подача воздуха из аппарата, м³/с.

Исходя из условия соблюдения теплового баланса $Q_0 = Q_{\text{ч}}$, преобразовав выражение (3), получим формулу для расчета необходимой для нормализации теплового состояния подачи воздуха L , м³/с,

$$L = Q_{\text{ч}} / [c_p \rho_a L (t - t_a)]. \quad (4)$$

Величина t_a рассчитывается по выражению [1]:

$$t_a = t - E_a (t - t_M), \quad (5)$$

где t_M — начальная температура обрабатываемого воздуха по мокрому термометру.

Поскольку для указанного конкретного аппарата величина $E_a = 0,66$, то можно получить формулу для определения t_a в рассматриваемом случае:

$$t_a = t - 0,66 (t - t_M). \quad (6)$$

В работе [2] указано, что при локальном обдуве оператора потоком неохлажденного воздуха нормализация его теплового состояния возможна лишь при температуре меньше 28 °С. Если она выше, поток воздуха необходимо охлаждать. В связи с этим оценим работу воздухоохладителя в климатических условиях Средней полосы России, для чего примем для открытой кабины машины исходные температурно-влажностные условия $t = 28,5$ °С и $t_M = 19$ °С, соответствующие расчетным параметрам для г. Москвы [9].

По формуле (6) определим, что $t_a = 22,2$ °С. Приняв при этой температуре $\rho_a = 1,196$ кг/м³ [10],

Таблица 2

Необходимая подача воздуха из локального охладителя на операторов мужчин и женщин с различной массой тела

Масса оператора m_q , кг	60	70	80	90	
Подача воздуха L , м ³ /ч	Мужчины	80	93	106	120
	Женщины	68	79	90	102

по выражению (4) для оператора мужчины с массой $m_q = 70$ кг при $Q_q = 196$ Вт (см. табл. 1) найдем, что $L = 0,0259$ м³/с (93 м³/ч). При аналогичном расчете для операторов-мужчин с другой массой тела по табл. 1, а также учитывая, что тепловыделения операторов-женщин составляют 0,85 тепловыделений мужчин, получили данные, приведенные в табл. 2.

Сравнение величин подачи воздуха из воздухоохладителя, созданного в МАМИ, с данными табл. 2 свидетельствует о следующем:

— подача воздуха $L_{max} = 125$ м³/ч близка к оптимальной для обеспечения теплового баланса $Q_0 = Q_q$ оператора-мужчины массой $m_q = 90$ кг, но избыточна при их массе $m_q = 60...80$ кг;

— для всех операторов-женщин $L_{max} = 125$ м³/ч является избыточной;

— подача воздуха $L_{min} = 100$ м³/ч практически приемлема для операторов-мужчин массой $m_q = 70...80$ кг, избыточна при $m_q = 60$ кг, но недостаточна при $m_q = 90$ кг;

— для операторов-женщин подача $L_{min} = 100$ м³/ч является практически оптимальной только при их массе $m_q = 90$ кг, но для остальных она избыточна.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что для эффективного использования на практике единого аппарата его подача воздуха должна иметь бесступенчатую (плавную) регулировку в указанном диапазоне, исходя из субъективной реакции оператора.

Оценка работы воздухоохладителя при переменной температуре наружного воздуха в течение дневной рабочей смены

Как указано выше, приведенные в табл. 2 данные относятся к случаю применения аппарата в условиях Средней полосы страны при фиксированной температуре внешнего воздуха $t = 28,5$ °С. Однако он предназначен для использования и при более высокой температуре с учетом ее изменения в течение дневной рабочей смены. В связи с этим необходимо оценить, как это отразится на действии системы "воздухоохладитель-оператор".

В табл. 3 представлены результаты расчета по выражению (3) изменения холодопроизводительности Q_0 аппарата при постоянной подаче воздуха $L = 93$ м³/ч применительно

Таблица 3

Изменение холодопроизводительности локального аппарата в течение дневной рабочей смены

Время суток, часы	10	12	14	16	18	
Температура, °С	t по сухому термометру)	29,0	35,0	37,3	36,8	34,8
	t_m (по мокрому термометру)	18,4	20,0	20,6	20,0	19,8
	t_a (по формуле (6))	22,2	25,1	26,3	25,7	24,9
ρ_a , кг/м ³ при t_a по данным работы [10]	1,197	1,185	1,178	1,180	1,184	
Q_0 , Вт	212	304	336	340	304	

к наиболее характерному ("условному") оператору-мужчине массой $m_q = 70$ кг при $Q_q = 196$ Вт в процессе работы машины в Южном регионе страны при изменении наружной температуры воздуха в течение дневной рабочей смены [11]. Отметим, что по данным работы [6] указанная величина полных тепловыделений оператора $Q_q = 196$ Вт является постоянной при температуре воздуха 20 °С и выше.

Из приведенных в табл. 3 данных следует, что аппарат в диапазоне $t = 29,0...37,3$ °С и при $Q_0 = 212...340$ Вт обладает достаточным потенциалом для ассимиляции теплоизбытков $Q_q = 196$ Вт. Однако на первый взгляд величина Q_0 здесь является избыточной с точки зрения формального обеспечения баланса $Q_0 = Q_q$, но с позиции нормализации теплового состояния оператора необходимо иметь в виду следующую особенность этого явления.

По данным работы [2] ассимилирующая способность воздуха при его локальном обдуве оператора определяется зависимостью:

$$Q_{ac} = 1,07(2,5 + 10,3\sqrt{v_b})(t_q - t_a), \quad (7)$$

где v_b — скорость движения потока воздуха около тела человека, м/с, обусловленная его подачей L ; $t_q = 35$ °С — температура открытой поверхности тела человека, свидетельствующая о его нормальном тепловом состоянии.

Из формулы (7) следует, что при постоянной v_b (т. е. при $L = \text{const}$) Q_{ac} зависит только от величины ассимиляционного перепада $\Delta t_{ac} = 35 - t_a$, которая в свою очередь связана с колебанием значения температуры t_a . Чем она меньше по сравнению с $t_q = 35$ °С, тем интенсивнее теплообмен между телом оператора с обдувающим его воздухом и наоборот — теплоотвод от тела замедляется при возрастании t_a . Если же величина Δt_{ac} при изменении температуры внешнего воздуха t сохранит постоянное значение, то отвод теплоты от тела оператора при $Q_{ac} = \text{const}$ теоретически не будет зависеть от температуры t по табл. 3.



Поскольку ранее была дана оценка работы аппарата при $t = 28,5$ °С, то далее рассмотрим режим его функционирования при более высокой температуре. Как следует из данных табл. 3, t_a изменяет свое значение от 22,2 °С при 29,0 °С до 26,3 °С при 37,3 °С, т. е. строго говоря, оно не является постоянным в указанном диапазоне величины t . Следовательно, с формальной точки зрения условие $Q_{ac} = \text{const}$ не соблюдается. Однако, если оценить величину отклонения t_a относительно ее среднего значения, то выявляется следующее.

В диапазоне $t = 29,0...37,3$ °С среднее значение t_a равняется 24,8 °С, а расхождение с ним остальных величин t_a составляет: 10,5 % для $t = 29,0$ °С; 0,4 % для $t = 34,8$ °С; 1,2 % для $t = 35,0$ °С; 3,5 % для $t = 36,8$ °С и 5,7 % для $t = 37,3$ °С. Это в рассматриваемом случае приемлемо. В соответствии с рекомендациями работы [12] допуск на колебание величин функциональных параметров составляет до 10 %. Поэтому можно принять, что здесь Δt_{ac} практически не изменяется, а величина L является постоянной. Указанное согласуется с рекомендацией работы [13] о том, что при изменении внешней температуры воздуха в течение дневной рабочей смены допускается не применять дополнительное ручное регулирование установленной подачи воздуха во избежание возложения на оператора такой обязанности, которая будет отвлекать его от выполнения основной функции по обеспечению безопасной эксплуатации машины. Естественно, при таком режиме не будет достигнуто полное согласование теплового баланса $Q_0 = Q_{ch}$ во всем диапазоне изменения температуры внешнего воздуха, но что охладитель при работе с принятым постоянным расходом L создает оператору достаточно высокий тепловой комфорт свидетельствует информация, приведенная в работе [2].

При испытании локального охладителя в кабине водителя городского маршрутного автобуса ЛИАЗ 5256 в течение 20 рабочих смен с участием пяти человек с 9 до 18 часов максимальная температура внешнего воздуха достигала $t = 34,6$ °С, что является аномальным для г. Москвы. При оценке теплового состояния по методике, оценивающей тепловое состояние человека по его субъективным ощущениям [3], при этой температуре водители признали его как "хорошо" при включенном охладителе и как "очень тепло" и "жарко" при выключенном аппарате.

Оценка работы воздухоохладителя в условиях изменения психофизической нагрузки операторов при эксплуатации машин в городских транспортных потоках

В приведенном выше анализе в качестве базового принят характер деятельности оператора, условно относящийся к работе средней тяжести, обуславливающий для конкретной персоны выбор для расчетов постоянного значения тепловыделений

организма. Вместе с тем, в реальных условиях эксплуатации машины, например, в транспортных потоках мегаполиса, дело обстоит сложнее. Поскольку отдача теплоты оператором через обдуваемую поверхность кожи зависит от снабжения ее кровью, связанного с состоянием организма, то необходимо учитывать не только физическую, но и психологическую нагрузку людей [14], при возрастании которой происходит расширение кровеносных подкожных сосудов, увеличивается потоотделение и учащаются дыхание и пульс, что является физиологическим показателем роста тепловыделений.

При эксплуатации машины в городских транспортных потоках дорожная ситуация, определяющая физическую и нервную нагрузку водителя, является переменчивой. Так, при свободной трассе и малом числе транспортных средств в потоке психологическая обстановка для водителя относительно спокойна, а ввиду малого числа маневров органами управления его физическая нагрузка может быть отнесена к категории "легкая работа" [5].

При загруженной же трассе и большом числе светофоров, когда водитель вынужден часто маневрировать, речь уже идет о работе, относящейся к категории "тяжелая", осложненной к тому же его большой психологической нагрузкой (случай стрессовой ситуации). Используя рекомендации работы [5] в части определения тепловыделений Q_{ch} оператора массой $m_{ch} = 70$ кг, учитывая соответствующее этому случаю изменение в формуле (1) величин показателя активности деятельности оператора A_{ch} (было 2,8 Вт/кг, стало 4,36 Вт/кг) и безразмерного показателя эффективности его деятельности η_{ch} (было 0, стало 0,1), определили, что здесь $Q_{ch} = 298$ Вт. Имея в виду, что ГОСТ 12.1.005—88 "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" относит работу с тепловыделениями человека более 290 Вт к категории "тяжелая", то такое кардинальное изменение характера работы оператора машины должно отразиться на взаимодействии составляющих системы "воздухоохладитель—оператор", и поэтому в первую очередь здесь необходимо оценить достаточность холодопроизводительности аппарата.

Сравнение указанной величины $Q_{ch} = 298$ Вт с данными табл. 3 показывает, что в диапазоне $t = 34,8...37,3$ °С значение Q_0 составляет 304...340 Вт, поэтому ассимилирующая способность охладителя для восприятия указанных тепловыделений водителя даже в стрессовой (экстремальной) ситуации достаточна для восприятия тепловыделений водителя. При более же низкой температуре $t = 29,0$ °С холодопроизводительность $Q_0 = 212$ Вт недостаточна, вследствие чего расход воздуха в этой ситуации необходимо увеличить. Расчет по формуле (4) показывает, что при $t = 29,0$ °С и $t_a = 22,2$ °С (см. табл. 3) подача воздуха должна составлять $L = 131$ м³/ч. Это достаточно

близко к указанному ранее значению $L_{\max} = 125 \text{ м}^3/\text{ч}$ (расхождение 4,6 %) для воздухоохладителя, созданного в МАМИ, и он практически может выполнить свою функцию по нормализации теплового состояния водителя.

Что же касается работы аппарата при относительно спокойной ситуации, то здесь деятельность водителя можно отнести к категории "легкая", и по ГОСТ 12.1.005—88 его тепловыделения можно принять на уровне $Q_{\text{ч}} = 174 \text{ Вт}$. Тогда по формуле (4) при $t = 29,0 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{\text{а}} = 22,2 \text{ }^\circ\text{C}$ необходимая подача воздуха должна составлять $L = 75 \text{ м}^3/\text{ч}$, а при $t = 37,3 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{\text{а}} = 26,3 \text{ }^\circ\text{C}$ — $L = 48 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Напомним, что все проведенные выше расчеты отнесены к оператору-мужчине массой $m_{\text{ч}} = 70 \text{ кг}$. Естественно, что при других значениях массы по табл. 2 и с учетом пола операторов величина L будет другой. Если же иметь в виду, что на практике величины $m_{\text{ч}}$ будут промежуточными между принятыми в табл. 2, то в соответствии с тепловыделениями операторов с такой массой получим огромный массив значений требуемой подачи воздуха L . Это обуславливает необходимость бесступенчатого автоматизированного регулирования подачи воздуха, поскольку осуществить вручную самим водителем такую функцию практически невозможно.

С учетом современной тенденции развития автоматического управления техническими системами [15] задачей на перспективу должно являться усовершенствование рассмотренной конструкции локального воздухоохладителя в части автоматизации его работы. Однако такая разработка ввиду ее специфики и относительной сложности выходит за рамки настоящей статьи и является предметом отдельного исследования. Здесь же представляется целесообразным ограничиться лишь выбором направления этой разработки.

Согласно работе [15] по характеру автоматизации объекта рассмотренная управляющая система относится к типу управления, обеспечивающего протекание определенного технологического процесса в конкретной единице оборудования. Схема системы управления в этом случае представляет собой совокупность элементов, объединенных для выполнения ими определенных функций. Такое управление обеспечивает сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации работы объекта в условиях контакта с окружающей средой, влияющей на него своими воздействиями. При этом различают внешние (задающие) воздействия, определяющие требуемый алгоритм изменения характеристики объекта управления, и возмущающие воздействия, нарушающие установленную функциональную связь между величиной выходной характеристики управления и задающим воздействием. Результат управления выражается в виде указанной величины выходной характеристики.

В системах регулирования установок кондиционирования любого типа управляемым параметром является величина подачи охлажденного воздуха, обуславливающая при требуемой холодопроизводительности достижение нормализации теплового состояния человека. В установках объемного кондиционирования [16] условием этого является поддержание на рабочем месте нормируемой температуры при изменяющейся тепловой нагрузке помещения, обусловленной переменной величиной наружной температуры. В связи с этим в установках объемного кондиционирования система управления типа "климат-контроль" базируется на автоматическом поддержании с точностью $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ [16] средней по всему объему помещения нормируемой температуры воздуха, которая контролируется специальным датчиком [15], включенным в электропроводную сеть, которая снабжена исполнительным элементом, влияющим на механизм, обеспечивающий изменение величины расхода воздуха установки, что является классическим техническим приемом регулирования в системах кондиционирования воздуха [17].

В аппарате локального действия управляемый параметр L обеспечивает нормализацию теплового состояния оператора, когда температура поверхности его тела будет поддерживаться на уровне $35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Эта температура измеряется с помощью специального поверхностного термометра, который должен закрепляться на участке кожи тела оператора, не подверженном воздействию охлажденного потока воздуха, например, на запястье руки (в виде своеобразного браслета-радиопередатчика). В этом случае осуществляется беспроводная дистанционная связь между ним и исполнительным элементом воздухоохладителя, влияющим на изменение величины расхода воздуха L , например, путем регулирования частоты вращения электродвигателя, или (при его постоянной частоте вращения) применения дросселя в воздушном тракте аппарата. Современный уровень развития электроники и микропроцессорной техники, обусловивший широкое применение автоматизированных систем управления (система "климат-контроль") в установках кондиционирования помещений различных объектов, не вызывает сомнений в возможности решения такой задачи.

Список литературы

1. Шарипов В. М., Михайлов В. А., Шарипова Н. Н. Климатическая комфортность колесных и гусеничных машин. Методы обеспечения климатической комфортности и расчет параметров установок. — Saarbr@cken: LAPLAMBERT Academic Publishing GmbH & CoKG, 2011. — 197 с.
2. Михайлов В. А., Сотникова Е. В., Карев С. В. Нормализация теплового состояния оператора транспортного средства локальным охлаждением // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 9. — С. 2—9.
3. Giacco M. Сравнительный анализ двух методик оценки климатического комфорта на примере климатизации морского круизного лайнера // АВОК. — 2005. — № 3. — С. 11—18. URL: www.abok.ru (дата обращения 05.02.2017).

4. **Fanger P. O.** Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. — 2003. — № 4. — С. 15–23. URL: www.abok.ru (дата обращения 05.02.2017).
5. **Бурцев С. И., Цветков Ю. Н.** Тепловой и газовый комфорт с учетом индивидуальных особенностей человека // Теплоэнергоэффективные технологии. — 2002. — № 1. — С. 11–24.
6. **Меклер В. Я., Овчинников П. А.** Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха. — М.: Стройиздат, 1987. — 312 с.
7. **Справочник проектировщика.** Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1. — М.: Стройиздат, 1992. — 112 с.
8. **Михайлов В. А., Шарипова Н. Н.** Инновационный локальный водоиспарительный воздухоохладитель для кабин тракторов // Тракторы и сельхозмашины. — 2014. — № 2. — С. 3–6.
9. **Строительные нормы и правила.** Отопление, вентиляция и кондиционирование. СНиП 2.04.05–91*. — М.: Минстрой России, ГУП ЦПП, 1994. — 64 с.
10. **Богословский В. Н., Щеглов В. П., Разумов Н. Н.** Отопление и вентиляция. — М.: Стройиздат, 1980. — 208 с.
11. **Михайлов В. А., Шарипова Н. Н.** Инновация в конструкции хладонового кондиционера воздуха в тракторной кабине // Тракторы и сельхозмашины. — 2009. — № 4. — С. 34–39.
12. **Бялый Б. И., Степанов А. В., Нарышный Н. В.** Отопительно-вентиляционные агрегаты // Строительные и дорожные машины. — 1987. — № 2. — С. 9–10.
13. **Михайлов В. А., Дмитриев М. И., Ивоботенко Б. А.** Режимы работы локального водоиспарительного воздухоохладителя кабин самоходных машин с учетом индивидуальности операторов и изменчивости температурных условий // Известия МГТУ "МАМИ". Секция "Транспортные машины, транспортно-технологические средства и энергетические установки". — 2016. — № 1 (27). — С. 42–46.
14. **Большая медицинская энциклопедия.** Том 32. Раздел "Терморегуляция". Изд. 2-е. — М.: Советская энциклопедия. — 1963. — С. 86–92.
15. **Управление техническими системами /** Е. Б. Бунько, К. И. Кеша, Е. Г. Мурачев и др. Под ред. В. И. Харитонова. — М.: Форум, 2010. — 384 с.
16. **Кокорин О. Я.** Современные системы кондиционирования воздуха. — М.: Изд-во физико-математической литературы, 2003. — 272 с.
17. **Давыдов Ю. С., Нефедов С. В.** Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования. — М.: Стройиздат, 1984. — 168 с.

V. A. Mikhailov, Professor, E. V. Sotnikova, Associate Professor, e-mail: ev.sotnikova@yandex.ru, N. Yu. Kalpina, Associate Professor, Moscow Polytechnical University

Estimation of the Work Evaporation Water Local Air Cooled of Cabins Ground Transport Means

The possibility of rational use in the cabins of machines on a local evaporation water local air cooled as a means of normalizing the thermal state operators, based on their gender, weight, changing ambient air temperature and with variable psycho — physical variable of the load when operating in urban traffic flows. Shows copri change in external temperature during the daytime work shift expediently regulation adopted for the specific operator's air supply. Howerer, to ensure heat balance between the cooling apparatus and the different levels of the heat operators in the whole range of their possible change of air flow to the cabin should have stepless automatic adjustment.

Keywords: *the normalization of the thermal state of the operator, the dissipation operator, air supply, the degree of decrease in air temperature, the cooling capacity control apparatus, control system*

References

1. **Sharipov V. M., Mihailov V. A., Sharipova N. N.** Klimaticheseskaja komfortabel'nost' kolesnyh i gusenichnyh mashin. Metody obespechenija klimaticheskoj komfortabel'nosti i raschet parametrov ustanovoc. Saarbruchen: Lap Lambert academia Publishing GmbH & CokG, 2011. 197 p.
2. **Mihajlov V. A., Sotnikova E. V., Karev S. V.** Normalizacija teplovogo sostojanija operatora transportnogo sredstva local'nyim ohlazhdeniem. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2008. No. 9. P. 2–9.
3. **Giacco M.** Sravnitel'nyi analiz dnuh metodik ocenki Klimaticheskogo komforta na primere klimaticheskogo morskogo kruiznogo lajnera. *AVOK*. 2005. No 3. P. 11–18. URL: www.abok.ru (date of access 05.02.2017).
4. **Fanger P. O.** Kachestvo vnutrennego vozduha v XXI veke: vlijanie na komfort, proizvoditel'nost' i zdorov'e ljudej. *AVOK*. 2003. No. 4. P. 15–23. URL: www.abok.ru (date of access 05.02.2017).
5. **Burcev S. I., Cvetkov Ju. N.** Teplovoj i gazovyj comfort s uchetom individual'nyh osobennostej cheloveka. *Teplojenergoeffektivnye tehnologii*. 2002. No. 1. P. 11–24.
6. **Mekler V. Ja., Ovchinnikov P. A.** Promyshlennaja ventiljacija i kondicionirovanie vozduha. Moscow: Strojizdat, 1987. 312 p.
7. **Spravochnik** proektirovshhika. Vnutrennie sanitarno-technicheskie ustroistva. Chast 3. Ventiljacija i kondicionirovanie vozduha. Kniga 1. Moscow: Strojizdat, 1992. 112 p.
8. **Mihailov V. A., Sharipova N. N.** Innovacionnyj local'nyj vodoisparitel' dlja kabin traktorov. *Traktory i sel'hoz mashiny*. 2014. No 2. P. 3–6.
9. **Stroitel'nye normy i pravila.** Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie. SNiP 2.04.05–91. Moscow: Minstroj Rossii, GUPCPP, 1994. 64 p.
10. **Bogoslovskij V. N., Shheglov V. P., Razumov N. N.** Otoplenie i ventiljacija. Moscow: Strojizdat, 1980. 280 p.
11. **Mihailov V. A., Sharipova N. N.** Innovacija v konstrukcii hladonovogo kondicionera vozduha v traktornoj kabine. *Traktory i sel'hoz mashiny*. 2009. No 4. P. 34–39.
12. **Bjaljy B. I., Stepanov A. V., Narishnyj N. V.** Otopitel'no-ventiljacionnye agregaty. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 1987. No. 2. P. 9–10.
13. **Mihailov V. A., Dmitriev M. I., Ivobotenko B. A.** Rezhimy raboty lokal'nogo vodoisparitel'nogo vozduhoohladitelja kabin samohodnyh mashin s uchetom individual'nosti operatorov i izmenjaemosti temperaturnyh uslovij. *Izvestija MGTU "MAMI". Sekcija "Transportnye mashiny, transportno-tehnologicheskie sredstva i jenergeticheskie ustanovki*. 2016. No 1 (27). P. 42–46.
14. **Bol'shaja medicinskaja jenciklopedija.** Tom 2. Razdel "Termoreguljacija". Izd. 2-e. Moscow: Sovetskaja jenciklopedija. 1963. P. 86–92.
15. **Upravlenie** tehničeskimi sistemami / E. B. Bun'ko, K. I. Kешa, E. G. Murachev i dr. Pod red. V. I. Haritonova. Moscow: Forum, 2010. 384 p.
16. **Kokorin O. Ja.** Sovremennye sistemy kondicionirovanija vozduha. Moscow: Izd-vo fiziko-matematicheskoi literatury, 2003. 272 p.
17. **Davydov Ju. S., Nefedov S. V.** Tehnika avtomaticheskogo regulirovanija v sistemah ventiljicii i kondicionirovanija. Moscow: Strojizdat, 1984. 168 p.

УДК 628.144

А. П. Свинцов, д-р техн. наук, проф., e-mail: svintsovap@rambler.ru,
А. Ш. Абдулина, асп., Российский университет дружбы народов, Москва

Оценка надежности инфраструктурных сетей водоснабжения и обеспечение населения питьевой водой при их отказе

Одним из наиболее значимых элементов инфраструктурных систем жизнеобеспечения населения являются трубопроводы сетей водоснабжения.

Для оценки уровня эксплуатационной надежности трубопроводов сетей водоснабжения выполнен анализ их технического состояния. Установлено, что для повышения надежности тупиковых участков водопроводной сети необходимо оснастить их резервными емкостями, устанавливаемыми на концах участков разветвленных сетей. Это будет способствовать выравниванию режима работы всей системы, сокращению энергетических затрат, позволит снизить интенсивность отказов и обеспечить подачу воды потребителям в период устранения аварии на участке сети.

Разработаны рекомендации по оценке вероятности безотказной работы разветвленных сетей водоснабжения, снабженных резервными емкостями, а также рекомендации по определению объема резервной емкости с учетом показателей надежности.

Ключевые слова: трубопровод, надежность, авария (отказ), обеспечение водой, резервуар, водоснабжение

Введение

Водные ресурсы и водное хозяйство имеют важнейшее значение в обеспечении устойчивого развития экономики любой страны и в создании условий для санитарно-гигиенической безопасности ее населения. Состояние здоровья людей в значительной степени зависит от обеспечения водой в достаточном количестве и требуемого качества.

Запасы пресной воды в возобновляемых источниках определяют возможности борьбы с болезнями, снижения смертности, достижения санитарно-гигиенической стабильности и безопасности населения.

По оценке ООН к 2050 г. ожидается рост населения мира до 9,4 млрд человек: при неизменном общем объеме пресной воды на планете 58 % из них будут иметь возможность пользоваться водой без ограничений, 24 % — с ограничениями доступа к воде, а 18 % могут иметь проблемы с не покрываемым дефицитом воды. К 2050 г. глобальная потребность в воде вырастет на 55 % [1]. На Всемирном экономическом форуме было представлено обоснование вероятности глобального водного кризиса, который может затронуть одну или несколько стран в ближайшие 10 лет [2]. Это

вызвано, в частности, демографическим ростом населения и активизацией его мобильности, новыми потребностями, формирующимися под влиянием изменения жизненных условий.

В условиях увеличивающейся напряженности обеспеченности водными ресурсами важной особенностью использования воды является повышение эксплуатационной надежности инфраструктурных сетей водоснабжения. Это позволяет снизить величину потерь питьевой воды и уменьшить антропогенную нагрузку на водные объекты, используемые для нужд водоснабжения.

Анализ состояния вопроса

Одним из наиболее значимых элементов систем водоснабжения в городах и населенных пунктах являются трубопроводы. Основной функцией трубопроводной системы водоснабжения является бесперебойная доставка потребителям требуемого количества воды в любое удобное для них время под требуемым напором. Выполнение указанной функции связано с уровнем технического состояния трубопроводов, которое определяется материалом труб, их прочностными характеристиками, соблюдением технологии укладки, монтажа и эксплуатации и др.



Опыт эксплуатации систем водоснабжения показывает, что основными факторами снижения уровня водообеспечения потребителей являются отказы (аварии) участков трубопроводов в связи с их износом, интенсивной внутренней и внешней коррозией, избыточным давлением или его изменением, сезонными перемещениями грунта, с ошибками монтажа трубопроводов, воздействием транспортных нагрузок и др. Эти факторы тесно связаны и оказывают большое влияние на надежность инфраструктурных систем водоснабжения [3, 4].

Нарушение работы водопроводной сети приводит к потерям воды питьевого качества, ее загрязнению, ухудшению условий рационального использования водных ресурсов, неэффективному использованию инвестиций, так как вода в результате забора, производства и поставки не доходит до потребителей [5–7].

В работах [4, 8–12] дана оценка технического состояния водопроводных сетей и анализ факторов, влияющих на их надежность (материал труб, их долговечность, интенсивность внутренней и внешней коррозии, давление в сети и его изменение и др.) и экологическую безопасность. Показано, что для повышения надежности трубопроводной системы водоснабжения необходимо проводить ее регулярные осмотры и на основе анализа собранных данных разрабатывать программы управления системой городского водоснабжения. Модернизация водопроводной сети позволит повысить надежность систем водоснабжения, снизить потери воды и создать условия для расширения доступа населения к водопроводной воде питьевого качества.

В работах [13, 14] на основе анализа собранных данных представлено описание исследования обнаружения утечек воды, анализ их образования и последствий. Показано, что обнаружение и устранение утечек воды позволяет снизить ее потери на 27 %. В результате эффективного управления водопроводными сетями и контроля утечек, а также учета воды неучтенные расходы воды составляют ниже 5 % [15].

Оценка текущего состояния водопроводной сети, прогнозирование вероятности отказов (аварий) труб с течением времени имеют важные экономические и социальные последствия, так как от них зависят прибыль водопроводно-канализационных предприятий и качество обслуживания населения. В работе [16] представлено сравнение моделей оценки риска сбоев в сетях водоснабжения.

Посредством последовательного линейного программирования создана математическая модель, включающая ограничения потерь и контроль

утечек воды, выбор диаметра труб и регуляторов давления. Использование математической модели позволило оптимально разместить насосные станции, регуляторы давления и резервуары чистой воды [17].

Резервуары чистой воды играют ключевую роль в системах водоснабжения населения, так как обеспечивают управление водопотреблением, являются регуляторами давления в сети и запасом воды для экстренных случаев во время системных сбоев и пожаров. В работе [18] рассматриваются различные подходы, используемые в разработке регулирования подачи воды потребителям. Однако использование резервуаров оказывает влияние на общую стоимость и уровень потребления воды. Резервуары чистой воды сами по себе имеют небольшую стоимость, тем не менее они оказывают значительное влияние на общую производительность сети. Если резервуары хорошо спроектированы и расположены, то они могут улучшить общую производительность сети и снизить общую стоимость ее, и наоборот, неудачное проектирование может увеличить общую стоимость сети и снизить ее производительность. Следовательно, резервуары чистой воды необходимо использовать в компромиссах между минимизацией инвестиционных и эксплуатационных затрат и обеспечением максимальной надежности сети [19, 20].

В результате вышеизложенного анализа источников информации по теме исследования установлено, что бесперебойное обеспечение населения питьевой водой является актуальной проблемой во многих странах мира. Для повышения надежности инфраструктурных систем жизнеобеспечения многими специалистами разработаны и используются математические модели анализа совместной работы сетей водоснабжения и запасных емкостей. Однако вопросы применения резервных емкостей в разветвленных водопроводных сетях исследованы не в полной мере. Это сдерживает решение задач по созданию условий для расширения доступа населения к водопроводной воде.

Объект исследований, результаты исследований и их обсуждение

Для многих городов различных стран [6, 21, 22] характерна комбинированная схема сети водоснабжения, при которой центральная часть города имеет кольцевые участки или участки с перемычками, а периферийные районы снабжаются водой по разветвленному участку.

Для оценки уровня эксплуатационной надежности трубопроводов выполнен анализ технического состояния сетей водоснабжения

г. Аль-Дивания (Ирак), расположенного на берегу р. Хилла (приток р. Евфрат). Население составляет около 400 тыс. человек. Водоснабжение города осуществляется по комбинированной схеме трубопроводной сети: от насосной станции первого подъема по чугунному водоводу в две линии $\varnothing 500$ мм длиной 6 км вода подается на станцию водоподготовки с резервуарами чистой воды. Из этих резервуаров насосной станцией второго подъема питьевая вода подается по напорному водоводу из чугунных труб $\varnothing 400$ мм длиной 9 км.

Магистральные трубопроводы выполнены в основном из стальных и пластмассовых труб $\varnothing 160...350$ мм, а периферийные участки выполнены из стальных труб $\varnothing 110$ мм общей длиной 570 км. Срок эксплуатации трубопроводов составляет от 25 до 40 лет. Общая протяженность трубопровода, подлежащего замене, составляет 400 км (70 %). Из них в 2011 г. произведена замена всего 5 км.

Анализ данных управления по водоснабжению и канализации г. Аль-Дивания показывает, что длина поврежденных и требующих замены участков трубопроводов $\varnothing 110$ мм в различных районах города различна при одинаковом сроке их эксплуатации и колеблется от 18 % до 100 % при среднем значении 44,2 %. Это свидетельствует о крайне неудовлетворительном техническом состоянии сетей водоснабжения.

Исследованиями установлено, что повреждение на трубопроводах сети водоснабжения происходят не только в зависимости от порядка технической эксплуатации, но и под влиянием внешних по отношению к сети факторов: недостаточной обеспеченности материальными ресурсами, механических воздействий от транспортных нагрузок, недостаточного количества квалифицированного персонала и др. Многие факторы, определяющие надежность трубопроводной сети водоснабжения, в настоящее время невозможно прогнозировать и регулировать для снижения их воздействия на общую повреждаемость трубопроводов при существующих условиях эксплуатации.

Значительный объем повреждений и разрушений на водопроводных сетях привел к снижению доступа населения к питьевой воде, подаваемой централизованной системой водопровода, а также распространению болезней, переносимых и передаваемых водой. В связи с этим требуются мероприятия по повышению надежности и безотказности важнейшего элемента жизнеобеспечения населения.

Для оценки эксплуатационных показателей надежности использованы статистические данные, полученные в управлении водоснабжения и канализации г. Аль-Дивания.

По данным эксплуатации интенсивность отказов составляет:

$$\lambda_{\min}^* = 0,27 \frac{1}{\text{год} \cdot \text{км}}; \quad \lambda_{\max}^* = 0,52 \frac{1}{\text{год} \cdot \text{км}};$$

$$\lambda_{\text{ср}}^* = 0,38 \frac{1}{\text{год} \cdot \text{км}}.$$

Вероятность безотказной работы составляет: $P_{\min}^* = 0,69$; $P_{\max}^* = 0,82$; $P_{\text{ср}}^* = 0,76$.

При низких темпах реновации система водоснабжения города постепенно выйдет из строя. При этом вероятность безотказной работы периферийных участков сети будет снижаться по экспоненциальному закону.

По известным характеристикам надежности элементов сети определим показатели надежности участка сети в комплексе. Показатели безотказности трубопроводов $\varnothing 110$ мм при общей длине 570 км не отражают уровня надежности отдельных участков (разветвлений). Для оценки надежности таких участков приняты два наиболее типичных участка длиной $l_1 = 3,6$ км; $l_2 = 4,2$ км.

Формулировка отказа: $P_{\text{ср}}^*(t) > 0,5$. Снижение вероятности безотказной работы до величины меньше 0,5 будем считать отказом участка трубопровода водоснабжения.

Особенность тупиковых участков сети заключается в том, что они состоят из основных элементов, а резервные элементы отсутствуют. Отказ любого из элементов приводит к отказу участка в целом.

На основе данных по эксплуатации можно вычислить интенсивности отказов и вероятности безотказной работы. Интенсивность отказов для стального трубопровода $\varnothing 110$ мм длиной 3,6 км составляет:

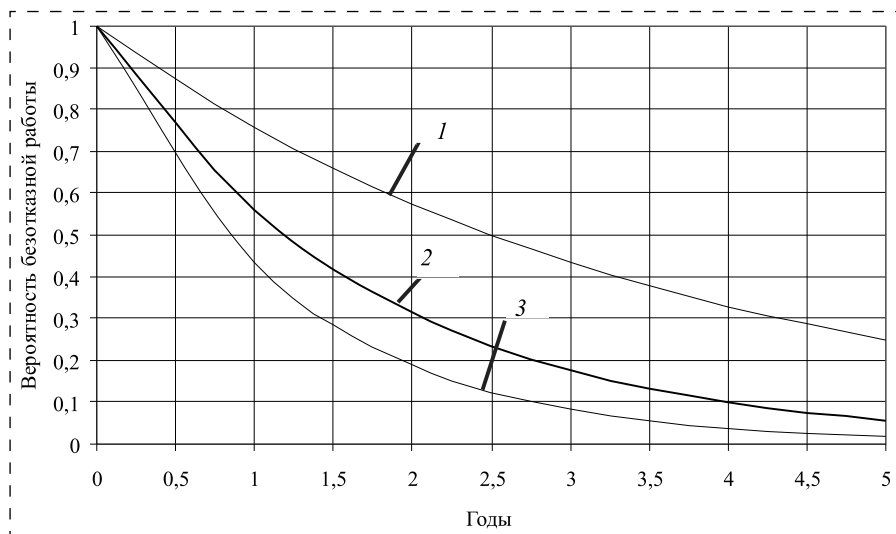
$$\lambda_{\min}^* = 0,28 \frac{1}{\text{год} \cdot \text{км}}; \quad \lambda_{\max}^* = 0,83 \frac{1}{\text{год} \cdot \text{км}};$$

$$\lambda_{\text{ср}}^* = 0,58 \frac{1}{\text{год} \cdot \text{км}}.$$

Вероятность безотказной работы: $P_{\min}^* = 0,43$; $P_{\max}^* = 0,76$; $P_{\text{ср}}^* = 0,57$ с доверительной вероятностью $p = 0,80$ по критерию Стьюдента.

Наиболее часто встречающимися повреждениями трубопровода являются свищи и механические повреждения. Свищи в трубах образуются из-за коррозии. Общие механические повреждения вызваны внешними воздействиями от транспортных нагрузок. Распределение повреждений на участке стального трубопровода показывает, что наибольшее внимание следует уделить решению проблем реновации трубопровода и его защиты от внешних механических воздействий.

Данное обстоятельство особенно значимо для условий чрезвычайно низких темпов реновации



Изменение вероятности безотказной работы стального трубопровода $\varnothing 110$ мм длиной 3,6 км в пятилетней перспективе:

1 — верхняя характеристика вероятности безотказной работы; 2 — средняя характеристика вероятности безотказной работы; 3 — нижняя характеристика вероятности безотказной работы

трубопроводов $\varnothing 110$ мм — 0,009 % в год от потребности. В связи с этим представляет интерес оценка возможного уровня безотказности стального трубопровода в пятилетней перспективе эксплуатации при существующих темпах реновации. Диаграмма изменения вероятности безотказной работы тупикового участка стального трубопровода $\varnothing 110$ мм длиной 3,6 км представлена на рисунке.

Из диаграммы видно, что в среднем гарантированная работа участка ожидается в течение первого (от начала отсчета) года эксплуатации. В дальнейшем даже при минимальном значении интенсивности отказов участок откажет через 2,5 года.

Надежность хозяйственно-питьевого водоснабжения населения в значительной степени зависит от принятой технологической схемы транспортирования воды. В условиях эксплуатации наиболее эффективным методом обеспечения надежности работы системы является метод, позволяющий как можно дольше сохранять работоспособность системы и снизить влияние отказов на выполнение функции водоснабжения. Практика эксплуатации систем водоснабжения показывает, что повышение надежности работающих систем водоснабжения наиболее эффективно может быть достигнуто реализацией следующих мероприятий:

- регламентные работы, регулярные осмотры сети;
- создание системы восстановления отказавшего оборудования, состоящей из диагностического комплекса, комплектов запасных элементов, производственных бригад;
- обеспечение системы или отдельных участков запасными емкостями.

Одним из наиболее эффективных мероприятий по повышению надежности водоснабжения населения является создание резервуаров чистой воды [18, 20, 21, 23]. По экспертным оценкам специалистов общая емкость резервуаров чистой воды в г. Аль-Дивания составляет 18,1 тыс. м³ (27 % от среднесуточного водопотребления). Применение резервуаров чистой воды позволяет обеспечить ее подачу потребителям даже при полном временном прекращении подачи воды участком сети. При этом для условий городов Ирака в период острейшего дефицита материально-технических ресурсов наиболее предпочтительной (с технической точки зрения) схемой является установка резервуара в конце разветвленной линии.

Наличие резервных емкостей в конце тупиковых участков трубопроводной сети будет способствовать повышению обеспеченности населения водой питьевого качества, выравниванию режима работы всей системы, сокращению энергетических затрат.

В случае возникновения отказа на тупиковом участке трубопроводной сети, не имеющем перемычек, наличие резервной емкости существенно снизит вероятность прекращения подачи воды потребителям, расположенным после места аварии.

С учетом того, что подача воды по трубопроводу осуществляется с перебоями, обусловленными отказами, объем резервной емкости определяется по формуле:

$$W = R_{\text{сут. max}} (1 - e^{-\lambda t}) \left[1 - \left(\frac{1}{k_H} \right)^{k_q} \right], \quad (1)$$

где $R_{\text{сут. max}}$ — расход воды жилым районом в сутки с максимальным водопотреблением, м³/сут; $1 - e^{-\lambda t}$ — вероятность отказа участка трубопровода; λ — интенсивность отказов участка трубопровода; t — время наработки; k_H — коэффициент неравномерности подачи воды; k_q — коэффициент часовой неравномерности потребления воды.

Коэффициент неравномерности подачи воды k_H характеризует соотношение интенсивности отказов λ и интенсивности восстановления μ участка трубопровода. Коэффициент неравномерности

подачи воды трубопроводом определяется по формуле:

$$k_H = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (2)$$

Вероятность отказа участка трубопровода определяется на основе данных эксплуатации. При этом процесс изменения вероятности пребывания трубопровода в различных состояниях может быть представлен системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\sum_{i=1}^n \lambda_i P_0(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -\sum_{i=1}^n \lambda_i P_1(t) \end{cases}, \quad (3)$$

где $P_0(t)$ — вероятность нахождения участка трубопровода в рабочем состоянии (0) за время t от начала наблюдения; $P_1(t)$ — вероятность безотказной работы в состоянии (1) за время t ; λ_i — интенсивность отказов элементов i трубопровода.

При граничных условиях, когда в начале отсчета времени участок трубопровода находится в рабочем состоянии (0) вероятность безотказной работы $P(0) = 1$, а $P_1(0) = 0$. Тогда вероятность безотказной работы в момент времени t определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}. \quad (4)$$

Вероятность отказа определяется по формуле:

$$Q(t) = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}. \quad (5)$$

Если $\lambda_i = \lambda = \text{const}$, то вероятность безотказной работы участка трубопровода и вероятность его отказа определяются по формулам:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (6)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (7)$$

Появление повреждений на трубопроводах представляет собой случайный процесс, так как время и место их образования не может быть предусмотрено заблаговременно. Для повышения надежности водоснабжения населения целесообразно установить регулируемую емкость в конце линии, что позволяет рассматривать систему "трубопровод — резервуар — потребитель".

Определение объема резервуара чистой воды производим в предположении, что трубопровод подает воду равномерно в течение суток. С учетом того, что подача воды фактически неравномерна

и характеризуется коэффициентом неравномерности k_H , объем резервуара для аварийного запаса воды определяется по формуле:

$$W = R_{\text{сут. max}} \left[1 - \left(\frac{1}{K_H} \right)^{k_H} \right]. \quad (8)$$

При граничных условиях, когда вероятность отказа в некоторый период времени $Q(t) = 1$, трубопровод подает заданный расход воды. В момент возникновения отказа подача воды по трубопроводу прекращается. После отказа участка трубопровода вода потребителям подается из резервной емкости, установленной в конце тупикового участка. С учетом вероятности отказа участка трубопровода объем резервной емкости определяется по формуле (1).

Таким образом, одним из основных методов повышения надежности трубопроводных сетей водоснабжения является метод резервирования, который практически позволяет повысить обеспеченность населения водопроводной водой. В этом случае вероятность безотказной подачи воды населению определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-\frac{[\lambda_p \gamma_b (1 + \gamma_p) + \lambda_b \gamma_p (1 + \gamma_b)] t}{(1 + \gamma_b)(1 + \gamma_p) + \gamma_p (1 + \gamma_b) + \gamma_b (1 + \gamma_b)}}, \quad (9)$$

$$\gamma_b = \frac{\lambda_b}{\mu_b}; \quad \gamma_p = \frac{\lambda_p}{\mu_p};$$

где λ_b, λ_p — интенсивность отказов трубопровода и резервуара, соответственно; $\lambda_b = \sum \lambda_i l_i$; λ_i — интенсивность отказов i -го участка трубопровода; l_i — длина i -го участка трубопровода; μ_b, μ_p — интенсивность ремонта трубопровода и резервуара, соответственно; t — расчетный период, за который определяется безотказность подачи воды населению.

Если условия работы участка сети водоснабжения такие, при которых $\mu_p = \mu_b$, то вероятность бесперебойной подачи воды может быть определена по приближенной формуле:

$$P(t) = e^{-\left(\frac{2\lambda_b \lambda_p t}{\mu_p} \right)}. \quad (10)$$

При устройстве резервуара чистой воды в конце линии и одновременной организации надлежащей эксплуатации, осуществляющей устранение аварий и повреждений с интенсивностью μ , возможно существенно (в $2\gamma_p$ раз) снизить интенсивность отказов подачи воды потребителям на данном участке и резко увеличить бесперебойность подачи воды.

Заключение

Оценка технического состояния водопроводных сетей, прогнозирование вероятности их отказов имеют важную экономическую и социальную значимость. Системы водоснабжения функционируют в условиях перебоев подачи воды на относительно длительное время. Бесперебойное функционирование тупикового участка трубопровода возможно при наличии в его конце резервной емкости, где хранится запас воды на случай образования отказа (аварии). Объем резервной емкости необходимо определять с учетом наиболее неблагоприятных условий функционирования системы водоснабжения.

Резервуар, установленный в конце тупиковой линии водоснабжения, позволит обеспечить потребителей водой в случае возникновения отказа (аварии) на его участке. Такой метод повышения надежности водоснабжения представляет значимый интерес, так как позволяет существенно улучшить условия доступности водопроводной воды для населения.

Список литературы

1. **Suggested citation:** WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO.
2. **World Economic Forum** (2015). Global Risks 2015 Report. Jan, 2015.
3. **Kowalski D., Miszta-Kruk K.** Failure of water supply networks in selected Polish towns based on the field reliability tests // *Engineering Failure Analysis*. — 2013. — Vol. 35. December. — P. 736–742.
4. **Rezaei H., Ryan B., Stoianov I.** Pipe Failure Analysis and Impact of Dynamic Hydraulic Conditions in Water Supply Networks // *Procedia Engineering*. — 2015. — Vol. 119. — P. 253–262.
5. **Pillot J., Catel L., Renaud E., Augeard B., Roux Ph.** Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks // *Water Research*. — 2016. — Vol. 104. 1 November. — P. 231–241.
6. **Свинцов А. П., Аль-Харам Тами Хаиф.** Оценка надежности трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в городах Ирака // *Вестник РУДН. Инженерные исследования*. — 2011. — № 2. — С. 5–10.
7. **Свинцов А. П., Квартенко В. С.** Водопотребление и водоснабжение в жилищном фонде // *Безопасность жизнедеятельности*. — 2008. — № 10. — С. 35–38.
8. **Maslak V., Nasonkina N., Sakhnovskaya V., Gutarova M., Antonenko S., Nemova D.** Evaluation of Technical Condition of Water Supply Networks on Undermined Territories // *Procedia Engineering*. — 2015. — Vol. 117. — P. 980–989.
9. **Pietrucha-Urbanik K.** Failure analysis and assessment on the exemplary water supply network // *Engineering Failure Analysis*. — 2015. — Vol. 57. November. — P. 137–142.

10. **Kutyłowska M., Hotłós H.** Failure analysis of water supply system in the Polish city of Głogów // *Engineering Failure Analysis*. — 2014. — Vol. 41. June. — P. 23–29.
11. **Примин О. Г., Орлов В. А.** Надежность коммунальных трубопроводов и планирование их восстановления // *Трубопроводный транспорт: теория и практика*. — 2016. — № 2 (54). — С. 21–25.
12. **Примин О. Г.** Анализ факторов, влияющих на надежность и экологическую безопасность водопроводных сетей // *Водоснабжение и санитарная техника*. — 2014. — № 7. — С. 16–22.
13. **Covas Didia I. C., Jacob Ana Cláudia, Ramos Helena M.** Water losses' assessment in an urban water network // *Water Practice and Technology*. — 2008. — Vol. 3 (3). September.
14. **Hongwei Li, Yanjing Li, Wu Wenyan, Mou Lu.** Research on Security Assessment Model of Water Supply System Based on Leakage Control // *Procedia Environmental Sciences*. — 2011. — Vol. 11. — Part B. — P. 749–756.
15. **Tay T. K., Singh R., Lim C. L., Yeo W. L., Chong H. C.** Achieving Low Unaccounted-For-Water through Reliable Supply to Customers and Efficient Network Management // *Water Practice and Technology*. — 2008. — Vol. 3 (4). December.
16. **Debón A., Carrión A., Cabrera E., Solano H.** Comparing risk of failure models in water supply networks using ROC curves // *Reliability Engineering & System Safety*. — 2010. — Vol. 95. — Iss. 1. January. P. 43–48.
17. **Price E., Ostfeld A.** Battle of Background Leakage Assessment for Water Networks Using Successive Linear Programing // *Procedia Engineering*. — 2014. — Vol. 89. — P. 45–52.
18. **Batchabani E., Fuamba M.** Optimal tank Design in Water Distribution Networks: Review of Literature and Perspectives // *Journal of Water Resources Planning and Management*. — 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943–5452.0000256.
19. **Gómez E., Cabrera E., Balaguer M., Soriano Ja.** Direct and Indirect Water Supply: An Energy Assessment // *Procedia Engineering*. — 2015. — Vol. 119. — P. 1088–1097.
20. **Abunada M., Trifunović N., Kennedy M., Babel M.** Optimization and Reliability Assessment of Water Distribution Networks Incorporating Demand Balancing Tanks // *Procedia Engineering*. — 2014. — Vol. 70. — P. 4–13.
21. **Аль-Харам Тами.** Состояние систем водоснабжения и водоотведения в Ираке // XI Международная научно-практическая конференция "Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность". — Кемерово, 2008. — С. 11–14.
22. **Щербаков В. И., Нгуен Х. К.** Проблемы водоснабжения крупных городов Вьетнама // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. — 2015. — № 2 (38). — С. 49–56.
23. **Свинцов А. П., Аль-Харам Тами Хаиф.** Применение резервуаров для повышения надежности тупиковых участков разветвленных сетей водоснабжения // *Гидротехническое строительство*. — 2013. — № 9. — С. 47–51.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по Программе повышения конкурентоспособности РУДН "5-100" среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2016-2020 гг.

A. P. Svintsov, Professor, e-mail: svintsovap@rambler.ru,
A. Sh. Abdulina, Postgraduate, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

Reliability Estimation of the Water Supply Network Infrastructure and Ensuring of Drinking Water to the Population in Case of their Failure

One of the most significant elements of the infrastructural life-support systems are the pipelines of water supply networks. Disruption of water supply leads to the loss of drinking water, deterioration of the conditions of rational use of water resources, inefficient use of investments, quality fall of service to the population and its access to tap water.

To assess the level of operational reliability of water supply network pipelines, we carried out an analysis of their technical condition. It was established that to improve the reliability of deadlock portions of water supply network, it is necessary to equip them with reserve tanks which are set at the ends of the branched portions of the networks. It will contribute to equalize the regime of the entire system, reduce the energy consumption, will reduce the failure rate and ensure the water supply to consumers during the breakage elimination at the portion of network.

We developed some recommendations for assessing the probability of failure-free operation of branched water supply networks which are equipped with reserve tanks. We developed some recommendations for defining the volume of reserve tank taking into account the reliability indexes.

Keywords: pipeline, reliability, breakage (failure), water ensuring, tank, water supply

References

- Suggested citation:** WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO.
- World Economic Forum** (2015). Global Risks 2015. Report. Jan., 2015.
- Kowalski D., Miszta-Kruk K.** Failure of water supply networks in selected Polish towns based on the field reliability tests. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 35. December. P. 736–742.
- Rezaei H., Ryan B., Stoianov I.** Pipe Failure Analysis and Impact of Dynamic Hydraulic Conditions in Water Supply Networks. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 119. P. 253–262.
- Pillot J., Catel L., Renaud E., Augeard B., Roux Ph.** Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks. *Water Research*. 2016. Vol. 104. 1 November. P. 231–241.
- Svincov A. P., Al'-Harami Tami Haif.** Ocenka nadezhnosti truboprovodov sistem vodosnabzhenija i vodootvedenija v gorodah Iraka. *Vestnik RUDN. Inzhenernye issledovanija*. 2011. No. 2. P. 5–10.
- Svincov A. P., Kvartenko V. S.** Vodopotreblenie i vodosnabzhenie v zhilishhnom fonde // *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2008. No. 10. P. 35–38.
- Maslak V., Nasonkina N., Sakhnovskaya V., Gutarova M., Antonenko S., Nemova D.** Evaluation of Technical Condition of Water Supply Networks on Undermined Territories. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. P. 980–989.
- Pietrucha-Urbanik K.** Failure analysis and assessment on the exemplary water supply network. *Engineering Failure Analysis*. 2015. Vol. 57. November. P. 137–142.
- Kutyłowska M., Hotłoś H.** Failure analysis of water supply system in the Polish city of Głogów. *Engineering Failure Analysis*. 2014. Vol. 41. June. P. 23–29.
- Primin O. G., Orlov V. A.** Nadezhnost' kommunal'nyh truboprovodov i planirovanie ih vosstanovlenija. *Truboprovodnyj transport: teorija i praktika*. 2016. No. 2 (54). P. 21–25.
- Primin O. G.** Analiz faktorov, vlijajushhij na nadezhnost' i jekologicheskiju bezopasnost' vodoprovodnyh setej. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika*. 2014. No. 7. P. 16–22.
- Covas Dídía I. C., Jacob Ana Cláudia, Ramos Helena M.** Water losses' assessment in an urban water network. *Water Practice and Technology*. 2008. Vol. 3 (3). September.
- Li Hong wei, Li Yan jing, Wenyan Wu, Lu Mou.** Research on Security Assessment Model of Water Supply System Based on Leakage Control. *Procedia Environmental Sciences*. 2011. Vol. 11. Part B. P. 749–756.
- Tay T. K., Singh R., Lim C. L., Yeo W. L., Chong H. C.** Achieving Low Unaccounted-For-Water through Reliable Supply to Customers and Efficient Network Management. *Water Practice and Technology*. 2008. Vol. 3 (4). December.
- Debón A., Carrión A., Cabrera E., Solano H.** Comparing risk of failure models in water supply networks using ROC curves. *Reliability Engineering & System Safety*. 2010. Vol. 95. Iss. 1. January. P. 43–48.
- Price E., Ostfeld A.** Battle of Background Leakage Assessment for Water Networks Using Successive Linear Programming. *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 89. P. 45–52.
- Batchabani E., Fuamba M.** Optimal tank Design in Water Distribution Networks: Review of Literature and Perspectives. *Journal of Water Resources Planning and Management*. — 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943–5452.0000256.
- Gómez E., Cabrera E., Balaguer M., Soriano Ja.** Direct and Indirect Water Supply: An Energy Assessment. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 119. P. 1088–1097.
- Abunada M., Trifunović N., Kennedy M., Babel M.** Optimization and Reliability Assessment of Water Distribution Networks Incorporating Demand Balancing Tanks. *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 70. P. 4–13.
- Al'-Harami Tami.** Sostojanie sistem vodosnabzhenija i vodootvedenija v Irake. *XI Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija "Vodosnabzhenie i vodootvedenie: kachestvo i jeffektivnost'"*. Kemerovo, 2008. P. 11–14.
- Shherbakov V. I., Nguen H. K.** Problemy vodosnabzhenija krupnyh gorodov V'etnama. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2015. No 2 (38). P. 49–56.
- Svincov A. P., Al'-Harami Tami Haif.** Primenenie rezervuarov dlja povyshenija nadezhnosti tupikovyh uchastkov razvetvlenykh setej vodosnabzhenija. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*. 2013. No 9. P. 47–51.

УДК 629.7.08

В. И. Гера, канд. техн. наук, доц., начальник факультета, e-mail:geratv33@mail.ru,
Р. Н. Аитов, адъюнкт кафедры, **Е. В. Калмыков**, курсовой офицер факультета,
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург

К вопросу идентификации опасности при анализе риска эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры

Рассмотрен подход по исследованию технологических систем при анализе риска их эксплуатации и проведении предварительной оценки значения идентифицированных опасностей. Основное внимание акцентировано на методологии анализа технических устройств, поскольку важность данного этапа заключается в том, что неверно выявленные опасности или закономерности их возникновения приведут к ошибочным выводам по обеспечению безопасности эксплуатации системы. Предлагаемый подход, основанный на энергоэнтропийной концепции природы опасностей, позволяет выполнить оценку риска эксплуатации с учетом аккумулированной в технической системе энергии. Анализ технической системы рекомендуется выполнять с позиций системного анализа ее места в системе более высокого уровня.

Ключевые слова: безопасность, технологическая система, энергия, опасность, анализ, риск, происшествие, вред, управляющее воздействие

Введение

Анализ существующей нормативно-технической литературы, например, ГОСТ Р 51901.2002 [1] показывает недостаточную разработанность процесса идентификации опасности при анализе риска технологических систем. В п.п. 4.3 и 6.3.1 упомянутого стандарта [1] предложен подход, позволяющий выполнить предварительную оценку значения идентифицированных опасностей, но способ проведения идентификации, т. е. выявление опасности, присущей энергонасыщенной технологической системе, не предложен. Следовательно, представляется необходимым вооружить исследователя методологией анализа технической системы по ее основным структурам: технической, функциональной и организационной.

При формулировании исходных положений, относящихся к существу возникновения риска в системе "человек-машина-среда" будем исходить из представлений, суть которых состоит в сложном, стохастическом характере предпосылок происшествий, которые обусловлены неким количеством факторов, проявляющихся в стремлении энергетических потенциалов к выравниванию, с одной стороны, и противодействию им различных защитных механизмов, с другой. Этот подход позволяет сформулировать основные положения

энергоэнтропийной концепции природы опасностей [2, 3].

Положение 1. Любой технологический процесс, любая технологическая система, связанные с выработкой, хранением, транспортированием и преобразованием энергии, потенциально опасны. Ни один вид технологической системы при ее функционировании не позволяет достичь абсолютной безопасности.

Положение 2. Опасность проявляется в результате высвобождения энергии и/или вредных веществ, аккумулированных в объекте, в систему "человек-машина-среда".

Положение 3. Высвобождение энергии и/или вредных веществ в количестве, превышающем предельно допустимые значения, в систему "человек-машина-среда" приводят к происшествиям.

Положение 4. Происшествие является следствием появления цепи предпосылок — причин происшествий, и заключается в деструктивном воздействии вредных факторов высвобожденной энергии/вредных веществ на элементы системы "человек-машина-среда".

Положение 5. Причинами происшествий являются ошибочные действия обслуживающего персонала (ОП) — отсутствие защиты от несанкционированных действий; неисправное состояние технологической системы и нерасчетные внешние

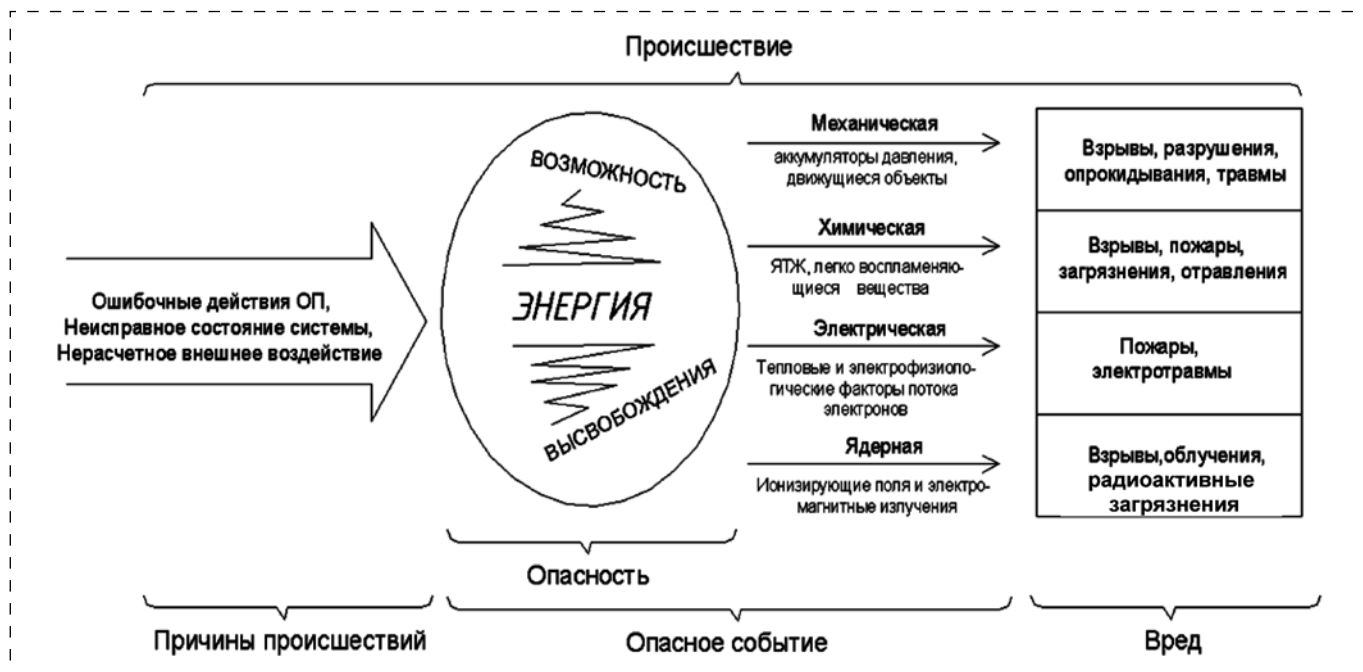


Рис. 1. Сущность природы возникновения происшествия

воздействия; низкая защищенность системы "человек-машина-среда".

Содержание вышеназванных положений представлено на рис. 1.

Исследование систем при анализе риска их эксплуатации

Алгоритм управления риском функционирования системы "человек-машина-среда" условно разделим на три основных этапа: 1) морфологический системный анализ и идентификация опасностей (качественный анализ системы); 2) разработка и анализ моделей опасных процессов и их исходов (количественный анализ системы); 3) системный анализ и моделирование процесса управления безопасностью.

Совокупность приведенных этапов и их элементов и взаимосвязей может рассматриваться как структура системного анализа и моделирования опасных процессов, основанная на применении гибкой методологии прогнозирования и управления риском функционирования системы "человек-машина-среда". Такая структура представлена на рис. 2.

Первым и важным этапом системного исследования безопасности функционирования системы "человек-машина-среда" является морфологический системный анализ и идентификация опасностей. Важность данного этапа заключается в том, что неверно выявленные опасности или закономерности их возникновения приведут

к ошибочным выводам по обеспечению безопасности эксплуатации системы.

Данный этап можно разделить на два составляющих его компонента: ретроспективный анализ системы, анализ нормативных требований; структурный анализ системы.

Ретроспективный анализ системы, анализ нормативных требований основан:

- на данных анализа истории системы (становление (формирование), реконструкция, модернизация, ремонты) и требований нормативной документации, по которой она создавалась и совершенствовалась;

- на обобщении статистических данных по происшествиям, анализе их причин, сценариев развития;

- на статистических данных по неисправностям (отказам) технических устройств, ошибкам обслуживающего персонала при испытаниях и в процессе эксплуатации системы; рассмотрению подвергаются отказы тех устройств или их элементов, которые участвуют в хранении, трансформации и преобразовании энергии, и ошибки обслуживающего их персонала;

- на данных анализа нормативных требований при создании системы и их сравнении с существующими требованиями, т. е. анализа достижения требований нормативной документации разработчиками в проектной документации и изделии; применительно к космическим средствам детальному анализу подвергаются общие технические требования (ОТТ) по безопасности

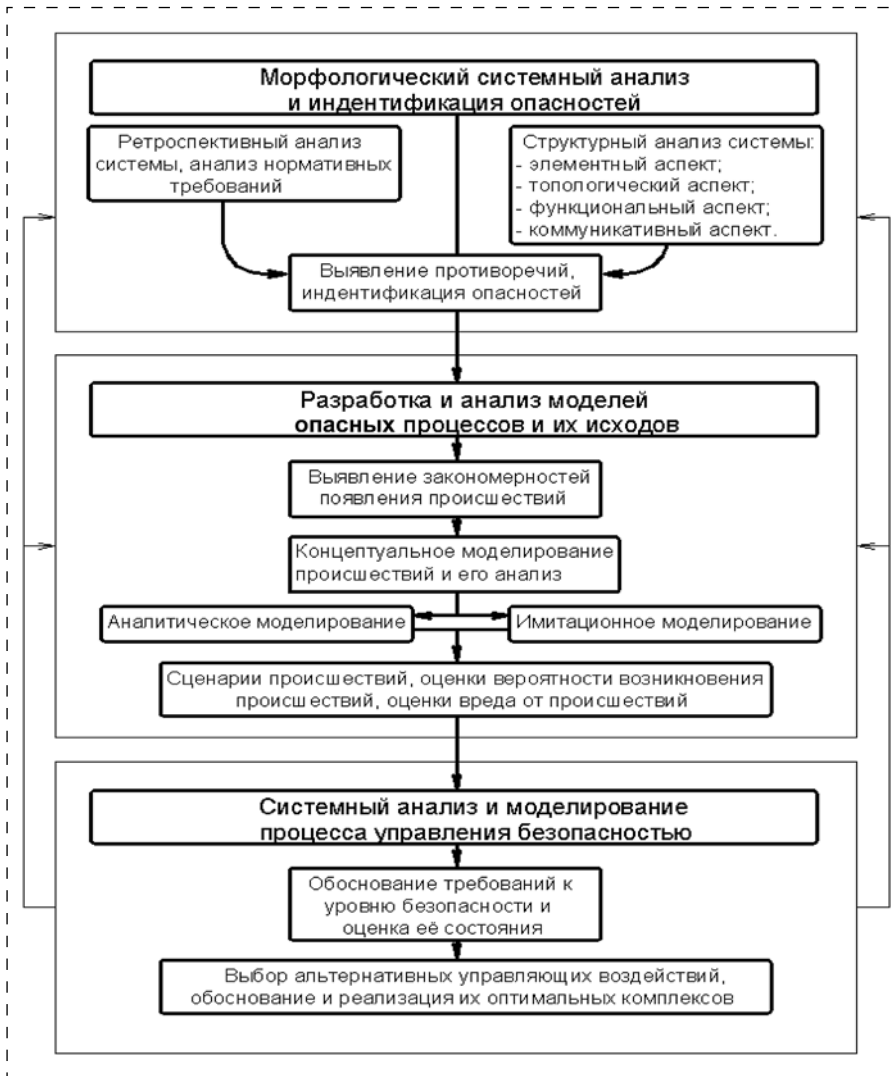


Рис. 2. Обобщенная структура анализа и управления безопасностью функционирования системы "человек-машина-среда"

содержится) энергия и которые могут вызвать опасности (энергетические установки, химические реакторы, емкости, сосуды под давлением и др.). Технология и обслуживающий персонал анализируются с позиций длительности и сложности выполняемых операций, уровня профессиональной подготовленности персонала и его психофизиологических качеств. Анализ среды заключается в ее эргономической оценке и анализе возможности нерасчетного воздействия среды на другие компоненты системы.

Топологический аспект (архитектоника системы) — способы связи и взаимодействие элементов системы. Технические устройства анализируются с целью выявления дополнительных источников опасностей, которые проявляются при преобразовании, трансформации и транспортировании энергии в соответствии с технологическим процессом (компрессоры, насосы, турбины, трубопроводы и запорно-регулирующая аппаратура высокого давления и др.).

Функциональный аспект — задачи, решаемые системой и подсистемами, процессы в системе, определяющие ее поведение. Технические устройства анализируются с целью выявления причин возможного несанкционированного высвобождения энергии из источников опасности (определенных ранее), обусловленного отказами сопряженного оборудования и/или элементов, ошибок обслуживающего персонала в процессе функционирования системы по заданной технологии. На данной стадии помимо причин возможного несанкционированного высвобождения энергии анализируются также причины, влияющие на результат выполнения задач системой, так как невыполнение задачи системой может послужить причиной происшествия в системах более высокого уровня или привести к косвенному вреду (простой, потерянная прибыль и т. п.). Особое внимание здесь следует уделять системе обеспечения безопасности, при наличии таковой на объекте; анализу ее надежности, способности "нейтрализовать" аварийно высвободившуюся энергию, оперативности оповещения персонала

и их реализация в программе обеспечения безопасности (ПОБ) изделия.

Целью анализа является выявление противоречий между действительным и желаемым состояниями исследуемых опасных процессов, определение номенклатуры свойств системы, влияющих на ее опасность, до проведения исследования.

Структурный анализ системы основывается на рассмотрении системы "человек-машина-среда" по четырем аспектам (граням, сторонам).

Элементный аспект — состав компонентов системы (оператор, техническое устройство, среда, технология их взаимодействия), их качественная характеристика. Технические устройства анализируются с целью выявления потенциальных источников опасностей — системы, частей системы или элементов, в которых аккумулирована (постоянно

нированное высвобождение энергии из источников опасности (определенных ранее), обусловленного отказами сопряженного оборудования и/или элементов, ошибок обслуживающего персонала в процессе функционирования системы по заданной технологии. На данной стадии помимо причин возможного несанкционированного высвобождения энергии анализируются также причины, влияющие на результат выполнения задач системой, так как невыполнение задачи системой может послужить причиной происшествия в системах более высокого уровня или привести к косвенному вреду (простой, потерянная прибыль и т. п.). Особое внимание здесь следует уделять системе обеспечения безопасности, при наличии таковой на объекте; анализу ее надежности, способности "нейтрализовать" аварийно высвободившуюся энергию, оперативности оповещения персонала

по сравнению с временем развития опасного события.

Коммуникативный аспект — связи и взаимодействие системы с внешней средой. На данной стадии анализируются причины, влияющие на безопасность и результат выполнения задач системой, обусловленные нерасчетными воздействиями внешней среды. К таким причинам могут относиться находящиеся рядом опасные производственные объекты, внешние источники энергоснабжения, сбой в работе которых может оказать влияние на безопасность и надежность исследуемой системы, ошибочные (ложные) управленческие воздействия систем более высокого уровня, возможные воздействия природного характера, воздействие вооруженного конфликта и т. п.

Целью структурного анализа является идентификация опасностей, возможных причин происшествий, выявления противоречий между действительным и желаемым состояниями исследуемых опасных процессов, определение номенклатуры свойств системы, влияющих на ее опасность с учетом текущего технического состояния.

В процессе осуществления *морфологического системного анализа и идентификации опасностей* используются различные способы сбора и преобразования статистических данных, направленные на повышение информативности исследуемых признаков. Наиболее предпочтительны для этого следующие: регрессивные алгоритмы, проверка статистических гипотез, кластер-процедуры, дискриминантный и факторный анализы. Важность данного этапа имеет определяющее значение для последующего количественного анализа и рассуждений по выработке управляющих воздействий для достижения приемлемого уровня риска.

После проведения морфологического системного анализа и идентификации опасности следует второй этап — *разработка и анализ моделей опасных процессов и их исходов* (количественный анализ системы). Методология и инструментарий данного этапа, в отличие от предыдущего, достаточно широко освещены как в нормативной [1], так и в технической литературе [2, 3]. Поэтому здесь предложен один из подходов к определению критерия допустимости или недопустимости (приемлемости) оцененного на этом этапе риска.

Сущность предлагаемого подхода состоит в том, что требования к допустимой вероятности возникновения происшествия на сложной технической системе (СТС) должны определяться индивидуально с учетом возможного ущерба в результате данного типа происшествия и критериев экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации СТС с точки зрения безопасности.

Применение СТС по назначению имеет своей целью получение какого-то полезного эффекта $C_{пэ}$ (прибыли) и характеризуется переходом из состояния готовности к применению S_n в состояние выполнения целевой задачи S_k . Однако в процессе применения СТС по назначению возможно с вероятностью P_n причинение ущерба W_n , связанного с возникновением происшествия (состояние $S_{пр}$) и оцениваемого риском $(W_n + C_{пэ})P_n$. Данные рассуждения могут быть представлены в виде графа состояний СТС, приведенного на рис. 3.

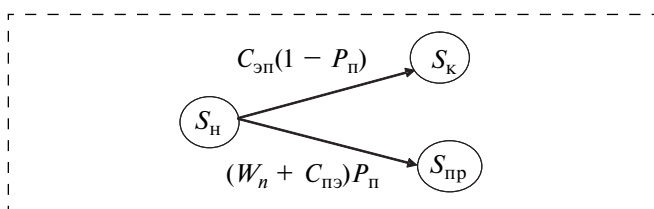


Рис. 3. Граф состояний СТС на этапе эксплуатации с учетом возникновения происшествий

Таким образом представляется возможным утверждать, что безопасность эксплуатации СТС может считаться приемлемой (допустимой) $P_n^д$ в том случае, если полезный эффект от применения СТС по назначению будет больше риска возникновения происшествия (для происшествий, при которых ущерб наносится СТС и среде). Кроме того, риск гибели человека будет не выше риска гибели в естественных условиях (в результате дорожно-транспортных происшествий, стихийных бедствий и т. п.), что соответствует значению риска 10^{-6} . Следовательно,

$$P_n^д = \begin{cases} 10^{-6} & \text{при воздействии на людей} \\ \frac{C_{пэ}}{2C_{пэ} + W_n} & \text{при воздействии на СТС, среду} \end{cases}, \quad (1)$$

Здесь величина $C_{пэ}$, выражающая полезный эффект от эксплуатации (применения) СТС, определяется по формуле;

$$C_{пэ} = (3 + A)K_{рен},$$

где $3 = (Z_{рм} + Z_{гсм} + Z_{эн} + Z_{ден} + Z_{зис} + Z_{то} + Z_{сод}) \times K_{общ}K_{прч}$ — затраты, связанные с эксплуатацией: расходные материалы $Z_{рм}$, горюче-смазочные материалы $Z_{гсм}$, энергия $Z_{эн}$, заработная плата обслуживающего персонала $Z_{ден}$, эксплуатация зданий и сооружений $Z_{зис}$, ремонт и проведение технического обслуживания $Z_{то}$, содержание обслуживающего персонала $Z_{сод}$; $K_{общ}$ — расходы верхнего уровня в долях от 1 (~0,05 %); $K_{прч}$ — расходы, не связанные с применением в долях от



1 (~0,03 %); A — амортизация элементов СТС; $K_{\text{рен}}$ — коэффициент рентабельности.

Возможный ущерб при реализации происшествия n -го типа может быть выражен величиной W_n , равной сумме непосредственного ущерба элементам СТС — $W_{\text{непоср}}$, ущерба, причиненного окружающей внешней среде $W_{\text{стр}}$ и неполученного эффекта в результате простоя $C_{\text{пот}}$. Ниже приведена детализация элементов возможного ущерба. Величина возможного ущерба определяется следующим образом:

$$W_n = (AC_{\text{эл}} + C_{\text{вост}} + C_{\text{рвр}}) + (\sum C_{\text{стр}}) + \left[t(\Delta C_{\text{пр}}^{\text{пл}}) - \sum_i^N (C_{i\text{пл}} - C_{i\text{факт}}) \right],$$

где $AC_{\text{эл}}$ — стоимость поврежденных элементов (систем) с учетом амортизации; $C_{\text{вост}}$ — стоимость элементов, необходимых для восстановления работоспособности СТС; $C_{\text{рвр}}$ — стоимость ремонтно-восстановительных работ; $\sum C_{\text{стр}}$ — ущерб, причиненный окружающей среде, прилегающим объектам, жителям прилегающих районов; t — время вынужденного простоя; $\Delta C_{\text{пр}}^{\text{пл}}$ — планируемый полезный эффект за время t ; $C_{i\text{пл}}$ — максимальная производительность согласно эксплуатационной документации; $C_{i\text{факт}}$ — фактическая производительность в рассматриваемый период.

Выражение (1) отражает не только технико-экономический аспект обеспечения безопасности эксплуатации СТС, но и принятый на текущий момент уровень "приемлемости риска" для персонала.

Требования в предложенном подходе позволят "заставить" разработчика СТС рассмотреть возможные варианты достижения приемлемого уровня. Например, при происшествии ущерб техническим системам и среде по отношению к прибыли невелик, а риск для человека неприемлем, поэтому следует создавать технологический процесс с минимальным участием людей (пример: "безлюдные" старты РКК "Циклон" и "Зенит").

После проведения анализа состояния безопасности, т. е. ответа на вопрос, приемлема или нет безопасность объекта, целесообразно перейти к управлению безопасностью для тех элементов, где она недопустима, или, по мнению авторов, следует перейти к оптимальному распределению средств для достижения приемлемого уровня безопасности эксплуатации СТС.

Непременным требованием к процессу управления безопасностью является достижение заданных результатов при минимальных издержках. Для разработки оптимальных в этом смысле планов финансового обеспечения процесса управления необходимо знать, какой эффект будет

получен от той или иной суммы вложений в работы по управлению, т. е. к какому изменению показателя безопасности приведет их выполнение. Функцию, характеризующую эти изменения, назовем функцией чувствительности показателя безопасности к вложению средств на управление безопасностью или, для краткости, функцией отклика.

Прежде чем перейти к математической постановке и решению задачи построения функции отклика, сформулируем задачу вербально.

По результатам выполнения второго этапа исследований будем иметь сценарии (деревья) возникновения происшествий и их исходов. Выполнив анализ сценариев по важности (вкладу, весу) причин их возникновения и реализации, получим две ранжированные группы. Первая — причины происшествия и их вклад в происшествие, вторая — причина ущерба техническим системам, среде или человеку и их вклад в суммарный ущерб от происшествия. Далее, с учетом весовых вкладов, подвергнем анализу причины происшествий и причины ущерба на предмет недопустимости. Если причина происшествия — отказ, то будем повышать надежность элемента или дублировать его в СТС для повышения надежности. Если ошибка человека, то попробуем ее исключить технически (защитные средства, операция с двойным контролем и т. д.) или с помощью дополнительного обучения.

Далее проведем повторный анализ сценария (дерева) возникновения происшествия, но уже с учетом вводимых мероприятий и оценим возможное снижение вероятности возникновения происшествия. Если оно стало приемлемым, то предлагаем данные мероприятия для реализации. Если предложенные мероприятия технически не реализуемы или экономически невыгодны, выполним аналогично анализ дерева исходов. Предлагаемые ниже мероприятия будут направлены на парирование или исключение поражающих факторов (защитные экраны, вынесение объекта за зону действия поражающего фактора и т. п.). В результате получим две группы управляющих воздействий: одни для снижения вероятности возникновения происшествия, другие для снижения ущерба. Очевидно, что каждое мероприятие будет иметь различные варианты его выполнения, стоимости проведения и главное — они будут по-разному уменьшать риск происшествия.

Эта информация может быть использована в качестве исходных данных для последовательного определения соответствующих функций отклика на проведение управления безопасностью отдельных видов оборудования, объектов, входящих в состав системы, и их совокупности,

т. е. СТС в целом. Полученные функции отклика, в свою очередь, являются исходным материалом для решения задачи определения оптимального объема работ по управлению безопасностью СТС, обеспечивающего требуемые значения показателя приемлемого уровня безопасности при минимальных затратах. Рассмотрим последовательно математические постановки (алгоритмы) решения задач определения функций отклика и оптимального объема работ по управлению безопасностью эксплуатации СТС.

Математическая постановка задачи определения функций отклика

Введем обозначения: I — число происшествий, возможных при эксплуатации СТС; J_i — число причин i -го происшествия; K_{ij} — число возможных мероприятий (работ), направленных на снижение вероятности возникновения j -й причины или поражающего фактора i -го происшествия; v_{ijk} — число вариантов выполнения k -й работы по снижению вероятности возникновения j -й причины или поражающего фактора i -го происшествия; L — число показателей безопасности функционирования СТС.

Исходные данные для решения задач определения функций отклика отдельных причин происшествий или возникновения поражающего фактора целесообразно представить в виде совокупности таблиц, построенных для каждой причины происшествия и имеющих структуру, подобную структуре табл. 1, в которой работы по управлению состоянием СТС и варианты их выполнения расположены в порядке возрастания

стоимости их выполнения. В табл. 1 используются следующие обозначения:

r_{ijk} — условное наименование k -й работы ($k = \overline{1, K_{ij}}$) по управлению j -й причиной ($j = \overline{1, J_i}$) i -го происшествия ($i = \overline{1, I}$);

c_{ijkv} — затраты на выполнение v -го варианта ($v = \overline{1, v_{ijk}}$) k -й работы ($k = \overline{1, K_{ij}}$) по управлению j -й причиной ($j = \overline{1, J_i}$) i -го происшествия ($i = \overline{1, I}$);

ΔP_{ij}^l — приращение l -го показателя безопасности функционирования СТС ($l = \overline{1, L}$) за счет выполнения v -го варианта k -й работы по управлению j -й причиной i -го происшествия.

Суммарное изменение показателя безопасности j -й причины i -го происшествия является некоторой функцией частных приращений этих показателей за счет выполнения k -х работ по управлению, т. е.

$$\Delta P_{ij}^l = f_l(\Delta P_{ij1}^l, \Delta P_{ij2}^l, \dots, \Delta P_{ijK_{ij}}^l). \quad (2)$$

Функция (2) часто является аддитивной. В этом случае функция (2) примет вид

$$\Delta P_{ij}^l = \sum_{k=1}^{K_{ij}} \Delta P_{ijk}^l.$$

Тогда для решения задач определения функций отклика на снижение вероятности возникновения отдельных причин происшествия, происшествий, возможных в процессе применения объектов СТС, а также совокупности этих объектов, может быть применен метод динамического программирования. Названные задачи решаются последовательно: сначала определяются функции отклика, характеризующие чувствительность показателей безопасности функционирования

Таблица 1

Перечень работ	Стоимость вариантов (способов) выполнения работ	Приращение показателя безопасности				
		ΔP^1	...	ΔP^l	...	ΔP^L
r_{ij11}	c_{ij11}	ΔP_{ij11}^1	...	ΔP_{ij11}^l	...	ΔP_{ij11}^L
r_{ij12}	c_{ij12}	ΔP_{ij12}^1	...	ΔP_{ij12}^l	...	ΔP_{ij12}^L
...
r_{ij1v}	c_{ij1v}	ΔP_{ij1v}^1	...	ΔP_{ij1v}^l	...	ΔP_{ij1v}^L
r_{ijk1}	c_{ijk1}	ΔP_{ijk1}^1	...	ΔP_{ijk1}^l	...	ΔP_{ijk1}^L
...
$r_{ijkv_{jk}}$	$c_{ijkv_{jk}}$	$\Delta P_{ijkv_{jk}}^1$	...	$\Delta P_{ijkv_{jk}}^l$	...	$\Delta P_{ijkv_{jk}}^L$
...
$r_{ijK_{ij}}$	$c_{ijK_{ij}}$	$\Delta P_{ijK_{ij}}^1$	...	$\Delta P_{ijK_{ij}}^l$	...	$\Delta P_{ijK_{ij}}^L$



СТС к снижению вероятности возникновения причин происшествий, а затем на основе этих данных — к происшествию и, наконец, суммарная функция отклика к происшествиям, которые возможны в процессе функционирования СТС. Сформулируем эти задачи.

В случае наличия в перечне работ по управлению j -й причиной i -го происшествия альтернативных вариантов показатели безопасности функционирования СТС и ограничения на ресурсы, выделяемые для достижения приемлемого уровня безопасности, должны быть записаны в виде:

$$\Delta \Pi_{ij}^l = \sum_{k=1}^{K_{ij}} \Delta \Pi_{ijk}^l \times \left(x_{ijk1}^l c_{ijk1} + \dots + x_{ijkv}^l c_{ijk1v} + \dots + x_{ijkv_{jk}}^l c_{ijkv_{jk}} \right), \quad (3)$$

$$\forall l, i, j, k, v \quad x_{ijkv}^l \in \{0, 1\}, \quad \sum_{v=1}^{v_{jk}} x_{ijkv}^l \in \{0, 1\}, \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{ij}} \left(x_{ijk1}^l c_{ijk1} + \dots + x_{ijkv}^l c_{ijk1v} + \dots + x_{ijkv_{jk}}^l c_{ijkv_{jk}} \right) \leq C_{ij}, \quad (5)$$

где C_{ij} — возможное количество средств выделяемых на управление j -й причиной i -го происшествия; x_{ijk} — объем k -й работы по управлению j -й причиной i -го происшествия.

В этом случае первая задача может быть сформулирована следующим образом.

Задача 1.

Дано: зависимости $\Pi_{ijkv}^l(c_{ijkv})$.

Найти:

для $\forall i = 1 \dots I, j = 1 \dots J, l = 1 \dots L$ и $C_{ij} = c_{ij}^{\min}$,

$$c_{ij}^{\min} + \Delta c_{ij}, c_{ij}^{\min} + 2\Delta c_{ij}, \dots, c_{ij}^{\max}$$

оптимальный вектор

$$\overline{x_{ij}^l} = \arg \max_{\overline{x_{ij}^l}} \sum_{k=1}^{K_{ij}} \Delta \Pi_{ijk}^l \times \left(x_{ijk1}^l c_{ijk1} + \dots + x_{ijkv}^l c_{ijk1v} + \dots + x_{ijkv_{jk}}^l c_{ijkv_{jk}} \right)$$

при условии (5),

где $\overline{x_{ij}^l} = \left[\langle x_{ij11}^l, x_{ij12}^l, \dots, x_{ij1v_{j1}}^l \rangle, \dots \right]$

$\dots, \left[x_{ijK_{j1}}^l, x_{ijK_{j2}}^l, \dots, x_{ijK_{jv_{jk}}}^l \right]^T$ — вектор, характеризующий оптимальный объем работ по управлению j -й причиной i -го происшествия при выделении для этой цели ассигнований в размере C_{ij} . Каждому элементу x_{ijkv}^l , равному 1, соответствует работа r_{ijkv} , а элементы x_{ijkv}^l , равные нулю, указывают на то, что соответствующие им работы r_{ijkv} нецелесообразно выполнять при данном уровне финансирования C_{ij} ; Δc_{ij} — точность распределения

средств по работам плана управления j -й причиной i -го происшествия;

$$c_{ij}^{\min} = \min_k \min_v c_{ijkv}, \dots, c_{ij}^{\max} = \sum_k^{K_{ij}} \max_v c_{ijkv}, v = \overline{1, v_{ijk}}.$$

Так как задача решается для спектра значений C_{ij} , то в результате ее решения получим не только оптимальный объем работ по управлению j -й причиной i -го происшествия, но и дискретную функцию $\Pi_{ij}^l(c_{ij})$, характеризующую чувствительность показателя безопасности функционирования к вложению средств на управление т. е. снижение последствий при реализации j -й причины i -го происшествия.

Задача 2.

Дано: зависимости $\Delta \Pi_{ij}^l(c_{ij})$, полученные в результате решения первой задачи.

Найти: для $\forall i = 1 \dots I, l = 1 \dots L$ и $C_i = c_i^{\min}$, $c_i^{\min} + \Delta c_i, c_i^{\min} + 2\Delta c_i, \dots, c_i^{\max}$ оптимальный вектор

$\overline{c_i^l} = \arg \max_{c_{ij}} \sum_{j=1}^{J_i} \Delta \Pi_{ij}^l(c_{ij})$ при условии, что $\sum_{j=1}^{J_i} c_{ij} \leq C_i$, где C_i — возможное количество средств,

выделяемых на управление i -м происшествием;

$\overline{c_i^l} = \left[c_{i1}^l, c_{i2}^l, \dots, c_{iJ_i}^l \right]^T$ — вектор, элементы которого характеризуют оптимальный объем работ по управлению i -м происшествием; $c_i^{\min} = \min_j \min_k c_{ijk}$;

$c_i^{\max} = \sum_{j=1}^{J_i} \max_k c_{ijk}$; Δc_i — точность распределения

средств на управление i -м происшествием по причинам его возникновения.

средств на управление i -м происшествием по причинам его возникновения.

Задача 3.

Эта задача формулируется как одноиндексная задача 2 (только относительно индекса i). Поэтому, для краткости, опустим ее математическое описание.

Алгоритмы решения задач

Алгоритмы решения сформулированных задач основаны на использовании соответствующих им функциональных уравнений Беллмана.

Задача 1.

Для первого шага решения этой задачи уравнение Беллмана имеет вид:

$$\Delta \tilde{\Pi}_{ij1}^l(\xi_{ij1}) = \Delta \Pi_{ij1}^l(c_{ij}^{\min}); \quad (6)$$

$$\forall \xi_{ij1} < c_{ij}^{\min}; \quad \Delta \tilde{\Pi}_{ij1}^l(\xi_{ij1}) = 0,$$

ξ_{ij}	$\Delta\tilde{\Pi}_{ij1}^l(\xi_{ij1})$	$\langle \hat{x}_{ij11}^l, \hat{x}_{ij12}^l, \dots, \hat{x}_{ij1v_{j1}}^l \rangle$	$\Delta\tilde{\Pi}_{ij2}^l(\xi_{ij2})$	$\langle \hat{x}_{ij21}^l, \hat{x}_{ij22}^l, \dots, \hat{x}_{ij2v_{j2}}^l \rangle$	...	$\Delta\tilde{\Pi}_{ijK_j}^l(\xi_{ij})$	$\langle \hat{x}_{ijK_j1}^l, \hat{x}_{ijK_j2}^l, \dots, \hat{x}_{ijK_jv_{jK_j}}^l \rangle$
1	2	3	4	5	...	$2K_{ij}$	$2K_{ij} + 1$
0							
c_{ij}^{\min}							
$c_{ij}^{\min} + \Delta c_{ij}$							
$c_{ij}^{\min} + 2\Delta c_{ij}$							
...							
$\sum_{\rho=1}^k \max_v c_{ij\rho v}$							

а для последующих шагов

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{\Pi}_{ijk}^l(\xi_{ijk}) &= \\ &= \max_{\langle x_{ijk1}^l, x_{ijk2}^l, \dots, x_{ijkv_{jk}}^l \rangle \in X_{ij}^l} \left(\Delta\tilde{\Pi}_{ijk}^l \left(\sum_{v=1}^{v_{ijk}} x_{ijkv}^l c_{ijkv} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \Delta\tilde{\Pi}_{i,j,(k-1)}^l \left(\xi_{ijk} - \sum_{v=1}^{v_{ijk}} x_{ijkv}^l c_{ijkv} \right) \right), \\ \sum_{\rho=1}^k \sum_{v=1}^{v_{ijk}} x_{ij\rho v}^l c_{ij\rho v} &\leq \xi_{ijk}, \quad \xi_{ijk} = 0, \quad c_{ij}^{\min}, \quad c_{ij}^{\min} + \Delta c_{ij}, \\ c_{ij}^{\min} + 2\Delta c_{ij}, \dots, &\sum_{\rho=1}^k \max_v c_{ij\rho v}, \quad k = \overline{2, K_{ij}}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$(8)$$

где $\Delta\tilde{\Pi}_{ijk}^l(\xi_{ijk})$ — максимальное значение показателя безопасности при выполнении k -х работ по управлению j -й причиной i -го происшествия; x_{ij}^l — множество $(v_{ijk} + 1)$ кортежей из v_{ijk} элементов, которые имеют следующую структуру: все элементы первого кортежа равны 0, у второго кортежа первый элемент равен 1, а остальные 0, у третьего — второй элемент равен 1, а остальные 0, у кортежа $(v_{ijk} + 1)$ — v_{ijk} -й элемент равен 1, а остальные 0. Например, если $v_{ijk} = 3$, то $x_{ij}^l = \{ \langle 0, 0, 0 \rangle, \langle 1, 0, 0 \rangle, \langle 0, 1, 0 \rangle, \langle 0, 0, 1 \rangle \}$. Результаты вычислений по формулам (6)—(8) и соответствующие им условно оптимальные кортежи для каждой причины происшествия целесообразно представить в виде табл. 2.

Задача 2.

Функциональные уравнения Беллмана, необходимые для построения функции отклика для происшествия:

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{\Pi}_{i1}^l(\xi_{i1}) &= \Delta\tilde{\Pi}_{i1}^l(\xi_{i1}), \quad \xi_{i1} = 0, \quad c_{i11}, \quad c_{i11} + \Delta c_i, \\ c_{i11} + 2\Delta c_i, \dots, &\sum_{j=1}^{J_1} c_{ijK_{ij}}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\Delta\tilde{\Pi}_{ij}^l(\xi_{ij}) = \max_{\tilde{c}_{ij} \in \tilde{C}_{ij}} \left(\Delta\tilde{\Pi}_{ij}^l(\tilde{c}_{ij}) \right) + \Delta\tilde{\Pi}_{i,j-1}^l(\xi_{ij} - \tilde{c}_{ij}), \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \xi_{ij} = 0, \quad c_{ij1}, \quad c_{ij1} + \Delta c_i, \\ c_{ij1} + 2\Delta c_i, \dots, \sum_{v=1}^j \sum_{k=1}^{K_{ij}} c_{ivk}, \quad j = \overline{2, J_i}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $\tilde{C}_{ij} = \{0, \tilde{c}_{i1}, \tilde{c}_{i2}, \dots, \tilde{c}_{ir}, \dots, \tilde{c}_{R_{ij}}\}$ — подмножество элементов множества ξ_{ij} , которым соответствуют неповторяющиеся элементы множества $\Delta\tilde{\Pi}_{ij}^l(\xi_{ij})$; R_{ij} — количество неповторяющихся элементов множества ξ_{ij} .

При этом, если $\xi_{ij} \leq \tilde{c}_{R_{ij}}$, то

$$\left(\xi_{ij} - \sum_{v=1}^{j-1} \tilde{c}_{R_{iv}} \right) \leq \tilde{c}_{ij} \leq \xi_{ij},$$

иначе — $\left(\xi_{ij} - \sum_{v=1}^{j-1} c_{R_{iv}} \right) \leq \tilde{c}_{ij} \leq \tilde{c}_{R_{ij}}$.

Результаты вычислений сводятся в табл. 3, в которой $c_{ij} = \arg \max_{\tilde{c}_{ij} \in \tilde{C}_{ij}} \left(\Delta\tilde{\Pi}_{ij}^l(\tilde{c}_{ij}) \right) + \Delta\tilde{\Pi}_{i,j-1}^l(\xi_{ij} - \tilde{c}_{ij})$.

Таблица 3

ξ_{ij}	$\Delta\tilde{\Pi}_{i1}^l(\xi_{ij})$	\hat{c}_{i1}	$\Delta\tilde{\Pi}_{i2}^l(\xi_{ij})$	\hat{c}_{i2}	...	$\Delta\tilde{\Pi}_{ij}^l(\xi_{ij})$	\hat{c}_{ij}
1	2	3	4	5		$2J_i$	$2J_i + 1$
0							
c_{i11}							
$c_{i11} + \Delta c_i$							
$c_{i11} + 2\Delta c_i$							
...							
$\sum_{v=1}^j \sum_{k=1}^{K_{ij}} c_{ivk}$							



Задача 3.

Функциональные уравнения Беллмана для этой задачи аналогичны с точностью до индексации уравнениям (9)–(11).

На основе знания функций отклика можно решать не только задачи оптимального распределения единовременно выделяемых средств, но и задачи распределения средств по годам таким образом, чтобы суммарный эффект за N лет был бы максимальным.

Заключение

Изложенная методика позволяет получить материал для обоснования и принятия решения

о режиме финансирования тех или иных работ, направленных на достижение приемлемого уровня безопасности функционирования различных технических объектов.

Список литературы

1. **ГОСТ Р 51901.1—2002.** Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.
2. **Беллман Р., Дрейфус С.** Прикладные задачи динамического программирования. Пер. с англ. / Под ред. А. А. Первозванского. — М.: Наука, 1965. — 460 с.
3. **Белов П. Г.** Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. — М.: Академия, 2003. — 512 с.
4. **Малкин В. С.** Надежность технических систем и техногенный риск. — Ростов-н/Д.: Феникс, 2010. — 432 с.

V. I. Gera, Head of Faculty, e-mail: geratv33@mail.ru, **R. N. Aitov**, Postgraduate, **E. V. Kalmykov**, Officer of Faculty, Mozhaisky Military Space Academy, Saint-Petersburg

To the Question of the Hazard Identification in the Risk Analysis for Exploitation of the Ground Space Infrastructure Objects

An approach to study of the technological systems in the risk analysis of their exploitation and conduct a preliminary evaluation of the significance of the identified hazards is considered. The attention focuses on the methodology of the analysis of the technical devices, because the importance of this stage lies in the fact that incorrectly identified risks or the patterns of their occurrence will lead to erroneous conclusions on the safety exploitation of the system. And not enough study of this issue, as in legal documents, and in literature devoted to this subject. The approach is based on the energetropic concept of the nature of the hazards and allows you to perform a risk assessment of the exploitation, taking into account the power which was accumulated in the technical system. The analysis of a technical system is requested to perform from the standpoint of the system analysis and it is proposed to perform not only analysis of the technical, functional and organizational structure of the system, but also its place in the system of higher level.

Keywords: safety, technical system, energy, dangerous, analysis, risk, incident, damage, control action

References

1. **ГОСТ Р 51901.1—2002** Menedzhment riska. Analiz riska tehnologicheskikh sistem.
2. **Bellman R., Dreyfus S.** Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya. Per. s angl. Pod red. A. A. Pervozvanskogo. Moscow: Nauka, 1965. 460 p.
3. **Belov P. G.** Sistemnyj analiz i modelirovanie opasnykh processov v tehnosfere. Moscow: Akademija, 2003. 512 p.
4. **Malkin V. S.** Nadezhnost' tehniceskikh sistem i tehnogennyj risk. Rostov-na-Donu: Feniks, 2010. 432 p.

УДК 662.61.074:665.6

А. Ю. Березуцкий, вед. инженер, асп., e-mail: BerezutskyAY@yahoo.com, АО "ННК-Хабаровский НПЗ", **В. Д. Катин**, д-р техн. наук, проф. кафедры, Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск, Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Результаты экологических исследований газомазутных горелочных устройств трубчатых печей и разработка новой конструкции горелочного устройства

Представлены результаты комплексных исследований действующих горелочных устройств различных конструкций трубчатых печей, связанных с экологической эффективностью их работы в заводских условиях. Показаны экологические преимущества горелочных устройств диффузионного принципа сжигания типа ГП-1 по уровню создаваемого шума и выбросу высокотоксичных оксидов азота. Экспериментально установлены причины высокого уровня шума работы газомазутных горелочных устройств типа ГИК-2 и ФП-2, нуждающихся в специальных мерах по снижению уровня шума и сокращению выбросов оксидов азота. Разработана и рекомендована новая конструкция горелочного устройства типа ГП-1М, защищенная патентом на полезную модель. Апробация нового комбинированного горелочного устройства типа ГП показала достаточно высокую экологическую эффективность ее работы в заводских условиях.

Ключевые слова: трубчатые печи, нефтеперерабатывающий завод, газомазутные горелочные устройства, комплексные экологические исследования, выбросы оксидов азота, уровень шума, критерии экологичности, новая конструкция комбинированного горелочного устройства

Актуальность и обоснование исследований

Процесс сжигания газа и мазута в горелочных устройствах (ГУ) обычно сопровождается выбросом загрязняющих веществ в атмосферу и повышенным уровнем шума. В то же время любая конструкция ГУ должна отвечать современным экологическим требованиям по минимуму вредных выбросов в окружающую среду и бесшумной работе, сформулированным в Федеральном законе № 7 от 10.01.2002 г. [1].

В этих условиях решение проблемы повышения экологической безопасности эксплуатации ГУ требует от специалистов на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) строго научного подхода, разработки четких научно обоснованных нормативов, методов и средств контроля, точной оценки степени и характера негативного влияния техногенных факторов на состояние окружающей среды, в том числе выбросов вредных веществ в атмосферу и шумового загрязнения. Поэтому обоснование, исследование и разработка новых

малотоксичных и бесшумных конструкций ГУ с дальнейшим внедрением их в производство является весьма актуальной задачей и для ученых. Для практиков — это реальное применение в заводских условиях эффективных шумозащитных и воздухоохраных мероприятий, направленных на уменьшение загрязнения окружающей среды. В настоящее время перспективность новых технологий в отрасли оценивается с учетом взаимосвязанных с ними негативных экологических последствий: шумового воздействия и загрязнения токсичными продуктами сгорания окружающей среды.

Объекты и методы экспериментальных исследований

Горелочные устройства трубчатых печей нефтеперерабатывающих заводов играют важнейшую роль в печном агрегате в осуществлении технологического процесса и организации непосредственного горения жидкого и газообразного топлива.



На заводах нефтеперерабатывающей отрасли эксплуатируются ГУ всех известных типов, в основном конструкции ВНИИнефтемаша [2, 3]:

— ГУ типа ГП и др., работающие по диффузионному принципу сжигания топлива;

— кинетические ГУ типа ГИК, ГГМ и др. с полным предварительным смешением топлива и воздуха;

— многосопловые плоскофакельные ГУ типа ФП и др., работающие по смешанному принципу горения.

При этом, по данным обследования парка ГУ Ачинского и Хабаровского НПЗ, около 75...80 % всех ГУ приходится на диффузионные ГУ, остальные 20...25 % представляют ГУ кинетического и смешанного принципа горения [4, 5].

В то же время по данным работ [4—7] уровни создаваемого шума и выбросов вредных веществ из ГУ в значительной мере определяются способом сжигания топлива, конструкцией ГУ, компоновкой их в печных агрегатах, а также их тепловой мощностью и видом сжигаемого топлива. Нельзя не отметить, что исследований, связанных с решением проблемы снижения вредных выбросов из трубчатых печей, вполне достаточно [8—10]. Однако процесс шумообразования при горении до сих пор мало изучен ввиду сложности происходящих физико-химических явлений [11, 12].

Далее представлена попытка комплексного решения проблемы снижения выбросов токсичных оксидов азота с учетом сопутствующего шумового загрязнения. К этому необходимо добавить, что до сих пор мало изучено влияние конструкции и типа ГУ, а также метода сжигания газообразного и жидкого топлива на образование оксидов азота (NO_x) как наиболее токсичных веществ, содержащихся в продуктах сгорания [13].

Для выполнения поставленной задачи применительно к технологическим печам Хабаровского НПЗ были проведены комплексные исследования экологичности работы различных конструкций ГУ ВНИИнефтемаша. Исследования проводились на действующих печах при совместном и раздельном сжигании жидкого и газообразного

топлива в горелочных устройствах. При этом содержание оксидов азота в продуктах горения определялось с помощью портативного газоанализатора "Testo-33" немецкой фирмы Testoterm, а максимальные уровни шума на рабочих местах фиксировали на расстоянии 1 м от ГУ по ее оси при помощи шумомера марки "Алгоритм-01" фирмы Svanтек (Польша) по стандартной методике. Условный критерий экологичности, позволяющий выявить наиболее эффективные ГУ, предложен и подробно описан в работе [13]. Он представляет собой отношение фактической концентрации вредного вещества к его максимальной разовой предельно допустимой концентрации (ПДК) — для NO_x ПДК = 0,085 мг/м³.

Результаты комплексных экологических исследований и обсуждение

В таблице приведены результаты экспериментальных экологических исследований ГУ различных типов примерно одинаковой тепловой мощности. Анализ результатов экологических исследований показывает, что наиболее шумными и высокотоксичными ГУ из числа действующих являются кинетические типа ГИК-2, которые нуждаются в оснащении их специальными защитными средствами по снижению шума и сокращению выбросов оксидов азота. Мероприятия, обеспечивающие шумобезопасность ГУ подобного типа, описаны подробно в работе [11]. Технические воздухоохраные решения, позволяющие снизить выбросы NO_x из ГУ, изложены в работах [9, 10, 14].

В то же время выявлено, что ГУ с хорошими экологическими показателями работы являются диффузионные ГУ типа ГП-1, имеющие неоспоримые преимущества перед ГУ типа ГИК-2 и ФП-2. Горелочные устройства типа ФП-2 смешанного принципа работы занимают по экологическим показателям промежуточное положение с критерием экологичности $\mathcal{E} = 2350$ и уровнем шума, составляющим 96 дБА. Отметим, что ГУ типа ГП-1, работающие только на газообразном топливе, наиболее предпочтительны

Результаты экологических исследований горелочных устройств различных типов, работающих на газе и мазуте

Параметр	Тип горелочного устройства					
	ГИК-2	ФП-2	ГП-1	ГП-1	ГП-1	ГП-1М
Топливо	Газ	Газ	Газ	Газ и мазут	Мазут	Газ и мазут
Тепловая мощность, МВт	1,3	1,34	1,33	1,3	1,29	1,3
Концентрация NO_x , мг/м ³	210	200	170	80	185	180
Критерий экологичности, \mathcal{E}	2470	2350	2000	2120	2180	2120
Уровень шума, дБА	104	96	80	85	95	85

с экологической точки зрения, так как имеют незначительный выброс NO_x и уровень создаваемого шума, не превышающий требуемый норматив 80 дБА.

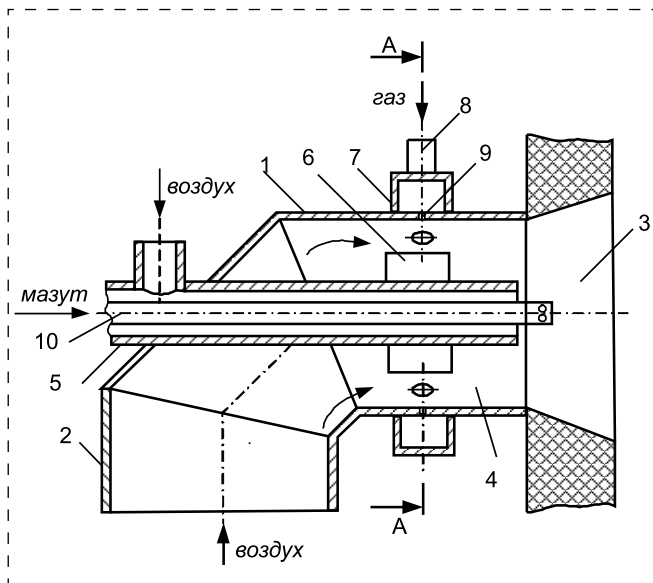
Экспериментально установлено также, что при самостоятельной эксплуатации только мазутной форсунки ГУ типа ГП-1 при паровом распылении жидкого топлива максимальный уровень шума достигает 95 дБА, что превышает на 15 дБА допустимые нормы. Следовательно, одной из причин шумной работы газомазутных ГУ является применение пара для распыливания мазута. Таким образом, в целях охраны окружающей среды и обеспечения бесшумной работы наиболее предпочтительны из действующих горелочных устройств — диффузионные ГУ типа ГП-1.

Разработка нового газомазутного горелочного устройства ГП-1М

Как показывает практика эксплуатации ГУ типа ГП в условиях Хабаровского НПЗ, основной недостаток их работы заключается в том, что при совместном сжигании нефтезаводских газов и мазута происходит забивание газовых сопел ГУ мазутными частицами и в результате снижается тепловая мощность горелочного устройства. Регулирование мощности ГУ путем замены сопел на соответствующие требованиям невозможно без полного демонтажа горелочного устройства и остановки печи.

По мнению авторов, для решения поставленной задачи в газомазутном ГУ распылительную часть мазутной форсунки необходимо разместить в амбразуре горелочного устройства. Благодаря этому существенному отличию повышается качество образующейся газомазутной смеси и, следовательно, обеспечивается эффективность совместного сжигания газа и мазута в корпусе ГУ. Это обусловлено тем, что при работе горелочного устройства на газе и мазуте газ через патрубок поступает в коллектор и, распределяясь по газораздающим отверстиям, расположенным в смесительной камере, истекает поперечными струями в высокоскоростной поток воздуха. Распылительная часть мазутной форсунки располагается в амбразуре ГУ, тем самым исключается близость ее расположения к газораздающим отверстиям и забивание нераспыленными частицами мазута, что соответствует подходам к созданию модернизированных конструкций горелочных устройств, изложенным в работе [4].

Предлагаемое техническое решение иллюстрируется рисунком, на котором изображено газомазутное горелочное устройство новой конструкции



Новое комбинированное газомазутное горелочное устройство типа ГП-1М конструкции ДВГУПС (пат. 139470):

1 — корпус; 2 — патрубок для подачи воздуха; 3 — амбразура ГУ; 4 — смесительная камера; 5 — труба для подачи воздуха; 6 — вставка; 7 — кольцевой коллектор; 8 — патрубок для подачи газа; 9 — газораздающие отверстия; 10 — мазутная форсунка

ГП-1М. Это устройство состоит из корпуса 1 с патрубком для подачи воздуха 2, соединенного с амбразурой ГУ 3, установленной в отверстии печи, смесительной камеры 4, трубы с патрубком 5 для подачи воздуха при работе ГУ на мазуте, расположенным по оси корпуса 1, вставки 6, закрепленной на наружной поверхности трубы 5 с возможностью поворота и предназначенной для образования пережима на воздушном тракте, периферийного кольцевого коллектора 7 с патрубком 8 и газораздающими отверстиями 9, расположенными в зоне пережима воздушного тракта, мазутной форсунки 10, установленной внутри трубы 5; распылительной части форсунки 10, расположенной в амбразуре 3 горелочного устройства.

На данную конструкцию ГУ типа ГП-1М получен патент, поскольку она в полной мере отвечает требованиям новизны технического решения [15]. Новое газомазутное ГУ типа ГП-1М было апробировано в заводских условиях на установке первичной переработки нефти и показало надежную и эффективную работу при совместном сжигании газа и мазута: закоксовывания газораздающих отверстий мазутными частицами не было выявлено [16]. Более того, была обеспечена достаточно высокая экологическая эффективность работы нового ГУ (см. таблицу): критерий экологичности $\mathcal{E} = 2120$, а уровень создаваемого шума составлял 85 дБА.



Выводы

Таким образом, для решения экологических задач на нефтеперерабатывающих предприятиях одним из приоритетных направлений становится разработка новых малотоксичных и малозумных конструкций ГУ либо выбор их рациональных типов из числа действующего парка ГУ по критериям экологичности, предложенным в данной статье.

Список литературы

1. Федеральный закон "Об охране окружающей среды от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ.
2. **Горелки** для трубчатых печей. Информация о новых разработках ВНИИнефтемаша. — М.: АООТ "ВНИИнефтемаш", 1999. — 40 с.
3. **Ентус Н. Р., Шарихин В. В.** Газовые горелки трубчатых печей: Обзорная информация. — М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1996. — 56 с.
4. **Катин В. Д.** Модернизация горелочных устройств нефтезаводских трубчатых печей и охрана окружающей среды. — Владивосток: Дальнаука, 2011. — 196 с.
5. **Катин В. Д., Киселев И. Г.** Результаты исследований эколого-технического уровня эксплуатации горелок котельно-печного парка Ачинского НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. — 1999. — № 2. — С. 38—41.
6. **Катин В. Д.** Методы сокращения вредных выбросов в атмосферу на нефтеперерабатывающих заводах // Безопасность в техносфере. — 2009. — № 1. — С. 50—52.
7. **Катин В. Д., Косыгин В. Ю.** Анализ источников шума при работе горелок нефтезаводских печей и методов его

- уменьшения // Безопасность в техносфере. — 2009. — № 6. — С. 44—49.
8. **Эльтерман В. Д.** Охрана воздушной среды на химических и нефтехимических предприятиях. — М.: Химия, 1998. — 160 с.
9. **Шарихин В. В., Печников А. С.** Газовая горелка, обеспечивающая снижение оксидов азота в дымовых газах // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2003. — № 4. — С. 27—29.
10. **Катин В. Д., Бойко В. А.** Защита атмосферного воздуха при малоотходных методах сжигания мазута и нефтезаводских газов в котлах и печах. — Владивосток: Дальнаука, 2012. — 190 с.
11. **Катин В. Д., Мамот Б. А., Балюк А. А.** Обеспечение шумобезопасности горелочных устройств нефтезаводских печей: Обзорная информация. — М.: ЦНИИТнефтехим, 1997. — 55 с.
12. **Катин В. Д., Косыгин В. Ю.** Оптимизация затрат на шумозащитные мероприятия при эксплуатации горелок нефтезаводских печей // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2010. — № 2 — С. 3—6.
13. **Сигал И. Я.** Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. — СПб.: Недра, 1998. — 312 с.
14. **Глазунов В. И.** Образование и превращение окислов азота // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2002. — № 8. — С. 21—25.
15. **Патент** № 139470 Россия, МКИ F23Д 17/00. Газомазутная горелка / Катин В. Д., Березуцкий А. Ю. Оpubл. 20.04.2014. Бюл. № 11.
16. **Березуцкий А. Ю.** Новая конструкция горелки для эффективного сжигания газа и мазута в нефтезаводских печах // Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. — С. 57—60.

A. Yu. Berezutskiy, Leading Engineer, Postgraduate, e-mail: BerezutskyAY@yahoo.com, JSC NNK-Khabarovsk Oil Refinery, **V. D. Katin**, Professor of Chair, Far East state Transport University, Khabarovsk, Tikhookeansky State University, Khabarovsk

Results of Ecological Researches Oil-Gas Burner Devices of Tubular Furnaces and Development of a New Design of Burner Devices

In article results of complex researches of the operating burner devices of various designs of the tubular furnaces connected with ecological efficiency of their work industrially are provided. Ecological benefits the burner devices of the diffusive principle of burning of the GP-1 type on the level of the created noise and emission of highly toxic nitrogen oxides are shown. The reasons of noisy work of oil-gas burner devices like GIK-2 and FP-2 needing special measures on decrease in noise level and emission reduction of nitrogen oxides are experimentally established. The new design of the gorelochny GP-1M device protected by the patent for useful model is developed and recommended. Approbation of the new combined burner devices like GP showed rather outstanding ecological performance of its work industrially.

Keywords: tubular furnaces, oil refinery, oil-gas burner devices, complex ecological researches, emissions of nitrogen oxides, noise level, criteria of ecological compatibility, a new design of the combined burner devices

Reference

1. **Federal'nyj zakon** "Ob okhrane okruzhayushhej sred" ot 10.02.2002 No. 7-FZ.
2. **Gorelki** dlya trubchatyh pechej. Informaciya o novyh razrabotkah vniineftemasha. Moscow: AOOT "VNIIneftemash", 1999. 40 p.
3. **Entus N. R., Sharikhin V. V.** Gazovye gorelki trubchatyh pechej: *Obzornaya in formaciya*. Moscow: Cniitneftexim, 1996. 56 p.
4. **Katin V. D.** Modernizaciya gorelochnykh ustrojstv neftezavodskih trubchatyh pechej i oxrana okruzhayushhej sredy. Vladivostok: Dalnauka, 2011. 196 p.
5. **Katin V. D., Kiselev I. G.** Rezultaty issledovaniy ekologo-technicheskogo urovnya ekspluatcii gorelok kotelno-pechnogo parka Achinskogo NPZ. *Neftepererabotka i nefeximiya*. 1999. No. 2. P. 38—41.
6. **Katin V. D.** Metody sokrashheniya vrednykh vybrosov v atmosferu na neftepererabatyvayushhih zavodah. *Bezopasnost v tehnosfere*. 2009. No. 1. P. 50—52.
7. **Katin V. D., Kosygin V. Yu.** Analiz istochnikov shuma pri rabote gorelok neftezavodskih pechej i metodov ego umensheniya. *Bezopasnost v tehnosfere*. 2009. No. 6. P. 44—49.
8. **Elterman V. D.** Ohrana vozduшной sredy na chimicheskikh i nefeximicheskikh predpriyatiyah. Moscow: Himiya, 1998. 160 p.
9. **Sharihin B. B., Pechnikov A. S.** Gazovaya gorelka, obespechivayushhaya snizhenie oksidov azota v dymovyh gazah. *Neftepererabotka i neftechimiya*. 2003. No. 4. P. 27—29.
10. **Katin V. D., Bojko V. A.** Zashhita atmosfernogo vozduha pri maloootvodnyh metodah szhiganiya mazuta i neftezavodskih gazov v kotlah i pechah. Vladivostok: Dalnauka, 2012. 190 p.
11. **Katin V. D., Mamot B. A., Balyuk A. A.** Obespechenie shumobezopasnosti gorelochnykh ustrojstv neftezavodskih pechej. *Obzornaya informaciya*. Moscow: Cniitneftehim, 1997. 55 p.
12. **Katin V. D., Kosygin V. Yu.** Optimizaciya zatrat na shumozashhitnye meropriyatiya pri ekspluatcii gorelok neftezavodskih pechej. *Neftepererabotka i nefeximiya*. 2010. No. 2. P. 3—6.
13. **Sigal I. Ya.** Zashhita vozdušnogo bassejna pri szhiganii topliva. Saint-Petersburg: Nedra, 1998. 312 p.
14. Glazunov V. I. Obrazovanie i prevrashhenie okislov azota. *Neftepererabotka i neftechimiya*. 2002. No. 8. P. 21—25.
15. **Patent** No. 139470 Rossiya, MKI F23D 17/00. Gazomazutnaya gorelka / Katin V. D., Berezuckij A. Yu. Opubl. 20.04.2014. Byul. No. 11.
16. **Berezuckij A. Yu.** Novaya konstrukciya gorelki dlya effektivnogo szhiganiya gaza i mazuta v neftezavodskih pechah. *Materialy vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*. Tyumen: TyumGNGU, 2015. P. 57—60.

Информация

Продолжается подписка на журнал
"Безопасность жизнедеятельности" на второе полугодие 2017 г.

Оформить подписку можно через подписные агентства
или непосредственно в редакции журнала

Подписные индексы по каталогам:

Роспечать — 79963; Пресса России — 94032

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

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



УДК 656.13.658

В. В. Юшин, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой, e-mail: ushinvv@mail.ru,
И. О. Кирильчук, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры, Юго-Западный
государственный университет, Курск

Геоинформационный учет и оценка опасности стихийных несанкционированных свалок

Представлены результаты исследований в области разработки информационно-аналитических систем управления отходами. Проанализированы функциональные возможности и области использования современных информационных технологий и соответствующих программных решений в рассматриваемой сфере, показана целесообразность использования геоинформационных систем и технологий для решения задач управления отходами. В целях оперативного обнаружения и первоначального учета стихийных несанкционированных свалок, образующихся на городской территории, разработан интернет-ресурс, реализующий ГИС-технологии. Рассмотрен метод оценки опасности несанкционированных свалок, основанный на данных натурных обследований городской территории, и разработанное на его основе специальное программное обеспечение. Проанализированы направления дальнейшего развития и совершенствования реализуемого проекта в составе комплексной информационно-аналитической системы управления логистикой коммунальных отходов и ликвидацией несанкционированных свалок.

Ключевые слова: несанкционированная свалка, коммунальные отходы, информационно-аналитическая система, геоинформационная технология, интернет-ресурс, оценка опасности

Введение. Согласно данным ежегодных Государственных докладов о состоянии окружающей среды, проблема управления отходами на сегодняшний день остается нерешенной и имеет тенденцию к усугублению — кроме постоянного увеличения объемов отходов ежегодно возрастают затраты на транспортировку, переработку и размещение промышленных и твердых коммунальных отходов [1, 2]. Наибольшее количество отходов образуется в крупных городах и населенных пунктах, в которых сосредоточены промышленные предприятия и значительная часть населения страны. Это обуславливает загрязнение городских и пригородных территорий промышленными отходами вблизи мест их образования и твердыми коммунальными отходами (ТКО).

Сегодня наиболее распространенным способом обращения с отходами является хранение и захоронение несортированных отходов на свалках и полигонах. На территории Российской Федерации эксплуатируются более 11 тыс. полигонов отходов. Количество санкционированных свалок превышает 14 тыс., занимаемая ими площадь составляет около 43 тыс. га, несанкционированных свалок — более 10 тыс., а занимаемая ими площадь превышает 15 тыс. га. И, несмотря на постоянно осуществляемую деятельность по санитарной уборке территорий, их число постоянно растет.

Несанкционированные свалки являются одним из значимых факторов негативного техногенного

воздействия на окружающую среду. *Во-первых*, размещаясь непосредственно на почвенном покрове, свалки выводят из обращения значительные земельные площади, загрязняя их различными токсичными веществами, которые, вымываясь атмосферными осадками, могут попадать не только в почву, но и в объекты гидросферы. *Во-вторых*, при длительном существовании в теле несанкционированных свалок происходит формирование биогаза, содержащего парниковые газы: двуокись углерода и пожароопасный метан. При возгорании отходов, размещаемых на несанкционированных свалках, ядовитые и токсичные вещества также поступают в атмосферный воздух. Наконец, несанкционированные свалки являются источником распространения патогенной микрофлоры, вредителей, активных переносчиков инфекции [3].

Исходя из вышесказанного, актуальной является задача оперативного учета и контроля региональным оператором по обращению с ТКО стихийно возникающих мест несанкционированного размещения отходов с целью их своевременной ликвидации организациями, лицензированными на сбор и транспортировку отходов к местам их утилизации и захоронения, по договорам, заключенным с собственниками территорий, на которых обнаружены несанкционированные свалки.

Методы исследования. Эффективным подходом к решению данной проблемы является

разработка и внедрение информационно-аналитической системы управления, обеспечивающей учет и оценку экологической опасности несанкционированных свалок и составление на этой основе планов санитарной уборки города.

Информатизация системы управления охраной окружающей среды в целом и управления обращением с отходами в частности основана на интеграции компьютерных средств, информационных и коммуникационных технологий в целях получения новых общесистемных свойств, таких как оперативность, наблюдаемость и управляемость системы, позволяющих более эффективно организовать природоохранную деятельность [4]. Принятие управленческих решений в сфере обращения с отходами осуществляется в условиях неопределенности, вызванной отсутствием оперативной информации о контролируемых показателях природоохранной деятельности, что ограничивает возможность среднесрочного планирования природоохранной деятельности и негативно влияет на время реагирования системы управления в целом.

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих решение указанных выше проблем, является использование современных автоматизированных информационных систем управления обращением с отходами. Цель их создания — комплексная автоматизация процессов управления обращением с отходами, в том числе контроль за негативным воздействием процессов образования и размещения отходов на окружающую среду и здоровье населения, обеспечение поддержки принятия экологически ориентированных управленческих решений. Такие системы должны предусматривать решение следующих задач:

- оперативный контроль мест несанкционированного размещения отходов производства и потребления на территории города;
- осуществление расчетов площади и объемов несанкционированно размещенных отходов и выявление нарушителя;
- учет мест образования и номенклатуры отходов производства и потребления на предприятиях города;
- информационное обеспечение разработки проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение;
- планирование хода проведения государственного экологического контроля;
- ведение документооборота по учету образования отходов производства и потребления на территории города.

В РФ накоплен значительный опыт разработки подобных автоматизированных систем [5], перечень которых приведен ниже.

1. Программный комплекс "Экобезопасность" (модуль "Отходы производства и потребления"), предназначенный для сбора, хранения

и обработки информации в области обращения с опасными отходами, проверки ее достоверности, а также динамического нормирования при установлении лимитов на размещение отходов.

2. Программный продукт "ОКО" (Отходы: Контроль обращения), обеспечивающий формирование базы данных хозяйствующих субъектов, каталога отходов, реестра объектов размещения отходов, территориального банка данных объектов по использованию и обезвреживанию отходов. Совместная обработка хранимой информации позволяет проводить контроль соблюдения природоохранного законодательства, а также формирование информации, необходимой органам государственной власти для контроля экологической ситуации.

3. Программный комплекс "Региональный кадастр отходов", предназначенный для автоматизированного ведения регионального классификационного каталога отходов, реестра объектов размещения, обезвреживания и переработки отходов, банка данных об отходах, банка данных о технологиях использования и обезвреживания отходов, перечня предприятий, занимающихся сбором и транспортировкой отходов различных видов.

4. Программный комплекс "Отходы-регион", предназначенный для контроля обращения с отходами производства и потребления на территории региона и обеспечивающий инвентаризацию отходов и мест их размещения, учет обращения с отходами, ведение классификационных каталогов отходов.

5. Информационная система "Региональный кадастр Самарской области", предназначенная для систематизации сведений о происхождении, количестве, составе, свойствах, классе опасности отходов производства и потребления, объектах размещения отходов, технологиях их использования и обезвреживания на территории Самарской области.

Анализ функциональных возможностей и сфер применения данных программных продуктов показывает, что они относятся к системам документооборота. Безусловно, систематизация сведений об отходах и возможность дальнейшего комплексного использования их атрибутивных характеристик обеспечивают поддержку принятия управленческих решений для контроля обращения с отходами в регионах. Однако большая часть информации, необходимой для эффективного управления обращением с отходами, характеризуется геопространственной составляющей. Таким образом, достижение высоких результатов в комплексном исследовании объектов размещения отходов требует внедрения в систему поддержки принятия решений методов, позволяющих получать и анализировать данные об объектах на земной поверхности, изучать их поведение и взаимоотношения в пространстве. В мировой и отечественной практике

широкое развитие получили геоинформационные технологии, обеспечивающие получение, обработку, анализ, отображение и распространение информации, характеризующей пространственно-распределенные объекты, на основе электронных карт [6].

Из сказанного выше следует, что для принятия обоснованных управленческих решений, направленных на снижение негативного антропогенного воздействия отходов, необходима комплексная информационная поддержка природоохранной деятельности на основе современных ГИС-технологий, сочетающих возможности традиционной картографии и интеллектуальной обработки данных.

Геоинформационные системы для управления рациональным природопользованием в России разрабатываются с 1991 г. Сейчас ГИС-технологии обеспечивают эффективные средства для решения задач во всех областях хранения, обработки и использования пространственной информации. Они являются основными инструментами для создания цифровых моделей карт, разработки ГИС-приложений, для обеспечения управления информационными ресурсами и организации доступа к данным, имеющим географическую привязку [7, 8].

В условиях ограниченных финансовых ресурсов использование геоинформационных технологий как основного инструмента для оценки и управления воздействием отходов на городскую среду представляет собой решающий фактор в улучшении сложившейся ситуации. Анализ мирового и российского опыта использования ГИС в рассматриваемой области свидетельствует об их высокой эффективности за счет оптимизации информационного обеспечения принятия решений при проведении геопропространственного анализа.

ГИС-технологии используются для выбора оптимальных мест хранения отходов при разработке комплексного генерального плана по управлению твердыми отходами, например, в г. Лусака (Замбия), для управления полигонами твердых бытовых отходов — в Украине [9].

В РФ в сфере обращения с отходами среди информационных систем, использующих в качестве технологической базы ГИС, можно выделить две системы [5].

1. ГИС "Юнидо" — для обеспечения информационной поддержки принятия управленческих решений в области утилизации опасных отходов содержит такие тематические слои, как перерабатывающие предприятия, места сбора и образования отходов и т. д.

Основные задачи системы состоят в мониторинге образования отходов, доставки их до предприятий переработки, использования вторичного сырья.

2. ГИС "Чистый город" — для управления вывозом твердых коммунальных отходов

в Ростове-на-Дону решает задачи моделирования маршрутов движения отходов.

Функциональные возможности подобных ГИС обеспечивают формирование и визуализацию в различных разрезах исходных данных о расположении объектов образования и размещения отходов, а также исследование движения отходов на контролируемой территории.

Для повышения эффективности решений в области управления обращением с отходами, оценки их негативного воздействия на окружающую среду информационное обеспечение должно быть направлено не только на обработку сведений о местоположении отходов, но и на изучение данных, характеризующих взаимное расположение объектов, участвующих в управлении обращением с отходами, и степени их влияния на рассматриваемые территории. Согласно исследованиям Я. И. Вайсмана [10], применение современных информационных технологий и соответствующих программных решений позволяет эффективно и своевременно использовать имеющиеся ресурсы для транспортировки коммунальных отходов, а также для оперативной ликвидации несанкционированных свалок, снижая уровень наносимого ущерба окружающей среде.

Результаты исследования. В целях оперативного обнаружения и первоначального учета стихийных несанкционированных свалок, образующихся на городской территории, разработан интернет-ресурс, предоставляющий возможность в on-line режиме нанести на интерактивную карту города местоположения свалок твердых коммунальных отходов в виде точечных объектов, а также ввести следующую атрибутивную информацию: местоположение объекта, приблизительный состав (бумага, пластиковая тара, пищевые отходы и т. д.), размер свалки, причины образования данного объекта (несвоевременный вывоз мусора специализированными организациями, отсутствие контейнерной площадки или недостаточное количество контейнеров и т. д.), возможные, по мнению регистрирующего свалку лица, пути решения данной проблемы (рис. 1).

Интернет-ресурс разработан с помощью системы управления содержимым Joomla, реализующей язык JavaScript и использующей в качестве хранилища базы данных СУБД MySQL.

При нанесении на интерактивную карту новой свалки посетителю интернет-ресурса предлагается заполнить анкету, предназначенную для последующего математического анализа с целью определения экологической опасности объекта несанкционированного размещения отходов (табл. 1).

Интерфейс пользовательской анкеты при нанесении на электронную карту города обнаруженной несанкционированной свалки с использованием разработанного интернет-портала представлен на рис. 2.



Рис. 1. Интерфейс интернет-портала по учету стихийных несанкционированных свалок

Таблица 1

Форма анкеты при регистрации несанкционированной свалки

Адрес свалки	
Фото свалки	
Площадь основания свалки, м ²	
Высота свалки, м	
Форма свалки	Конус Пирамида Параллелепипед (отходы рассыпаны тонким слоем)
Состав отходов	Пищевые отходы, резина, пластик Текстиль и шерсти, бумага и продукты из целлюлозы, сплавы металлов Дерево, кожаные изделия, строительные отходы
Удаленность от мест жизнедеятельности человека, водоемов и ООПТ, м	Менее 100 От 100 до 500 Более 500
Время существования свалки, лет	Более 2 От 1 до 2 Менее 1
Вид поверхности, на которой расположена свалка	Дороги бетонные, асфальт Дороги грунтовые Грунтовые поверхности (спланированные) Щебеночные покрытия Откосы насыпей, отвалов, дамб Неспланированные неуплотненные отвалы без растительного покрова Поверхности, покрытые травянистой и редкой кустарниковой растительностью
Примечание	
Сведения об анкетирiuемом	
Дата заполнения анкеты	

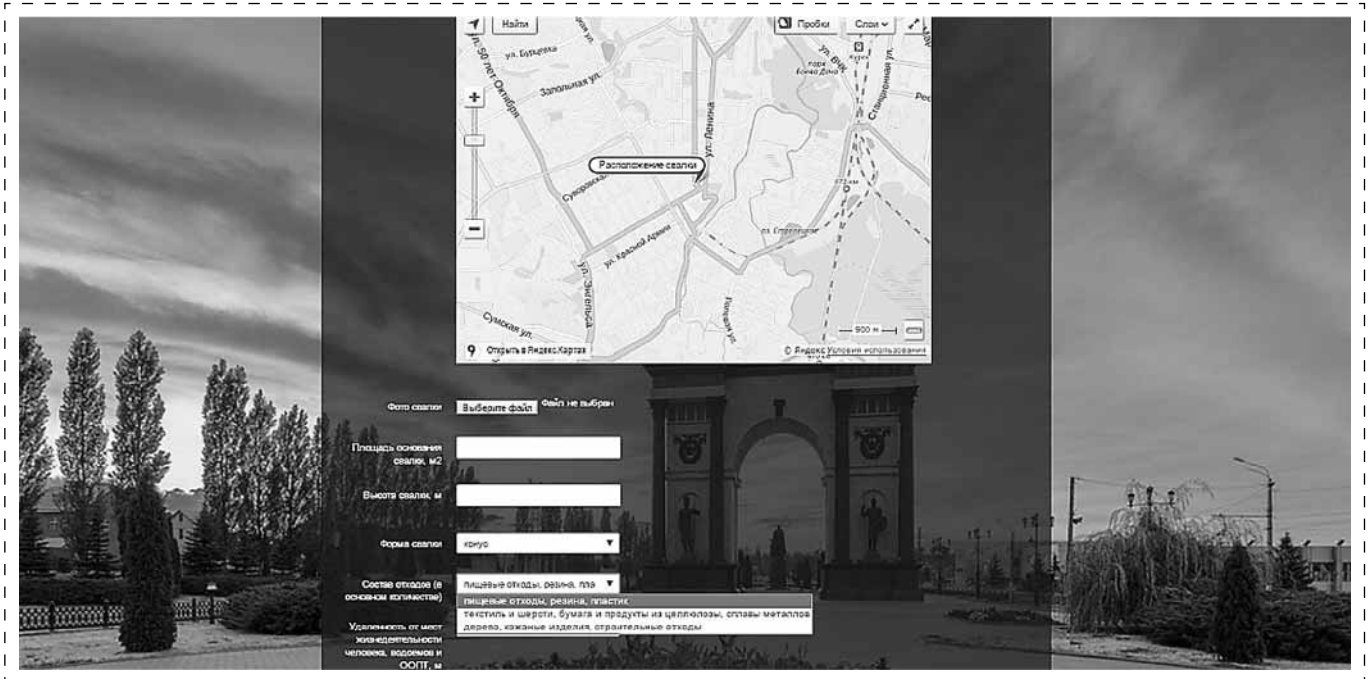


Рис. 2. Интерфейс пользовательской анкеты

В системе предусмотрена возможность загрузить фото свалки при его наличии, что обеспечивает оценку объективности информации, полученной в виде пользовательской анкеты.

Разработанный интернет-ресурс доступен в пользовательском режиме по адресу www.dev.im46.ru.

После добавления на карту новой свалки ей присваивается статус "обнаружена". В режиме

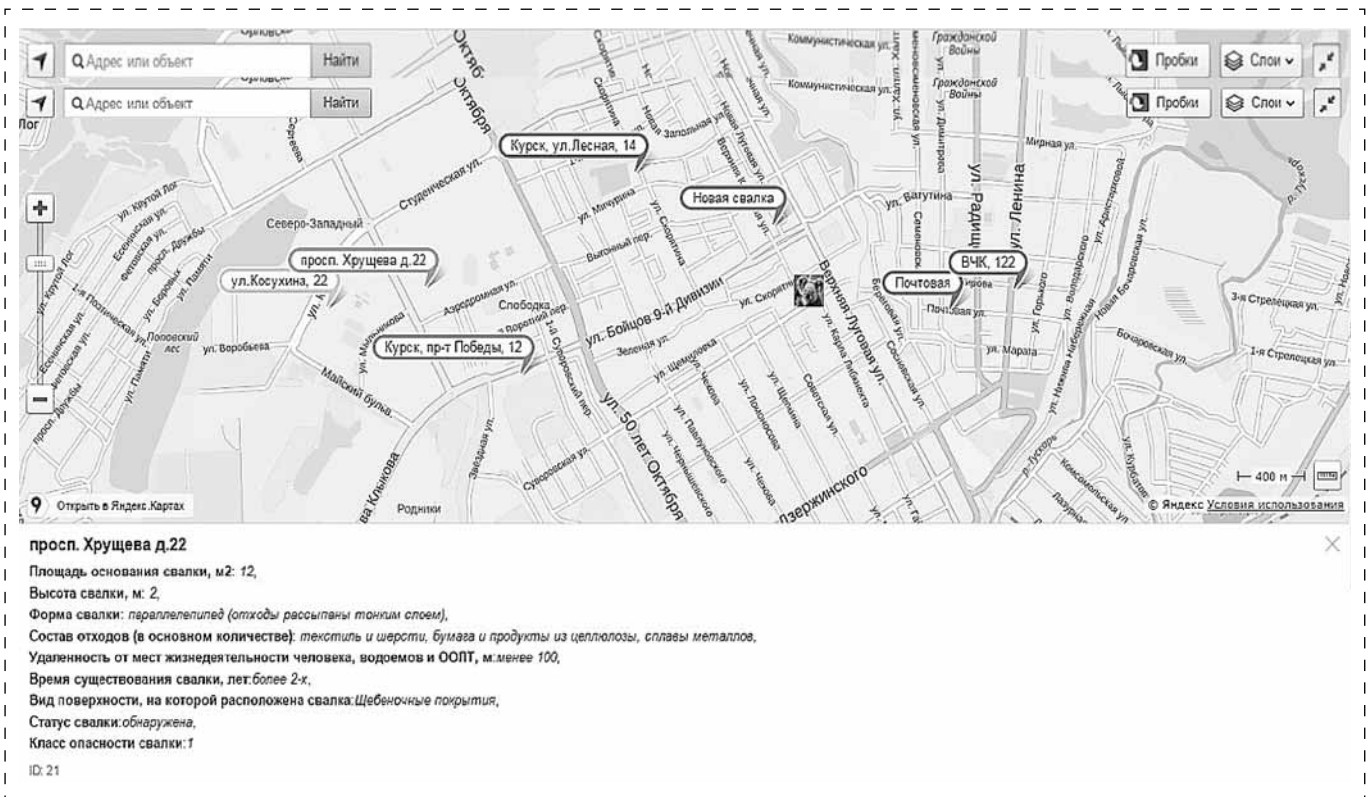


Рис. 3. Просмотр атрибутивной информации о новой свалке в режиме администратора

Определение класса экологической опасности свалки

<i>K</i>	<i>S</i> , м ²	<i>C</i> , %	<i>L</i> , м	<i>V_ф</i> , м ³ /год	<i>T</i> , лет
I — потенциально опасные	>20	Пищевые отходы, резина, пластик	<50	>10	>2
II — средней экологической опасности	10 < <i>S</i> < 20	Текстиль, шерсть, бумага, металл	50 < <i>L</i> < 100	5 < <i>V_ф</i> < 10	1 < <i>T</i> < 2
III — относительно безопасные	<10	Дерево, кожаные изделия, кирпич/камень	>100	<5	<1

администратора возможно просматривать всю информацию о свалке, которая имеется в системе, и редактировать ее (рис. 3). В частности, администратор может изменить статус свалки на "ликвидирована".

Следующей ступенью является оценка опасности свалки с использованием подключаемых внешних программных модулей, разработанных в среде Visial Pro. Данный программный продукт позволяет в автоматизированном режиме рассчитать класс экологической опасности свалки в соответствии с разработанным экспресс-методом, рассмотренным ниже.

Необходимо отметить, что нормативно утвержденной методики оценки опасности несанкционированных свалок на сегодняшний день не существует, однако данная проблема входит в область научных интересов многих современных исследователей. Так, например, Ю. В. Рябовым разработан метод расчета экологического риска возникновения пожара на несанкционированных свалках [11]. Предложенная методика основана на применении статистического метода количественной оценки среднегодовой вероятности пожара на свалке в зависимости от ее местоположения. Кроме того, известен метод расчета значения коэффициента опасности свалки с учетом площади ливневых стоков [6]. Однако эти методы являются достаточно трудоемкими и предполагают построение сложных математических моделей. В связи с этим актуальной представляется задача разработки экспресс-метода оценки опасности несанкционированных свалок, основанного на данных натурных обследований городской территории.

Этот метод предполагает определение класса экологической опасности свалки *K* на основании анализа определенных параметров:

$$K = K(S, C, L, V_{\phi}, T), \quad (1)$$

где *S* — площадь свалки, м²; *C* — примерный состав складированных отходов, %; *L* — удаленность от мест жизнедеятельности человека, водоемов и особо охраняемых природных территорий (ООПТ), м; *V_ф* — объем образующегося фильтрата, м³/год; *T* — время существования свалки, лет.

Определение класса экологической опасности несанкционированной свалки происходит следующим образом: фактические характеристики свалки поочередно сравниваются с данными, представленными в табл. 2.

Если одно из фактических значений совпадает со значением из первой строки, свалка получает класс опасности I. При отсутствии совпадений в первой строке такое же сравнение проводится со второй строкой, затем с третьей.

Путем рассмотрения времени существования свалки (критерий *T*) обеспечивается косвенный учет образования биогаза в теле свалки. Так как значение данного параметра вычисляется с использованием сложных математических моделей, для целей типизации свалки достаточно учитывать только факт образования или необразования биогаза, выделение которого начинается спустя 2 года после возникновения свалки.

Для нахождения объема образующегося фильтрата, м³/год, можно использовать уравнение водного баланса [10]:


$$V_{\phi} = (AO + OB + ВБХ) - (ИС + ВНО + ПС + БГ + ПБХ), \quad (2)$$

где *AO* — атмосферные осадки, выпавшие на полигон; *OB* — отжимная влага; *ВБХ* — выделение воды при биохимических реакциях; *ИС* — испарение с поверхности полигона; *ВНО* — влага, расходуемая на насыщение отходов до полной влагоемкости; *ПС* — поверхностный сток; *БГ* — потери воды с биогазом; *ПБХ* — поглощение воды при биохимических реакциях.

При расчете объема фильтрата в теле стихийной несанкционированной свалки из уравнения (2) следует исключить величину поверхностного стока, так как сток отводится вместе с фильтратом, потерями воды с биогазом тоже можно пренебречь. Кроме того, следует учесть, что выделение воды при биохимических реакциях (*ВБХ*) равно поглощению воды при биохимических реакциях (*ПБХ*), т. е. разницу между биохимически образуемой и потребляемой водой можно считать равной нулю. В итоге уравнение, используемое для расчета объема образовавшегося фильтрата

Таблица 3

Пример заполненной пользовательской анкеты

Адрес свалки	г. Курск, ул. Заводская
Фото свалки	
Площадь основания свалки, м ²	20
Высота свалки, м	0,2
Форма свалки	Параллелепипед (отходы рассыпаны тонким слоем)
Состав отходов	Дерево, кожаные изделия, кирпич/камень
Удаленность от мест жизнедеятельности человека, водоемов и ООПТ, м	400
Время существования свалки, лет	Менее 1
Вид поверхности, на которой расположена свалка	Поверхности, покрытые травянистой и редкой кустарниковой растительностью
Статус свалки	Обнаружена
Класс опасности свалки	1

при экспресс-оценке опасности стихийной несанкционированной свалки, примет вид:

$$V_{\phi} = (AO + OB) - (IC + BHO). \quad (3)$$

С целью экспериментальной проверки разработанного метода оценки опасности несанкционированных свалок и реализующего его специального программного обеспечения было проведено санитарно-гигиеническое обследование территории г. Курска, в результате которого обнаружено 10 несанкционированных свалок.

Проведенные исследования позволили выявить места скопления свалок: участки земель внутри жилых кварталов, особенно частного сектора (18...20 %); территории, прилегающие к гаражным кооперативам и новостройкам (17...20 %); территории, граничащие с крупными промышленными предприятиями — овраги, откосы, пустыри (до 20 %); и т. п.

Преобладают мелкие, "кучные" свалки, не превышающие 5...20 м³, занимаемые ими земельные площади также относительно невелики (20×10 м, 10×5 м и т. д.). Вместе с тем выявлены свалки, занимающие площади более 300 м², на которых отходы расположены тонким слоем, "диффузно" рассыпаны и разнесены ветром. Территории, на которых расположены свалки, относятся в подавляющем большинстве к землям общего пользования.

Исследования состава отходов показали, что наряду с собственно коммунальными отходами на многих свалках находятся строительные отходы, различный металлолом, уличный смет и бытовой мусор и т. п.

С помощью специального программного обеспечения и заполненных анкетных данных был произведен расчет класса экологической опасности каждой из обнаруженных свалок. Пример

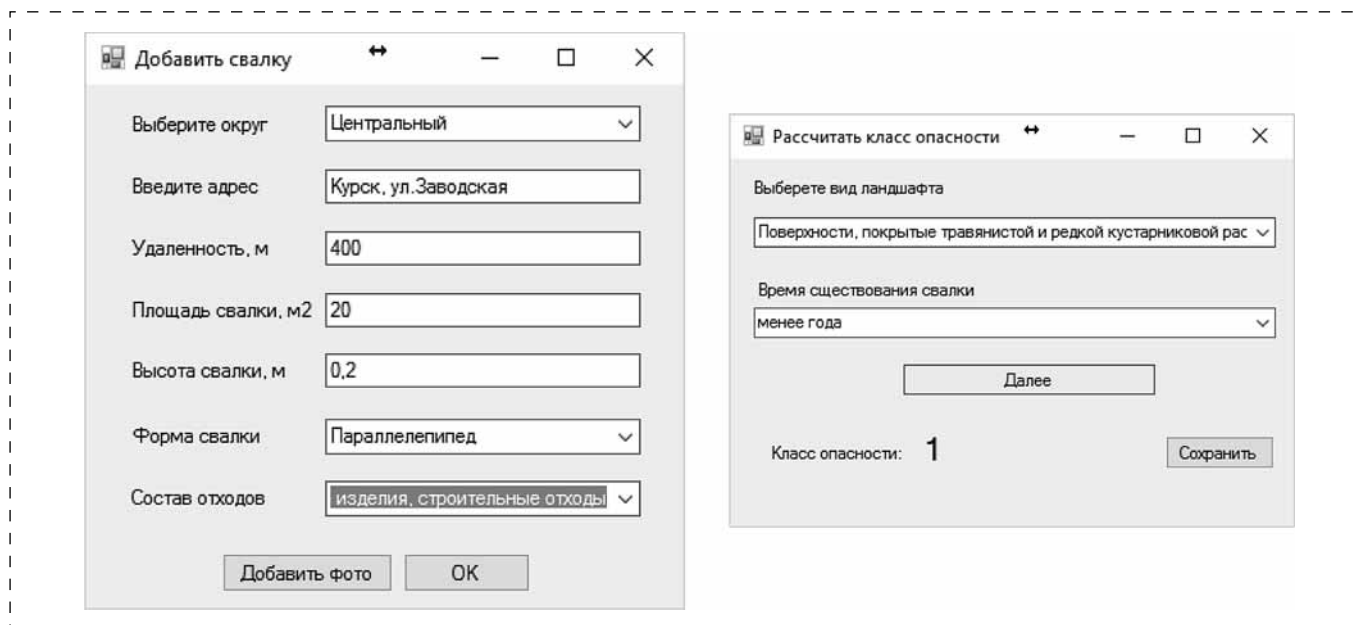


Рис. 4. Расчет класса опасности стихийной несанкционированной свалки с использованием специального программного обеспечения

заполненной пользовательской анкеты представлен в табл. 3.

Интерфейс программных форм автоматизированного расчета класса опасности обнаруженной свалки представлен на рис. 4.

Выводы. Перспективы развития рассмотренного проекта состоят в разработке интерактивного веб-сервиса, реализующего средства визуализации и мониторинга процессов транспортировки коммунальных отходов из мест их организованного сбора, а также с территориями обнаруженных несанкционированных свалок, процедуры расчета и автоматизированного формирования маршрутов транспортировки с учетом дорожной обстановки, расположения пунктов сбора, экологической опасности свалок, определяющей очередность их ликвидации, а также технических характеристик мусоровозов.

Данная информационная система представляет собой средство поддержки принятия решений в сфере управления логистикой коммунальных отходов и ликвидации несанкционированных свалок. Система предназначена для использования в практической деятельности органов муниципального управления, а также частных компаний, занимающихся транспортировкой бытовых отходов. Кроме того, она обеспечит повышение эффективности информационного обеспечения управления процессами сбора и транспортировки коммунальных отходов с учетом санитарно-гигиенических норм и стандартов.

В качестве конечных результатов использования системы должно обеспечить:

— обращение с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, в соответствии с требованиями действующего законодательства;

— снижение образования отходов, в том числе твердых коммунальных отходов;

— уменьшение количества размещаемых отходов;

— предотвращение образования объектов несанкционированного размещения отходов;

— снижение экологической нагрузки на окружающую среду и здоровье населения при обращении с отходами;

— достоверность и доступность информации в области обращения с отходами.

Результаты, получаемые при функционировании информационной системы управления логистикой коммунальных отходов и ликвидацией несанкционированных свалок могут быть в дальнейшем использованы для разработки рекомендаций по реализации направлений региональной системы обращения с отходами.

В дальнейшем планируется дополнить интернет-портал, функционирующий как часть разрабатываемой системы, сведениями об основных источниках выбросов и сбросов загрязняющих веществ, образования промышленных отходов, состоянии основных компонентов окружающей среды и негативном влиянии загрязнения окружающей среды на здоровье человека. По мнению авторов, широкий доступ к данному информационному ресурсу и прямое вовлечение населения в деятельность природоохранных органов будут способствовать развитию социальной сознательности населения и формированию экологоориентированного мировоззрения.

Список литературы

1. **Государственный доклад** о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году. URL: <http://www.ecogodsoklad.ru/2013/default.aspx> (дата обращения 21.11.2016).
2. **Государственный доклад** о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году. URL: <http://www.ecogodsoklad.ru/2014/default.aspx> (дата обращения 21.11.2016).
3. **Шубов Л. Я., Голубин А. К., Ставровский М. Е.** Проблема твердых бытовых отходов и рациональные пути ее решения в Московском регионе // *Зеленый мир*. — 2000. — № 11–12. — С. 28–29.
4. **Кирильчук И. О., Попов В. М., Юшин В. В.** Основные подходы к разработке и построению автоматизированных информационно-аналитических систем управления отходами // *Известия Юго-Западного государственного университета*. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. — № 1 (18). — С. 85–90.
5. **Кирильчук И. О., Барков А. Н.** Информационно-аналитические системы управления отходами: Монография. — Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2015. — 112 с.
6. **Попов В. М., Меркулова Е. В., Чепиков Н. А., Рыкунова И. О.** Оценка загрязнения городской среды с применением ГИС-технологий // *Известия Орловского государственного технического университета*. Серия: Строительство и транспорт. — 2008. — № 2–18. — С. 48–51.
7. **Кирильчук И. О., Попов В. М., Юшин В. В., Протасов В. В.** Информационные технологии в охране окружающей среды: Учебное пособие. — Курск: ЗАО "Университетская книга", 2015. — 219 с.
8. **Попов В. М., Юшин В. В., Кирильчук И. О., Протасов В. В., Барков А. Н.** Информационные технологии в управлении техносферной безопасностью: учебное пособие. — Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2015. — 108 с.
9. Hany A. Hassaballa. GIS is NOT a Load of Garbage. — URL: <http://www.directionsmag.com/entry/gis-is-not-a-load-of-garbage/421022> (дата обращения 25.11.2016).
10. **Вайсман Я. И., Глушанкова И. С.** Условия образования и очистка фильтрационных вод полигонов захоронения ТБО: Учебное пособие. — Пермь, 2003. — 167 с.
11. **Рябов Ю. В.** Разработка универсальной методики расчета экологического риска возникновения пожара на несанкционированных свалках // *Геоконкурс GIS — LAB*, 2011.



V. V. Yushin, Associate Professor, Head of Chair, e-mail: ushinvv@mail.ru,
I. O. Kirilchuk, Associate Professor, Southwest State University, Kursk

Geoinformation Accounting and Estimation of Danger of Spontaneous Unauthorized Dumps

In article results of researches in the field of development of information and analytical management waste systems are provided. Functionality and the fields of use of modern information technologies and the relevant software solutions in the considered sphere are analysed, feasibility of use for the solution of tasks of waste management of geoinformation technologies is shown. For the purpose of operational detection of the unauthorized dumps which are formed on the urban area the Internet resource realizing GIS-technology is developed. In article are considered the author's evaluation method of danger of unauthorized dumps based on data of on-site investigations of the urban area and the special software developed on its basis. The directions of further development of the project as a part of a complex information management system by logistics of municipal waste are analyzed.

Keywords: unauthorized dump, municipal waste, information system, geoinformation technology, Internet resource, danger estimation

References

1. **The state report** on a state and on environmental protection of the Russian Federation in 2013. URL: <http://www.eco-gosdoklad.ru/2013/default.aspx> (date of access 21.11.2016).
2. **The state report** on a state and on environmental protection of the Russian Federation in 2014. URL: <http://www.eco-gosdoklad.ru/2014/default.aspx> (date of access 21.11.2016).
3. **Shubov L. Ja., Golubin A. K., Stavrovskij M. E.** Problema tverdyh bytovykh othodov i racional'nye puti ee reshenija v Moskovskom regione. *Zelenyj mir*. 2000. No. 11–12. P. 28–29.
4. **Kirilchuk I. O., Popov V. M., Jushin V. V.** Osnovnye podhody k razrabotke i postroeniju avtomatizirovannykh informacionno-analiticheskikh sistem upravlenija othodami. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*. 2016. No. 1 (18). P. 85–90.
5. **Kirilchuk I. O., Barkov A. N.** Informacionno-analiticheskie sistemy upravlenija othodami: monograph. Kursk: SWSU, 2015. 112 c.
6. **Popov V. M., Merkulova E. V., Chepikov N. A., Rykunova I. O.** Ocenka zagriznenija gorodskoj sredy s primeneniem GIS-tehnologij. *Izvestija Orlovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i transport*. 2008. No. 2–18. P. 48–51.
7. **Kirilchuk I. O., Popov V. M., Jushin V. V., Protasov V. V.** Informacionnye tehnologii v ohrane okruzhajushhej sredy: manual. Kursk: ZAO "Universitetskaja kniga", 2015. 219 p.
8. **Popov V. M., Jushin V. V., Kirilchuk I. O., Protasov V. V., Barkov A. N.** Informacionnye tehnologii v upravlenii tehnosfernoj bezopasnost'ju: manual. Kursk: SWSU, 2015. 108 p.
9. **Hany A. Hassaballa.** GIS is NOT a Load of Garbage. URL: <http://www.directionsmag.com/entry/gis-is-not-a-load-of-garbage/421022> (date of access 25.11.2016).
10. **Vajsman Ja. I., Glushankova I. S.** Uslovija obrazovaniya i oчитка fil'tracionnykh vod poligonov zahoronenija TBO: Uchebnoe posobie. Perm, 2003. 167 p.
11. **Rjabov Ju. V.** Razrabotka universal'noj metodiki rasčeta jekologičeskogo riska vozniknovenija požhara na nesankcionirovannykh svalkah. *Geocompetition GIS — LAB*. 2011.

Информация

XXI Международная специализированная выставка
"Безопасность и Охрана Труда — 2017" (БиОТ-2017)
и IV Всероссийский конгресс организаций и специалистов по охране труда

12–15 декабря 2017, Москва, ВДНХ, павильон № 75

Организаторы выставки — Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации, саморегулируемая организация Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты (Ассоциация "СИЗ") и Всероссийское объединение специалистов по охране труда (ВОСОТ).

Подробности: <http://www.biot.ru.com/>

УДК 502.55 (504.056)

О. Б. Боброва, ст. преп., e-mail: obproshkina@mail.ru,
Т. В. Свиридова, канд. техн. наук, доц. кафедры,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова

Загрязнение почв тяжелыми металлами под влиянием объектов размещения отходов металлургической промышленности

Приведены данные анализа содержания тяжелых металлов в почвах и в надземных частях растений по удалению от источника загрязнения г. Магнитогорска и его окрестностей. Выявлено, что основными источниками загрязнения почв являются цинк, свинец и медь. По суммарному показателю загрязнения почвы изученной территории отнесены к категориям от высокоопасной до допустимой. Рассчитаны показатели: экотоксикологический, биогеохимический и фитотоксичности. Проведенные химико-аналитические исследования показывают пространственную неравномерность распределения тяжелых металлов в компонентах окружающей среды по удалению от шлакового отвала. Установлено, что четкой зависимости между показателями качества почвы нет. Территорию г. Магнитогорска и окрестностей можно отнести к зонам с чрезвычайной экологической ситуацией и экологического бедствия в районе источника загрязнения.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, экотоксикологический показатель, биогеохимический показатель, показатель фитотоксичности, отходы, отвал, источник загрязнения

Введение

Экосистемы в промышленных центрах подвергаются интенсивному антропогенному воздействию, в том числе и из-за большого количества образующихся твердых отходов. Концентрации химических элементов, отмечаемые в техногенных образованиях, превышают их среднее содержание в биосфере. Технологический уровень переработки отходов на предприятиях различен, однако даже наиболее совершенные существующие технологии сопряжены с большим объемом пылегазовых выбросов и другими загрязнениями окружающей среды. Накопленные металлургические отходы в виде шлаков представляют собой мощные очаги загрязнения местности тяжелыми металлами (ТМ), интенсивность воздействия которых на окружающую среду ежегодно возрастает вследствие процессов растворения, миграции, обмена, окисления и восстановления.

В настоящее время объекты размещения отходов не приспособлены для хранения металлосодержащих отходов, в результате возникают источники повторной эмиссии и техногенных полиметалльных аномалий. Большое количество накопленных отходов металлургической

промышленности привело не только к загрязнению техногенными примесями атмосферного воздуха, но и вызвало накопление поллютантов в почве. При этом почва выступает не только в качестве аккумулятора загрязняющих веществ, но и исходного звена в миграции токсикантов по наземным трофическим цепям и обладает трансформирующими свойствами по отношению ко многим загрязнителям, а также служит индикатором экологической обстановки территории [1–4].

Цель работы. Исследовать содержание ТМ в компонентах окружающей среды, расположенных в зоне влияния объекта размещения отходов, и рассчитать показатели качества почвы.

Магнитогорск — один из крупнейших промышленных центров с развитой черной металлургией. Расположен у подножия горы Магнитной, на восточном склоне Южного Урала, по обоим берегам р. Урал, находится в лесостепной зоне Южного Зауралья. Большую часть площади занимают черноземы обыкновенные, которые сформированы под разнотравно-типчачково-ковыльной растительностью.

Над территорией осуществляется меридиональная циркуляция вследствие огражденности с запада Уральскими горами и незащищенности с севера и юга. В результате этого периодически



происходит смена холодных и теплых воздушных масс. Для рассматриваемой местности характерны резкие переходы от тепла к холоду и частые вторжения арктических масс.

За счет крайне малого количества осадков и большого количества дней с неблагоприятными метеорологическими показателями в г. Магнитогорске создаются условия для формирования вторичного загрязнения. Вокруг города расположено большое количество техногенных объектов:

— на востоке территория шламохранилища, отвалы месторождения Малый Куйбас, отвалы Гранитного карьера и Лисьегорский известняковый карьер;

— на юге отстойники правобережных и очистительных сооружений [5].

В качестве источника загрязнения (ИЗ) был рассмотрен шлаковый отвал III очереди, который расположен в северной части города, на левобережном склоне долины р. Урал. По данным работы [6] в отвале содержится 36,3 млн т металлургических шлаков. В настоящее время шлаковый отвал представляет собой поверхность, сложенную четырьмя террасами, высота которых варьирует в интервале 385..415 м. Площадь нарушенных земель на момент его разработки составляла 58 га [5].

В качестве контрольной точки рассмотрена территория Наровчатского совхоза Агаповского района, расположенного на расстоянии 40 км от города.

Объектами исследования являлись почвы, наземная часть травянистой растительности: полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), кресс-салат (*Lepidium sativum* L.).

Образцы почв отбирали в соответствии с общепринятыми требованиями (ГОСТ 17.4.3.01—83, ГОСТ 17.4.4.02—84, ГОСТ 28168—89) послойно с глубины 0...10 и 30...40 см на расстоянии 200; 500; 1500 и 5000 м от источника загрязнения. Отбор проб укусов растений проводили на тех же расстояниях. Растения срезали на уровне почвы в разных достаточно удаленных друг от друга точках пробной площадки. Сухой растительный материал измельчали вручную и взвешивали необходимое для анализа количество, определяемое по выходу золы (не менее 100 мг зольных веществ) [7].

При анализе содержания ТМ в растительных, почвенных образцах использовали метод атомной абсорбции [8—10]. Для определения валового содержания металлов почву обрабатывали смесью сильных кислот. Подвижные формы извлекали с помощью ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) с рН 4,8. Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления [10, 11].

Содержание ТМ в отобранных пробах почвы и растительности определяли в лаборатории Сибайского филиала ПАО "УГОК". Для биотестирования фитотоксических свойств почвы использовали тест с выращиванием кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) [12, 13].

Экспериментальная часть и результаты исследования

Характер загрязнения почв ТМ, прилегающих к рассматриваемому техногенному источнику загрязнения, оценивали сравнением фактических результатов исследования с предельно и ориентировочно допустимыми концентрациями (табл. 1), а также и с соответствующими показателями на контрольном участке.

Загрязнение почв оценивали по суммарному показателю химического загрязнения (мг/кг)

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i}{K_{\Phi}} \right) - (n - 1),$$

где n — число i -х элементов; K_i — концентрация в почве конкретного i -го элемента, мг/кг; K_{Φ} — значение местного геохимического фона конкретного элемента: для Cu — 30 мг/кг; Zn — 70 мг/кг; Pb — 10 мг/кг; Fe — 40 000 мг/кг; Cd — 0,2 мг/кг; Ni — 1 мг/кг; Co — 1 мг/кг.

Критические значения, позволяющие охарактеризовать суммарное загрязнение (мг/кг) по степени опасности, таковы:

$Z_c < 16$ — загрязнение считается неопасным;

$16 < Z_c < 32$ — умеренно опасным;

$32 < Z_c < 128$ — высокоопасным;

$Z_c > 128$ — чрезвычайно опасным [16].

Содержание ТМ в почвах было изучено на территории, подверженной техногенному воздействию со стороны шлакового отвала III очереди. Сравнение средних значений валового содержания тяжелых металлов в почвах позволило расположить их в следующий ряд по убыванию: Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cd.

Таблица 1

Критерии оценки содержания различных форм тяжелых металлов в почвах (мг/кг)

Форма металла	Cu	Zn	Mn	Ni	Pb	Cd	Co
Валовая форма	55	100	1500	85	32	2	10*
Подвижная форма (ААБ с рН = 4,8)	3	23	140	4	6	0,2*	5

* Ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) [14]; остальные значения — предельно допустимая концентрация (ПДК) [15]

Валовое содержание цинка, свинца в исследованных почвах всех пробных площадок превышало ПДК. Однако почвы загрязнены кадмием в радиусе 200 м, а медью — 1,5 км от отвала. Содержание же никеля и кобальта в данных почвах не превышало допустимых норм.

Следует отметить, что валовое содержание кадмия в почвах на указанных точках отбора было максимальным у источника загрязнения и далее постепенно снижалось по мере удаления от него. При этом превышение ПДК по валовому содержанию Cd составило в 1,3 раза. В отношении остальных рассмотренных металлов четкой зависимости их содержания от расстояния от источника загрязнения обнаружено не было. Наибольшее содержание Cu было отмечено на расстоянии 500 м (до 4 ПДК), Zn и Pb — 1500 м (7 ПДК и 5,7 ПДК, соответственно).

Максимальное содержание подвижных соединений всех исследованных ТМ было обнаружено у источника загрязнения. Уровень подвижных форм составлял: Cu — 1,8...5,7 ПДК, Zn — 1,2...2,6 ПДК, Pb — 2,9...3,5 ПДК. Содержание остальных металлов не превышало допустимой нормы. По степени подвижности металлы формировали следующий ряд: Mn > Zn > Pb > Cu > Co > Ni > Cd.

Корреляционный анализ выявил сильную прямую связь между валовым содержанием Pb и Zn ($r = 0,99$), Ni и Co ($r = 0,77$), между содержанием подвижных форм Cu и Zn ($r = 0,92$), Cu и Pb ($r = 0,85$), Zn и Pb ($r = 0,76$).

Оценка степени загрязнения почв в зоне влияния шлакового отвала III очереди позволила отнести почвы, расположенные в радиусе 1,5 км от него, к высокоопасной, а в остальных случаях — к допустимой категории.

Для исследования состояния почв по удалению от источника загрязнения были рассчитаны показатели: экотоксикологический (\mathcal{E}_c),

биогеохимический (Γ_c) и показатель фитотоксичности (Φ) [17].

Экотоксикологический показатель химического загрязнения почв поллютантами различного класса опасности рассчитывали по формуле:

$$\mathcal{E}_c = \sum_{i=1}^n K_i,$$

где K_i — коэффициент концентрации i -х загрязняющих веществ в почве, рассчитанный как отношение средней концентрации элемента в почве к его предельно допустимой концентрации в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06 [15]; n — число учитываемых i -х элементов.

В ходе исследования были определены классы опасности ТМ: I класс опасности — цинк, свинец и кадмий, II класс опасности — никель, медь и кобальт; III класс опасности — марганец.

Биогеохимический показатель экологического состояния почвы определяли по превышению максимально допустимого уровня (МДУ) концентрации химических элементов (загрязняющих веществ) в укосах растений [18]:

$$\Gamma_c = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{МДУ}_i},$$

где C_i — концентрация i -х загрязняющих веществ в укосах растений.

Показатель фитотоксичности устанавливали по способности загрязненной почвы подавлять прорастание семян по сравнению с фоном [17].

Порядок проведения общей оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия приведен в методике [17]. Критерии экологического состояния почв представлены в табл. 2.

Полученный экотоксикологический показатель химического загрязнения почв приведен в табл. 3.

Таблица 2

Критерии экологического состояния

Показатель	Характеристика состояния почв		
	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация
Экотоксикологический показатель химического загрязнения почв (\mathcal{E}_c) металлами:			
I класса опасности	>3	2...3	<1
II класса опасности	>10	5...10	<1
III класса опасности	>20	10...20	<1
Биогеохимический показатель (Γ_c):	>10	5...10	1,1...1,5
Показатель фитотоксичности (Φ)	>2	1,4...2	<1,1



Таблица 3

Экотоксикологический показатель экологического состояния почв

Элемент	Расстояние от источника загрязнения, м				
	200	500	1500	5000	40 000
Верхний горизонт почвы (0...10 см)					
Цинк	5,175	5,775	7,025	1,438	1,273
Свинец	4,008	4,313	5,367	1,054	0,555
Кадмий	1,250	0,875	0,750	0,125	0,125
$\mathcal{E}_{\text{сI}}$	10,433	10,963	13,142	2,617	1,953
Медь	3,223	3,914	1,541	0,991	0,791
Никель	0,053	0,035	0,029	0,062	0,032
Кобальт	0,350	0,275	0,250	0,300	0,250
$\mathcal{E}_{\text{сII}}$	3,626	4,224	1,820	1,353	1,073
Марганец	8,537	7,088	3,080	1,138	0,902
$\mathcal{E}_{\text{сIII}}$	8,537	7,088	3,080	1,138	0,902
Нижний горизонт почвы (30...40 см)					
Цинк	5,005	5,075	6,525	1,538	1,073
Свинец	3,383	3,375	4,117	1,063	0,625
Кадмий	1,750	1,375	0,900	0,150	0,150
$\mathcal{E}_{\text{сI}}$	10,138	9,825	11,542	2,751	1,848
Медь	1,950	1,732	1,177	0,918	0,609
Никель	0,041	0,038	0,024	0,059	0,044
Кобальт	0,380	0,300	0,280	0,250	0,200
$\mathcal{E}_{\text{сII}}$	2,371	2,070	1,481	1,227	0,853
Марганец	8,537	8,422	4,413	1,805	0,835
$\mathcal{E}_{\text{сIII}}$	8,537	8,422	4,413	1,805	0,835

Результаты исследования показали, что экотоксикологический показатель почв для металлов I класса опасности колеблется в верхнем горизонте от 1,953 до 13,142; а в нижнем — от 1,848 до 11,542. Это свидетельствует о неблагоприятном экологическом состоянии почвенного покрова. Суммарный экотоксикологический показатель почв для металлов I класса опасности находится в интервале от 1,953 до 13,142, что позволяет отнести исследуемую территорию к зонам с чрезвычайной экологической ситуацией и экологического бедствия в районе источника загрязнения.

Экотоксикологический показатель почв для металлов II класса опасности находится в интервале 1,073...4,224 в верхнем горизонте и 0,853...2,371 в нижнем горизонте. Суммарный экотоксикологический показатель почв для металлов II класса опасности находится в интервале от 1,073 до 4,224, что позволяет отнести исследуемую территорию к зонам с критической экологической ситуацией.

Экотоксикологический показатель почв для металлов III класса опасности находится в интервале 0,902...8,537 для верхнего горизонта, а для нижнего — 0,835...8,537; что позволяет отнести исследуемую территорию к зонам с критической экологической ситуацией.

Таблица 4

Биогеохимический показатель экологического состояния почвы

Элемент	Расстояние от источника загрязнения, м				
	200	500	1500	5000	40 000
Цинк	2,79	0,89	1,29	0,67	0,98
Свинец	1,36	1,46	1,22	0,82	0,68
Кадмий	3,00	2,30	0,18	0,13	0,11
Медь	2,45	1,63	2,13	1,70	1,40
Никель	1,64	1,25	1,28	1,21	0,96
Марганец	3,96	5,39	1,68	0,94	0,91
$\Gamma_{\text{с}}$	15,20	12,93	7,76	5,47	5,05

Обнаружено, что к зонам с относительно удовлетворительной экологической ситуацией ($\mathcal{E}_{\text{с}} < 1$) можно отнести территорию Наровчатского совхоза Агаповского района, находящуюся на расстоянии 40 км от города.

Биогеохимический показатель экологического состояния почвы позволяет оценить степень загрязнения территорий по накоплению ТМ растениями (табл. 4).

Одним из растений, произрастающих на удалении от источника загрязнения, является полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), которая была рассмотрена из-за возможности накопления таких металлов, как Cu, Zn, Pb, Mn, Ni [19].

Значения биогеохимических показателей, полученных в результате исследований, свидетельствуют о том, что приоритетными загрязнителями растений среди высокотоксичных веществ являются цинк и кадмий, среди менее токсичных — марганец.

Биогеохимический показатель экологического состояния почвы находится в интервале от 5,05 до 15,20, что позволяет отнести исследуемую территорию к зонам с чрезвычайной экологической ситуацией и экологического бедствия в районе источника загрязнения.

Таким образом, повышенные концентрации ТМ оказывают неблагоприятные воздействия на качества растений и являются причиной трансформации в биоценозах районов с развитой металлургической промышленностью.

Также был определен показатель фитотоксичности Φ , который представляет собой отношение фоновых показателей всхожести семян кресс-салата к наблюдаемым значениям (табл. 5).

Анализ данных теста с использованием кресс-салата на исследование фитотоксических свойств почвогрунта показал, что побеги и корни кресс-салата, выращенные во время эксперимента, были подвержены заметным морфологическим изменениям, а именно: задержка роста и искривление побегов, уменьшение длины и массы корней.

Таблица 5

**Показатель фитотоксичности Φ
экологического состояния почвы**

Элемент	Расстояние от источника загрязнения, м				
	200	500	1500	5000	40 000
Верхний горизонт почвы (0...10 см)					
Кресс-салат	3,0	2,1	1,3	1,03	0,99
Нижний горизонт почвы (30...40 см)					
Кресс-салат	1,3	1,2	1,2	1,02	0,99

В результате исследования обнаружили, что на расстоянии до 5000 м от источника загрязнения показатель фитотоксичности больше единицы. Сравнение полученных данных с существующими критериями оценки экологического состояния почв показывает, что рассматриваемую территорию можно отнести к зонам с чрезвычайной экологической ситуацией и экологического бедствия в районе источника загрязнения.

Заключение

Проведенные химико-аналитические исследования показывают пространственную неравномерность распределения ТМ в компонентах окружающей среды по удалению от шлакового отвала. Установлено, что четкой зависимости между показателями качества почвы нет. Территорию г. Магнитогорска и окрестностей можно отнести к зонам с чрезвычайной экологической ситуацией и экологического бедствия в районе источника загрязнения.

Однако в настоящее время ПАО "Магнитогорский металлургический комбинат" реализует широкомасштабную программу по утилизации отходов горного и металлургического производства. Плановое движение в этом направлении позволит снизить негативное воздействие ТМ на качество растений и трансформацию в биоценозах рассматриваемой территории, что является основанием для дальнейшего изучения реакции тест-объектов на загрязнение окружающей среды.

Список литературы

1. Ягафарова Г. А., Бускунова Г. Г., Аминова А. А., Янтурин С. И. Экологическая оценка лекарственного сырья растений рода *ACHILLEA* L. в условиях геохимической провинции Южного Урала. — Уфа: РИЦ БашГУ, 2012. — 194 с.
2. Попова Л. Ф., Наквасина Е. Н. Интенсивность наполнения и перераспределения тяжелых металлов в компонентах почвенно-растительного покрова различных

- функциональных зон г. Архангельска // Экология и промышленность России. — 2013. — № 1. С. 47—51.
3. **Ekundayo E. O.** Environmental monitoring — Publisher: InTech, Chapters published, 2011. — 538 p.
4. **Kim Y. J., Platt U.** (ed.) Advanced environmental monitoring. — Published by Dordrecht: Springer Verlag, 2008. — 420 p.
5. **Тяжелые металлы** в компонентах экосистем промышленных регионов с развитой металлургической промышленностью: Монография / С. И. Янтурин, Г. Ш. Кужина, О. Б. Боброва, В. Д. Черчинцев; Под общ. ред. В. Д. Черчинцева. — Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2015. — 127 с.
6. **Янтурин С. И., Волкова Е. А., Свиридова Т. В., Боброва О. Б.** Экологическое состояние природных и техногенных объектов Зауралья // Современные наукоемкие технологии. — 2015. — № 9. С. 92—95.
7. **Шепелева Е. С.** Эколого-геохимические исследования поведения тяжелых металлов в водных и наземных экосистемах Ивановского водохранилища. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. — М., 2004. — 190 с.
8. **РД 52.18.191-89** Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. — М., 2003.
9. **Методические указания** "Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии". — С.Пб.: Гидрометеиздат, 2006. — 30 с.
10. **Методические рекомендации** по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. — М.: Гидрометеиздат, 1981.
11. **Методические указания** по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продуктов растениеводства. — М.: 1992. — 62 с.
12. **Lasat M. M.** Phytoextraction of toxic metals. A review of biological mechanisms // J. Environmental Quality. — 2002. — Vol. 31. — P. 109—120.
13. **Amiard-Triquet C., Amiard J.-C., Rainbow P. S.** Ecological biomarkers: Indicators of Ecotoxicological Effects. — Boca Raton: CRC Press, 2013. — 450 p.
14. **Опекунова М. Г., Алексеева-Попова Н. В., Арестова И. Ю.** Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала: экологическое состояние фоновых территорий // Вестник СПбГУ. — 2001. — Сер. 7. — Вып. 4 (№ 31). — С. 45—53.
15. **ГН 2.1.7.2041-06** Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы: предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. — 4 с.
16. **Сагет Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П.** Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
17. **Критерии** оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. — М., 1985. — 181 с.
18. **Байгалиев Б. Е., Шайхутдинова А. А.** Экологический мониторинг растительного покрова в окрестности предприятий топливно-энергетического комплекса, использующих твердое топливо // Экология и промышленность России. — 2011. — № 2. — С. 55—59.
19. **Прохорова Н. В., Матвеев Н. М., Павловловский В. А.** Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. — Самара: Самарский университет, 1998. — 131 с.



O. B. Bobrova, Senior Lecturer, E-mail: obproshkina@mail.ru,
T. V. Sviridova, Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University

Soil Pollution by Heavy Metals due to Location of Industry Metallurgical Waste

In the article the content of heavy metals in soils and in aboveground portion of plants on removal from the source of Magnitogorsk's pollution and its surroundings is analyzed. It is revealed that the main sources of soils' pollution are Zn, Pb and Cu. The purpose of the work is to research the heavy metals' content in the components of the environment located in the waste-barrel area and to calculate indicators of soil quality. The total indicator of soil pollution on the investigated territory is referred to categories from highly hazardous to admissible. Indicators are calculated: ecotoxicological, biogeochemical and phytotoxicity. The conducted chemical-analytical researches demonstrate spatial unevenness of heavy metals distribution in environment components on removal from a slag dump. It was found that there is no clear correlation between indicators of soil quality. The territory of Magnitogorsk and its environs can be attributed to the extraordinary ecological situation zones and ecological disaster in the area of source pollution.

Keywords: heavy metals, soil, ecotoxicological indicator, biogeochemical indicator, phytotoxicity indicator, waste, blade, source of pollution

References

1. Jagafarova G. A., Buskunova G. G., Amineva A. A., Janturin S. I. Jekologicheskaja ocenka lekarstvennogo syr'ja rastenij roda ACHILLEA L. v usloviyah geohimicheskoj provincii Juzhnogo Urala. Ufa: RIC BashGU, 2012. 194 p.
2. Popova L. F., Nakvasina E. N. Intensivnost' napolnenija i pereraspredelenija tjazhelyh metallov v komponentah pochvenno-rastitel'nogo pokrova razlichnyh funkcional'nyh zon g. Arhangel'ska. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*. 2013. No. 1. P. 47–51.
3. Ekundayo E. O. Environmental monitoring — Publisher: InTech, Chapters published, 2011. — 528 p.
4. Kim Y. J., Platt U. Advanced Environmental Monitoring — Dordrecht: Springer Verlag, 2008. — 420 p.
5. Tjzhelye metally v komponentah jekosistem promyshlennyh regionov s razvitoy metallurgicheskoj promyshlennost'ju: Monografija. Janturin S. I., Kuzhina G. Sh., Bobrova O. B., Cherchincev V. D.; pod obshh.red. V. D. Cherchinceva Magnitogorsk: Izdatel'stvo Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta imeni G. I. Nosova, 2015. 127 p.
6. Janturin S. I., Volkova E. A., Sviridova T. V., Bobrova O. B. Jekologicheskoe sostojanie prirodnyh i tehnogenykh ob'ektov Zaural'ja. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*. 2015. No. 9. P. 92–95.
7. Shepeleva E. S. Jekologo-geohimicheskie issledovanija povedenija tjazhelyh metallov v vodnyh i nazemnyh jekosistemah Ivan'kovskogo vodohranilishha. Dis...kand. geol.-min. nauk. Moscow, 2004. 190 p.
8. RD 52.18.191-89 Metodika vypolnenija izmerenij massovoj doli kislotorastvorimyh form metallov (medi, svinca, cinka, nikelja, kadmija) v probah pochvy atomno-absorbciionnym analizom. Moscow, 2003.
9. Metodicheskie ukazanija "Opredelenie massovoj doli metallov v probah pochv i donnyh otlozhenij. Metodika vypolnenija izmerenij metodom atomno-absorbciionnoj spektrofotometrii". Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2006. 30 p.
10. Metodicheskie ukazanija po opredeleniju tjazhelyh metallov v pochvah sel'skohozjajstvennyh ugodij i produktov rastenievodstva. Moscow, 1992. 62 p.
11. Metodicheskie rekomendacii po provedeniju polevyh i laboratornyh issledovanij pochv i rastenij pri kontrole zagraznenija okruzhajushhej sredy metallami. Moscow: Gidrometeoizdat, 1981.
12. Lasat M. M. Phytoextraction of toxic metals. A review of biological mechanisms. *J. Environmental Quality*. 2002. Vol. 31. P. 109–120.
13. Amiard-Triquet C., Amiard J.-C., Rainbow P. S. (Eds.) Ecological biomarkers: Indicators of Ecotoxicological Effects. Boca-Raton: CRC Press, 2013. 450 p.
14. Opekunova M. G., Alekseeva-Popova N. V., Arestova I. Ju. Tjzhelye metally v pochvah i rastenijah Juzhnogo Urala: jekologicheskoe sostojanie fonovyh territorij. *Vestnik Saint-Petersburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2001. Ser. 7. Vyp. 4. (No. 31). P. 45–53.
15. GN 2.1.7.2041-06 Pochva, ochistka naselennyh mest, othody proizvodstva i potreblenija, sanitarnaja ohrana pochvy: predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v pochve. 4 p.
16. Saet Ju. E., Revich B. A., Janin E. P. Geohimija okruzhajushhej sredy. Moscow: Nedra, 1990. 335 p.
17. Kriterii ocenki jekologicheskoj obstanovki territorij dlja vyjavlenija zon chrezvychajnoj jekologicheskoj situacii i zon jekologicheskogo bedstvija. Moscow: 1985. 181 p.
18. Bajgaliev B. E., Shajhutdinova A. A. Jekologicheskij monitoring rastitel'nogo pokrova v okrestnosti predpriyatij toplivno-jenergetičeskogo kompleksa, ispol'zujushhijh tverdoe toplivo. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*. 2011. No. 2. P. 55–59.
19. Prohorova N. V., Matveev N. M., Pavlovlovskij V. A. Akkumuljacija tjazhelyh metallov dikorastushhimi i kul'turnymi rastenijami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e. Samara: Samarskij universitet, 1998. 131 p.

УДК 665.622.43

Б. Б. Бобович, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры, e-mail boris0808@yandex.ru, Московский политехнический университет,

Г. Г. Новахов, ген. директор, ООО "РосЭкология", Москва

Разработка технологии утилизации нефтесодержащих шламов

Рассмотрены проблемы загрязнения окружающей среды нефтесодержащими шламами. Исследована возможность их переработки комплексным методом, включающим последовательное применение различных физических и физико-химических процессов разделения дисперсных сред. Разработана технология утилизации нефтесодержащих шламов, включающая центробежную сепарацию, деэмульгирование, гравитационно-динамическую сепарацию, отстаивание. Технология позволяет провести разделение многокомпонентных, сложных по составу нефтесодержащих шламов на составляющие фракции: нефтепродукты, минеральные примеси и воду. Технология переработки нефтесодержащих шламов предусматривает многократное использование технической воды в процессе разделения нефтешлама. Для реализации разработанной технологии спроектирована и изготовлена комплексная промышленная установка.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, утилизация нефтешламов, центробежная сепарация, осажение, фильтрация, деэмульгаторы, технология, оборудование, нефтепродукты, минеральные примеси, вода

Введение

Нефтесодержащие отходы являются одними из крупных и опасных загрязнителей окружающей среды [1]. Главная составляющая этих отходов — нефтесодержащие шламы. Они образуются в нефтешламных накопителях, при зачистке стальных резервуаров с нефтепродуктами, при бурении и ремонте нефтяных скважин, добыче и переработке нефти, очистке сточных вод, при рекультивации грунта с мест аварийных разливов нефтепродуктов. Образование нефтесодержащих шламов происходит во многих регионах добычи нефти и приводит к серьезному загрязнению окружающей среды. По данным Ростехнадзора на объектах нефтегазодобывающей промышленности и магистрального трубопроводного транспорта постоянно происходят многочисленные разливы нефти и нефтепродуктов, что приводит к образованию нефтешламов и деградации многих сотен гектаров земель [2]. Ежегодно в России образуется более 3 млн т нефтешламов и нефтезагрязненных грунтов, из них более 1 млн т — в нефтедобывающих компаниях; 0,7 млн т — на нефтеперерабатывающих предприятиях; 0,8 млн т — при транспортировании нефтепродуктов [3].

Нефтесодержащие шламы наносят значительный ущерб окружающей среде: при наличии

нефти в почве более 2 % подавляются прорастание в ней семян, рост и развитие растений [4]. Наряду с этим нефтешламы содержат в значительных количествах нефтепродукты и должны рассматриваться как ценнейшее вторичное энергетическое сырье. Таким образом, утилизация нефтесодержащих шламов необходима не только для защиты окружающей среды, но и для повышения экономической эффективности производства нефтепродуктов.

Состав и виды нефтесодержащих шламов

Состав и свойства нефтесодержащих шламов различны и зависят от происхождения [5]. Крупнейшими по объемам образования являются грунтовые, придонные и резервуарные нефтешламы. Грунтовые нефтешламы образуются в местах добычи и транспортировки при аварийных разливах нефти и смешивания ее с грунтом. Придонные — накапливаются на дне водоемов в результате сброса туда нефтесодержащих отходов. Резервуарные нефтешламы образуются в накопительных резервуарах при химическом взаимодействии нефтепродуктов с водой, воздухом и материалом стенок резервуара. Попадание в нефтешламы воды и минеральных загрязнителей способствует образованию водно-нефтяных



эмульсий и минеральных дисперсий. Нефтешламы являются устойчивыми высоковязкими дисперсными системами и трудно поддаются разделению на составляющие их компоненты.

Основными компонентами нефтесодержащих шламов являются нефтепродукты, вода, смолисто-асфальтеновые вещества и твердые минеральные примеси различного размера. Содержание компонентов в нефтешламах зависит от их происхождения и усредненно может быть представлено следующим образом (% масс.):

вода	32...38;
нефтепродукты	42...48;
смолисто-асфальтеновые вещества	4...12;
минеральные примеси	10...19.

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов нефтешламы относятся к третьему классу опасности, так как являются пожароопасными и токсичными продуктами.

Обращение с нефтесодержащими шламами

Известны следующие способы обращения с нефтесодержащими шламами: сжигание, пиролиз и переработка с получением товарных продуктов. Выбор способа утилизации нефтешламов зависит от конкретных условий: объема и состава отходов, климатических особенностей региона их образования и переработки, наличия необходимого оборудования и других факторов.

Сжигание широко используется при обращении с нефтесодержащими шламами, что является экологически и экономически неэффективным, так как при сжигании образуется большое количество токсичных газов, выбрасываемых в атмосферу, а также шлаков, и при этом не сохраняются ценные нефтепродукты, содержащиеся в отходах [6]. При небольших и разовых объемах допустимо сжигание нефтесодержащих шламов в специальных мобильных установках, оснащенных аппаратами для очистки дымовых газов. Промышленностью производятся мобильные установки различной производительности, предназначенные для сжигания отходов, образующихся при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов. При использовании таких установок резко сокращаются выбросы токсичных продуктов по сравнению с открытым сжиганием.

В ряде случаев с учетом местных условий для утилизации нефтешламов применяется низкотемпературный пиролиз при температуре 350...450 °С, который позволяет снизить нагрузку на окружающую среду и получить товарные продукты: пиролизную смолу, пиролизный газ и кокс [7]. Однако при большом содержании минеральных

примесей и воды пиролиз нефтешламов становится экономически неэффективным и может рассматриваться только как допустимый способ их уничтожения с целью снижения ущерба окружающей среде.

При массовом и постоянном образовании нефтесодержащих шламов рассмотренные выше способы обращения с ними являются неэффективными и неприемлемыми. Утилизация нефтешламов должна рассматриваться как процесс производства вторичных нефтепродуктов. Наиболее целесообразной является переработка нефтесодержащих шламов с разделением их на составляющие компоненты и получением товарных нефтепродуктов.

Использование для переработки нефтешламов физических способов разделения многокомпонентных дисперсных систем, таких как отстаивание, фильтрация, центрифугирование, неэффективно из-за высокой вязкости и устойчивости водно-нефтяных эмульсий с большим содержанием дисперсной минеральной фазы. Для этого применяют комплексные технологии, сочетающие физические и физико-химические методы (введение в шлам активных реагентов для разрушения водно-нефтяных эмульсий и разделения фаз и др.).

Разработка технологии переработки нефтесодержащих шламов

В результате проведенных исследований были созданы технологии переработки сложных по составу нефтешламов, позволяющие провести их разделение на составляющие компоненты. С этой целью применяли следующие способы обработки нефтешламов:

- нагревание с целью снижения вязкости;
- гомогенизацию и усреднение состава композиции;
- отделение минеральных примесей от водно-нефтяной эмульсии;
- разрушение водно-нефтяной эмульсии;
- разделение водно-нефтяной эмульсии на составляющие компоненты (воду и нефть);
- очистку минеральных примесей от остатков нефти;
- удаление влаги из минеральных примесей.

С целью снижения вязкости нефтешлам нагревали до 60...70 °С, разбавляли горячей водой и перемешивали механической мешалкой. Для приготовления суспензии использовали обратную техническую воду. При нагревании и перемешивании с водой происходила гомогенизация, усреднение состава нефтешлама и превращение его в однородную пульпу. Снижение вязкости нефтешлама позволяло перекачивать его насосом

в фильтрующую центрифугу, в которой происходила центробежная сепарация дисперсных твердых частиц от водно-нефтяной эмульсии. Твердые дисперсные частицы, выделенные из суспензии при центрифугировании, отмывались от остатков нефти водой, содержащей поверхностно-активные вещества (ПАВ), и затем отделялись от нее с помощью фильтрации.

Для разделения очищенной от минеральных примесей водно-нефтяной эмульсии на составляющие компоненты — воду и нефть — исследована возможность использования различных деэмульгаторов [8, 9]. В результате проведенного анализа было установлено, что для разрушения водно-нефтяной эмульсии эффективно использование неионогенных ПАВ, обладающих рядом технологических преимуществ перед ионогенными. Несмотря на более высокую стоимость, применение неионогенных ПАВ экономически оправдано благодаря существенно меньшему расходу. Как показали исследования, наиболее эффективно совместное использование деэмульгаторов Реапон-4В и СНПХ-4802.

Реапон-4В — бесцветная, легко подвижная жидкость, содержащая 50 % неионогенных ПАВ, молекулы которых не диссоциируют в растворе и сохраняют электрическую нейтральность [10]. СНПХ-4802 представляет собой смесь неионогенных и анионных ПАВ в водно-спиртовом растворе [11]. Комплексное использование деэмульгаторов различного действия позволило существенно уменьшить продолжительность разрушения водно-нефтяной эмульсии. Оптимальное содержание деэмульгаторов, обеспечивающее максимально быстрое и полное разделение водно-нефтяной эмульсии, устанавливалось экспериментально в зависимости от ее состава и температуры. Характеристика деэмульгаторов приведена в табл. 1.

Разделение водно-нефтяной эмульсии после обработки деэмульгаторами производилось в гравитационно-коалесцентном сепараторе (ГКС) Гамма-1 в результате самопроизвольной коалесценции капель однородных жидкостей под действием сил межмолекулярного притяжения [12]. При этом эмульсия, проходя через сложную внутреннюю конструкцию сепаратора, разделялась

по плотности на составляющие компоненты. Однородные капли жидкости сливались при их соприкосновении, что по мере движения эмульсии в аппарате постепенно приводило к разделению жидкостей. При этом остаточная концентрация нефтепродуктов в воде на выходе составляла 10...20 мг/л, что позволяло использовать воду в качестве оборотной.

В результате разделения водно-нефтяной эмульсии из патрубков ГКС отдельно вытекали компоненты эмульсии — вода и нефть. Нефтяная фракция являлась товарной продукцией и поставлялась потребителю, а водная фракция возвращалась в технологический цикл и использовалась как технологическая вода для подготовки к переработке очередной партии нефтесодержащих шламов.

Разработанная технология позволила получить из нефтесодержащих шламов следующие продукты: регенерированные нефтепродукты, технологическую воду и очищенные минеральные примеси. Количество нефтепродуктов в нефтяной фракции, полученной после разделения, составляло более 97 масс. %, а воды — не превышало 2,2 масс. %. Содержание взвешенных веществ в технической воде не превышало 42 мг/дм³. В минеральных примесях содержание нефтепродуктов было не более 2,26 масс. %, а воды — не более 0,77 масс. %.

Полученные результаты позволили спроектировать и изготовить комплекс оборудования по переработке нефтесодержащих шламов. Комплекс (см. рисунок) состоит из блока загрузки Б-1, блока обработки Б-2, блока центрифугирования Б-3, блока-отстойника Б-0, блока-сепаратора Б-4 и накопительного блока-бункера ББ. Все блоки представляют собой многокомпонентное технологическое оборудование.

Блок загрузки Б-1 включает фильтрующее устройство и механическую мешалку. Блок обработки Б-2 состоит из илоотделителя ИГ-45М и осушающих сеток вибростит ЛВС-1. Блок центрифугирования Б-3, состоящий из отсеков О-1 и О-2, включает центрифугу ЦФ, блок-отстойник Б-0. Блок Б-4 состоит из отсеков О-3 и О-4 и включает гравитационно-динамический сепаратор (ГДС). Для сбора минеральных примесей

Таблица 1

Характеристика деэмульгаторов

Наименование деэмульгатора	Плотность, кг/м ³	Массовая доля активного вещества, %	Температура застывания, °С	рН	Расход, г/т отходов
Реапон-4В	930	50...60	Не выше -50	6...8	100...300
СНПХ-4802	910...990	45...55	Не выше -45	6...7,5	1200...1800

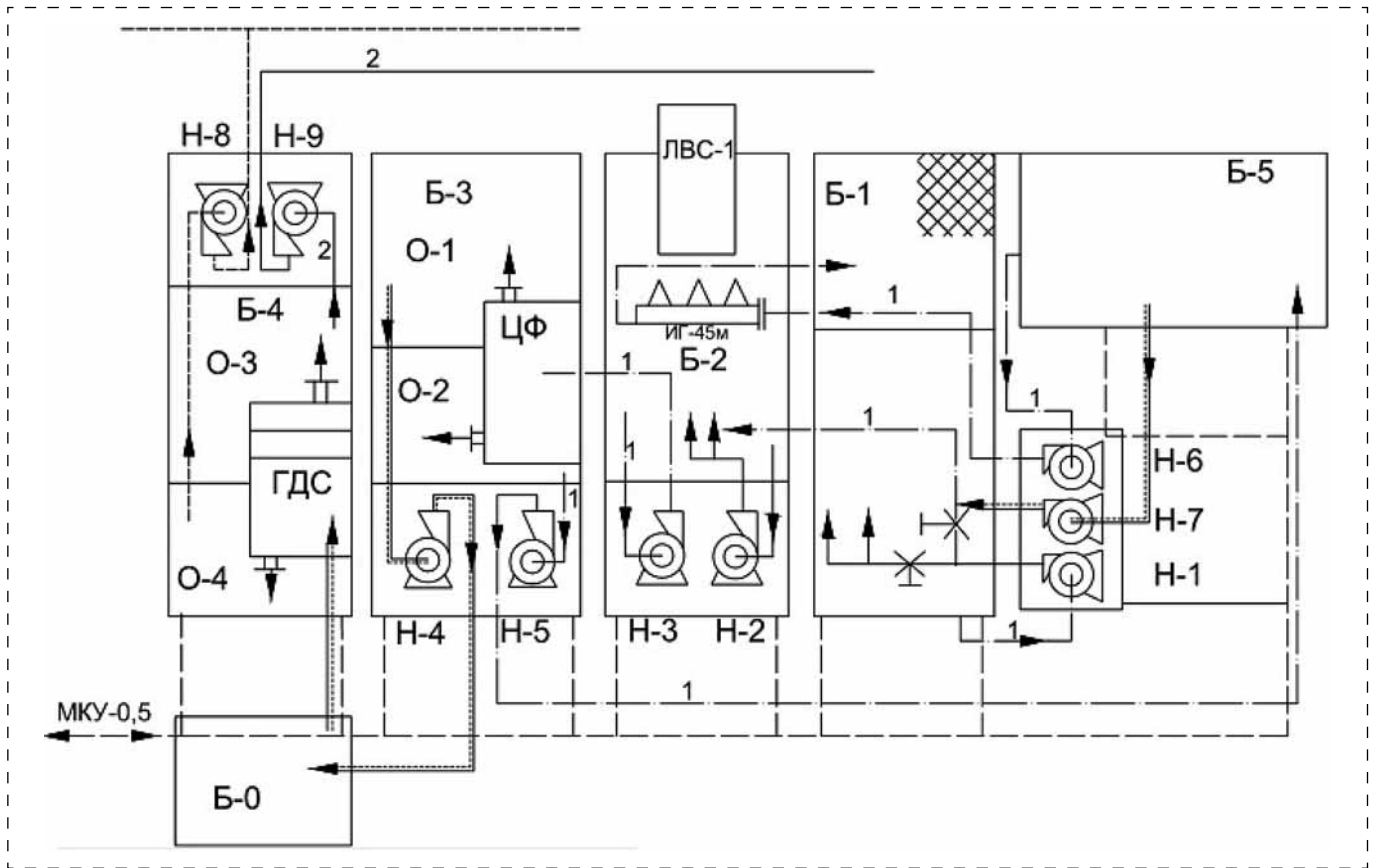


Схема переработки нефтесодержащих шламов:

1 — нефтесодержащие шламы; 2 — нефтепродукты; — водно-нефтяная эмульсия; - - - - - техническая вода; - - - - - тепловая сеть

предназначен накопительный блок-бункер Б-5. Перемещение продуктов между блоками осуществляется с помощью насосов Н-1—Н-9. Для автономного получения горячей воды используется модульная котельная установка МГУ-0,5.

По разработанной технологии нефтесодержащие шламы загружаются в блок загрузки Б-1 через фильтрующее устройство, представляющее собой бункер из стальной сетки, где задерживаются крупные минеральные примеси, камни и др. В блоке загрузки Б-1 производится предварительный разогрев нефтесодержащих шламов до температуры 30...40 °С и их перемешивание до однородного состояния.

Далее нефтесодержащие шламы из блока загрузки Б-1 перекачиваются насосом Н-1 в блок обработки Б-2 для дальнейшего подогрева до рабочей температуры 60...70 °С. Затем горячие нефтесодержащие шламы насосом Н-2 подаются в блок центрифугирования Б-3. В центрифуге ЦФ водно-нефтяная эмульсия отделяется от минеральных примесей и сбрасывается в отсек О-1.

Отфильтрованная от крупных примесей и камней твердая фракция поступает в отсек О-2, разбавляется технической водой и перекачивается насосом Н-5 в накопительный блок-бункер Б-5. Очищенная от твердых частиц водно-нефтяная эмульсия из отсека О-1 блока центрифугирования Б-3 подается насосом Н-4 в блок-отстойник Б-0, где разрушается с помощью деэмульгаторов.

Разделение водно-нефтяной эмульсии на составляющие компоненты — воду и нефтепродукт — происходит в ГДС, из которого нефтяная фракция поступает в отсек О-3 блока-сепаратора Б-4, а вода — в отсек О-4 того же блока Б-4.

Очищенные от нефти минеральные примеси из блока-бункера Б-5 насосом Н-6 подаются в илоотделитель ИГ-45М и через осушающие сетки вибросита ЛВС-1 сбрасываются в контейнер. Вода подается в блок загрузки Б-1 для подготовки очередной партии отходов либо используется для других технических целей. По мере накопления в блоке-бункере Б-5 на поверхности воды нефтяной пленки ее насосом Н-7 перекачивают в блок

Таблица 2

Техническая характеристика комплекса

Параметр	Значение
Общий объем комплекса, м ³	200
Масса "пустого" комплекса, кг	65 000
Габариты комплекса в рабочем положении, мм	32 000 × 18 000 × 5200
Производительность, м ³ /ч, не более	10
Степень очистки нефтепродукта, %, не менее	96
Наименьший размер удаляемых частиц, мм	0,001
Рабочее напряжение, В	380
Установленная мощность, кВт	280

загрузки Б-1. Техническая характеристика расмотренной установки приведена в табл. 2.

Разработанное оборудование позволяет получать высококачественный нефтепродукт, техническую воду, используемую в технологическом процессе или для поддержания пластового давления при добыче нефти, и безопасные твердые минеральные примеси пятого класса опасности, используемые для производства обваловок резервуарных парков и скважинных отсыпок или в качестве сырья для изготовления строительных материалов. На разработанную технологию переработки нефтесодержащих отходов и оборудование для ее реализации получены патенты Российской Федерации [13, 14].

Заключение

Таким образом, исследована возможность переработки сложных по составу нефтесодержащих шламов комплексным методом, включающим последовательное применение различных физических и физико-химических процессов разделения дисперсных сред. На основе полученных результатов разработана технология, позволяющая провести разделение отходов на составляющие фракции: нефтепродукты, минеральные примеси и воду. Разработанная технология переработки нефтесодержащих шламов позволяет многократно использовать техническую воду в процессе разделения нефтешлама, что снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Список литературы

1. **Проблема** образования, переработки и утилизации нефтешламов / В. А. Гронь, В. В. Коростовенко, С. Г. Шахрай, Н. М. Капличенко, А. В. Галайко // Успехи современного естествознания. — 2013. — № 9 — С. 159–162.
2. **Государственный доклад** "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году". URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=286341> (дата обращения 05.01.2017).
3. **Анализ** способов утилизации нефтесодержащих отходов и разработка нового комплексного способа утилизации нефтешламов резервуарного типа / А. Ф. Тимошин, А. П. Николаев, А. М. Нитяговский, Д. А. Ложкина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2016. — № 6 (часть 2) — С. 209–213.
4. **Игнатъев Л. А., Круне Т. И.** Эффект воздействия высокомолекулярных компонентов нефти на свойства почвы и продукционный процесс растений // Безопасность жизнедеятельности. 2016. — № 9. — С. 19–25.
5. **Исследование** свойств нефтешламов и способы их утилизации / Р. Р. Ибатуллин, И. И. Мутин, М. Н. Исхакова, К. Г. Сахабутдинов // Нефтяное хозяйство. — 2006. — № 11. — С. 116–118.
6. **Воробьева С. Ю., Шпинькова М. С., Мерициди И. А.** Переработка нефтешламов, буровых шламов, нефтезагрязненных грунтов методом реагентного капсулирования // Территория Нефтегаз. — 2011. — № 2. — С. 68–71.
7. **Войченко А. А., Медведев А. В., Опарин В. В.** Установка для термической переработки нефтешламов // Патент на изобретение № 2229060. Оpubл. 20.05.2004. Бюл. № 14.
8. **Заббаров Р. Р., Хуснутдинов И. Ш., Ханова А. Г.** Разрушение высокоустойчивых эмульсий комбинированным методом // Вестник Казанского технологического университета. — 2011. — № 9. — С. 222–223.
9. **Смачивающее и моющее действие ПАВ** в процессе разрушения водно-нефтяных эмульсий / Р. М. Фатхутдинова, Р. Ф. Хамидуллин, И. К. Киямов, М. Р. Хамиди, Л. И. Киямова // Химия и технология топлив и масел. — 2013. — № 4. — С. 23–29.
10. **Габдрахимова Л. А., Климентова Г. Ю.** Модернизация установки синтеза Реапон-4В // Вестник Казанского технологического университета. — 2015. — № 15. — С. 47–48. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-ustanovki-sinteza-reapon-4v> (дата обращения 19.06.2016).
11. **Дезэмульгаторы**, средства для подготовки нефти и ингибиторы парафиноотложений. URL: <http://neftpx.ru/development/deemulgatory/> (дата обращения 27.12. 2016).
12. **Высокоэффективная технология** очистки воды от нефти и нефтепродуктов. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/techn/tec93.htm> (дата обращения 27.03. 2016).
13. **Новахов Г. Г., Бобович Б. Б.** Способ переработки нефтесодержащих отходов // Патент на изобретение № 2536897. Оpubл. 27.12.2014. Бюл. № 36.
14. **Новахов Г. Г., Бобович Б. Б.** Способ переработки нефтесодержащих отходов и установка для его осуществления // Патент на изобретение № 2536906. Оpubл. 27.12.2014. Бюл. № 36.



B. B. Bobovich, Professor, e-mail: boris0808@yandex.ru, Moscow Polytechnic University, **G. G. Novahov**, General Director, LLS RosEkologiya, Moscow

Development of Technology Utilization of Oil Sludge

The problems of environmental pollution of oil-containing waste considered. Investigated the possibility of processing of them by complex method, including the consistent application of various physical and physico-chemical processes of separation of disperse media. Was developed technology utilization of oil sludge, consisting from centrifugal separation, demulsification, gravitational-dynamic separation and sedimentation. Technology allows the separation of multicomponent, complex composition of oily waste into constituent fractions: hydrocarbons, solids and water. The technology of processing of oily waste provides reusing water in the separation process of the sludge. To implement the developed technology designed and manufactured a complex industrial equipment. The technology of processing oil-contaminated wastes and equipment for its realization are protected by patents of the Russian Federation.

Keywords: environmental pollution, utilization of oil sludge, centrifugal separation, sedimentation, filtration, de-emulsifiers, technology, equipment, oil-product, mineral admixture, water

References

1. **Problema** obrazovaniya, pererabotki i utilizatsii nefteshlamov / V. A. Gron', V. V. Korostovenko, S. G. Shahraj, N. M. Kaplichenko, A. V. Galajko. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*. 2013. No. 9. P. 159–162.
2. **Gosudarstvennyj doklad** "O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Rossijskoj Federacii v 2015 godu" URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID = 286341> (date of access 05.01.2017).
3. **Analiz** sposobov utilizatsii neftesoderzhashhijh othodov i razrabotka novogo kompleksnogo sposoba utilizatsii nefteshlamov rezervuarnogo tipa / A. F. Timoshin, A. P. Nikolaev, A. M. Nitjagovskij, D. A. Lozhkina. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2016. No. 6. (chast' 2). P. 209–213.
4. **Ignat'ev L. A., Krune T. I.** Jefferkt vozdejstvija vysokomolekuljarnyh komponentov nefiti na svojstva pochvy i produkcionnyj process rastenij. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2016. No. 9. P. 19–25.
5. **Issledovanie** svojstv nefteshlamov i sposoby ih utilizatsii / R. R. Ibatulin, I. I. Mutin, M. N. Ishakova, K. G. Sahabudinov. *Neftjanoe hozjajstvo*. 2006. No. 11. P. 116–118.
6. **Vorob'eva S. Ju., S. Ju. Vorob'eva, Shpin'kova M. S., Mericidi I. A.** Pererabotka nefteshlamov, burovyh shlamov, neftezagrijazennyh gruntov metodom reagentnogo kapsulirovaniya. *Territorija Neftgaz*. 2011. No. 2. P. 68–71.
7. **Vojchenko A. A., Medvedev A. V., Oparin V. V.** Ustanovka dlja termicheskoj pererabotki nefteshlamov. *Patent na izobretenie* № 2229060, opubl. 20.05.2004. Bjul. No. 14.
8. **Zabbarov R. R., Husnutdinov I. Sh., Hanova A. G.** Razrushenie vysokoustojchivyh jemul'sij kombinirovannym metodom. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2011. № 9. P. 222–223.
9. **Smachivajushhee i mojushee dejstvie** PAV v processe razrushenija vodoneftjanyh jemul'sij / R. M. Fathutdinova, R. F. Hamidullin, I. K. Kijamov, M. R. Hamidi, L. I. Kijamova. *Himija i tehnologija topliv i masel*. 2013. No. 4. P. 23–29.
10. **Gabdrhimova L. A., Klimentova G. Ju.** Modernizacija ustanovki sinteza Reapon-4V. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2015. No. 15. P. 47–48. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-ustanovki-sintezareapon-4v> (date of access 19.06.2016).
11. **Dejemul'gatory**, sredstva dlja podgotovki nefiti i ingibitory parafinootlozhenij. URL: <http://neftpx.ru/development/deemulgatory/> (date of access 27.12. 2016).
12. **Vysokoeffektivnaja tehnologija** ochestki vody ot nefiti i nefteproduktov. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/techn/tec93.htm> (date of access 27.03. 2016).
13. **Novahov G. G., Bobovich B. B.** Sposob pererabotki neftesoderzhashhijh othodov. *Patent na izobretenie* № 2536897. Opubl. 27.12.2014., Bjul. No. 36.
14. **Novahov G. G., Bobovich B. B.** Sposob pererabotki neftesoderzhashhijh othodov i ustanovka dlja ego osushhestvlenija. *Patent na izobretenie* № 2536906. Opubl. 27.12.2014., Bjul. No. 36.

УДК: 551.4

Т. Д. Агаев, д-р геог. наук, проф., e-mail: aqayev_tahir@mail.ru, Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан,

Н. З. Ибрагимова, инж., Центр мониторинга загрязнения окружающей среды, Сумгаит, Азербайджан

Роль ветрового режима в формировании штормовых волн на Каспийском море и безопасность жизнедеятельности

Рассмотрен ветровой режим и условия формирования опасного волнения Каспийского моря. Волнение моря приводит к формированию опасных природных процессов. Они нарушают нормальную работу морского транспорта, разрушают коммуникационные системы; в море и в других водных объектах образуются сильные волны. Совместное использование наземной и космической информации может способствовать проведению неотложных мер по уменьшению разрушений и человеческих потерь от штормовых волн.

Ключевые слова: шторм, ветровой режим, атмосферные процессы, антициклон, скорость ветра, волнения, морской воздух, гряды, облачные улицы, конвекция

Введение. В течение года над Каспийским морем часто дуют сильные и штормовые ветры. При этом на поверхности моря образуются волны большой высоты, которые во многом определяют условия формирования верхнего слоя воды, глубину залегания термоклина и представляют собой важный рельефообразующий фактор в прибрежной зоне Каспия [1–3]. Рассмотрены условия формирования штормовых волн на поверхности Каспийского моря и безопасность жизнедеятельности людей.

Материалы и методы. В работе применен метод статистического анализа данных, для чего использованы данные наземных гидрометеорологических станций, расположенных на море и побережье, а также космическая видеоинформация Каспия.

Практическая часть. Как известно, в нижних слоях атмосферы вблизи поверхности моря, ветер отличается своей нестабильностью. Это можно объяснить различием атмосферной циркуляции в отдельных частях Каспийского моря [4, 5]. Выявлено, что в течение года над Каспием преобладают ветры северного (СЗ, С, СВ) и южного (ЮВ, Ю) направления. Средняя скорость ветра в пределах моря изменяется между 4...7 м/с (рис. 1).

Установлено, что в холодный период года на море в основном

дуют восточные и северо-восточные ветры. В теплый период года преобладают северо-восточные ветры, вероятность повторения восточных, западных и северо-западных ветров почти одинакова. Ветры со скоростью больше 30 м/с, в основном, характерны для северо-западных, а больше 15 м/с — для восточных и юго-восточных направлений. Повторяемость слабых ветров (менее 6 м/с) летом 60 %, а в другое время составляет 40...45 %. На Западном побережье Среднего Каспия в течение года в основном преобладают ветры северо-западного

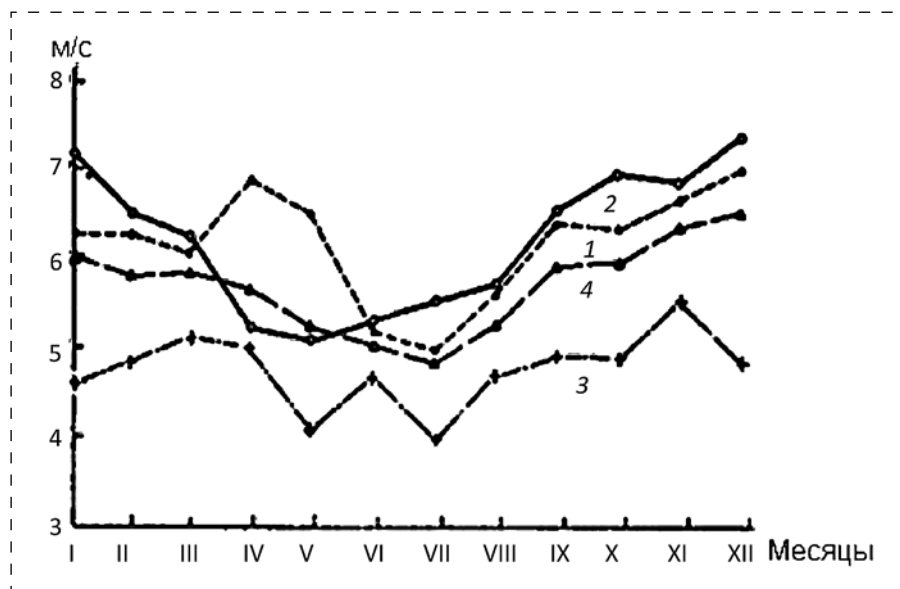


Рис.1. Изменения скорости ветра на Каспии по месяцам [3]. Ветер: 1 — северный; 2 — средний; 3 — южный; 4 — для всего моря

и северо-восточного направления. Здесь сильные ветры характерны для Апшерона (40 м/с) и ст. Махачкала (до 35 м/с). Среднее число штормовых дней здесь 70, а их продолжительность может достигать несколько дней [1, 2].

Для Каспийского моря характерно то, что здесь воздействие меридиональных атмосферных процессов выражено более интенсивно и ярко. Эти процессы обуславливают наряду с другими факторами погоду и климат (восьми типов) в этом регионе (рис. 2 — см. 2-ю стр. обложки). Разрушительные штормовые ветры над морем часто возникают за счет вторжения морского воздуха умеренных широт, вызванного воздействием Азорского максимума (III тип), вторжением континентально-арктического воздуха (I тип) и морского арктического воздуха, являющегося результатом деятельности Скандинавского антициклона (II тип). С вторжением холодных воздушных масс (рис. 3 — см. 2-ю стр. обложки) наблюдается резкое ухудшение погодных условий, отмечается резкое падение температуры воздуха, выпадение атмосферных осадков (зимой в виде снега). В прибрежных районах наблюдаются штормовые ветры. Примером вторжения холодного воздуха может служить образование облачных гряд конвективной облачности над Каспийским морем, наблюдаемых на космических снимках [6]. За счет прохождения холодного воздуха над теплой водной поверхностью формируются "облачные улицы", гряды конвективной облачности, что нередко можно наблюдать над Каспием и над прилегающими к нему территориями в холодное время года. Они возникают над земной поверхностью в процессе цилиндрической циркуляции воздуха в атмосфере и являются одним из видов организованной конвекции (рис. 4). Улицы облаков — результат волнового движения воздуха в устойчивой атмосфере. Она имеет форму расширенной линии кучевых облаков (обычно слоисто-кучевых) почти параллельно

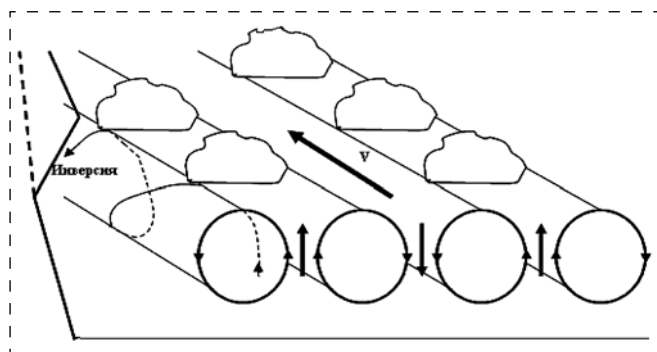


Рис.4. Схема образования "облачных улиц" над морской поверхностью в холодное время года [6]

направлению ветра. Наиболее благоприятные условия для их образования происходят, когда самый нижний слой воздуха неустойчив и покрывается устойчивым слоем воздуха. Это часто происходит, когда верхний слой воздуха опускается, например, в условиях антициклона. Воздух движется поперек улицы облаков, и там, где воздух поднимается, образуются облака, там, где опускается, — облачные просветы в облаках (улицы). При образовании таких облачных гряд обычно мощность конвективного слоя составляет в среднем 1,5...2,0 км, а выше за счет адвекции теплого воздуха отмечается слой с замедленным падением или отрицательным градиентом температуры воздуха (инверсия). Так как мезомасштабные "облачные улицы" возникают в сравнительно тонких, неустойчиво стратифицированных слоях атмосферы, то наличие их над каким-либо районом свидетельствует о том, что нижний слой атмосферы является неустойчиво стратифицированным.

На космическом снимке за 10.01.2008 г. (рис. 5) видно, что слоисто-кучевые облака выстроились вдоль оси с севера на юг по направлению господствующего ветра над Каспийским морем. Они сформировали улицы облаков, которые связаны с адвекцией холодного воздуха над теплым и влажным воздухом над водной поверхностью. Гряды кучевых облаков формируются вдоль потоков холодного воздуха, который с большой скоростью вырывается с суши, с поверхности морского льда на море. Тепло- и влагообмен над теплой морской поверхностью, при благоприятных условиях приводит к образованию улиц облаков. В начале облачные улицы узкие и четкие. Но с увеличением температуры морской воды они постепенно расширяются, теряют форму и сливаются друг с другом.

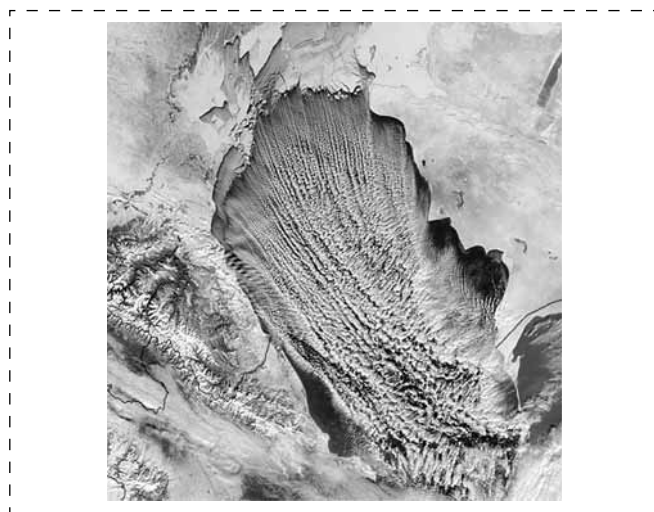


Рис. 5. Фрагмент космического снимка Кавказско-Каспийского региона (MODIS, Terra), 10.01. 2008 г. [8]

Из аэросиноптических данных следует, что 09.01.2008 г. в вечерне-ночные часы у земной поверхности наблюдался ветер юго-западного направления (со скоростью до 2 м/с), с адвекцией теплого воздуха. В утренние часы поток холодного воздуха ($V = 6...8$ м/с) северо-западного направления над теплой морской поверхностью при благоприятных условиях привел к образованию гряд слоисто-кучевых облаков. В это время выше верхней части слоя перемешивания находился слой с малым положительным градиентом температуры.

Очень высокие волны для моря характерны на акватории, примыкающей к Апшеронскому полуострову (рис. 6 — см. 3-ю стр. обложки, и рис. 7), где на характер штормовой деятельности значительное влияние оказывает орография местности. Так, обтекая Кавказские горы, преобладающие северо-западные ветровые потоки над морем приобретают четко выраженное северное

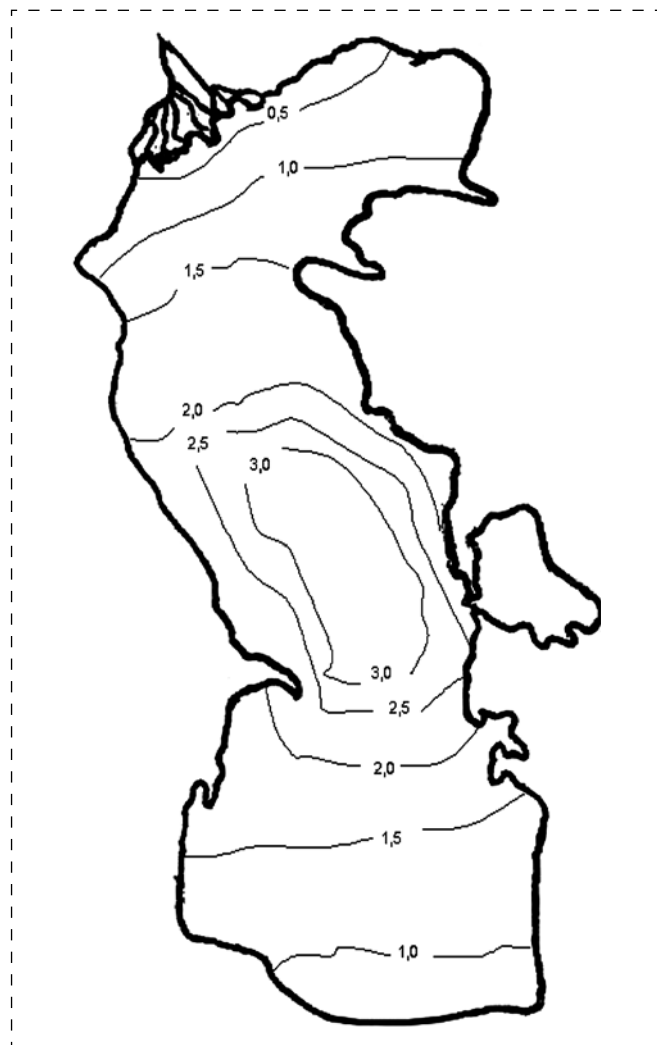


Рис. 7. Средняя высота волн при северных и северо-западных направлениях ветра [2]

направление и достигают скорости 20...25 м/с. В это время в эпицентре штормового волнения высота волн может достигать 8,0 м, а при экстремальных случаях даже 10 м и выше. Местное название их "Бакинский норд".

Штормовые волнения нарушают нормальную работу морского транспорта, разрушают коммуникационные системы, приводя их в нерабочее состояние. Так, наблюдаемый 12—14 февраля 1952 г. штормовой ветер северного направления был долгосрочным. На Апшеронском полуострове этот шторм длился до 40 ч, а скорость ветра превышала 25 м/с. Самое большое волнение наблюдалось в районе Нефтяных Камней. При таком штормовом ветре были повреждены и разрушены нефтепромысловые гидротехнические установки.

Сильное волнение Каспия также было отмечено 20—21 ноября 1957 г. В это время в районе Нефтяных Камней скорость ветра была более 40 м/с. В местах, где глубина моря достигала 10...12 м, высота волны составляла 8...10 м, а в местах, где глубина достигала 20...30 м, высота волны увеличивалась до 12 м. Такие штормовые волны нанесли ущерб гидротехническим сооружениям на нефтепромыслах, погибли люди. По мнению экспертов, в местах, где не проводились наблюдения, высота морской волны достигала 14,5 м. В это время сильный ветер и морские волны сильно повредили эстакады на Нефтяных Камнях.

Одно из таких очень опасных природных явлений было отмечено 04.12.2016 г., когда на глубоководной платформе Государственной нефтяной компании Азербайджана (ГНКАР) № 10 месторождения "Гюнешли" в связи с сильной штормовой погодой сорвало опорную трубу, в результате чего был поврежден работающий под давлением 110 атмосфер газопровод и начался сильный пожар [10]. Месторождение "Гюнешли" входит в группу крупнейших шельфовых месторождений Азербайджана. Площадь блока составляет 432 км², а глубина воды — 110...220 м. Глубоководная платформа № 10 возвышается на 10 м над уровнем моря и жилым модулем. По данным синоптиков, в этот день наблюдалась штормовая погода со скоростью ветра более 40 м/с и волнением моря, достигавшим 4...5 баллов. Высота волны 8...10 м значительно затруднила проведение спасательных работ. В результате этого опасного природного явления из 63 нефтяников, работавших на платформе, погибло 10 человек, а 20 числились как пропавшие. Кроме того, в это же время была смыта жилая будка на месторождении "Нефтяные камни" вместе с тремя нефтяниками, которые также погибли. По данным ГНКАР, пожар был потушен только через 13 дней, 17 декабря [9].

15.12.2016 г. около 5.00 утра шторм в море снес часть эстакады протяженностью около 150 м на



нефтесорборном пункте 3 Нефтегазодобывающего управления. Большая скорость ветра (рис. 8 — см. 3-ю стр. обложки) северного направления перевернула эстакаду вместе с прилегающей к ней площадкой и жилой будкой, где в это время находились десять нефтяников. Один из них погиб, а другие числятся как пропавшие.

Заключение. Прохождение холодных воздушных масс над Каспийским морем приводит к увеличению скорости ветра до 20...25 м/с, в некоторых случаях скорость ветра может достигать 40 м/с и выше. Такие очень опасные скорости ветра, нарушающие нормальную работу морского транспорта, разрушающие коммуникационные системы и нефтепромысловые гидротехнические установки, создающие угрозу для жизнедеятельности людей, приводят к формированию штормовых волн на поверхности Каспийского моря. Борьба с штормовыми волнами осуществляется пассивным методом. Поэтому изучение всех параметров штормовых волн, которые наблюдались в акватории (имеющей морские нефтепромысловые гидротехнические установки и системы коммуникаций), и прогноз этих опасных природных явлений приобретает большое значение. Совместное использование наземной и космической информации может способствовать

проведению неотложных мер по уменьшению разрушений и человеческих потерь от штормовых волн.

Список литературы

1. **Мамедов Р. М.** Гидрометеорологическая изменчивость и экогеографические проблемы Каспийского моря. — Баку: Элм, 2007. — 454 с.
2. **Панин Г. Н., Мамедов Р. М., Митрофанов И. В.** Современное состояние Каспийского моря. — М.: Наука, 2005. — 356 с.
3. **Soomere T., Viška M., Eelsalu M.** Spatial variations of wave loads and closure depth along the eastern Baltic Sea coast // *Estonian Journal of Engineering*. — 2013, 19 (2). — С. 93—109.
4. **Агаев Т. Д.** Условия формирования облачных вихрей над Каспийским морем // *Гидрометеорология и экология*. — 2011. — № 1. — С. 28—36.
5. **Климат** Азербайджана / Под ред. А. А. Мадатзаде, Э. М. Шихлинского. — Баку: Элм, 1968. — 341 с.
6. **Агаев Т. Д.** Изучение условий формирования "облачных улиц" над Кавказско-Каспийским регионом, по данным аэрокосмической информации // *Гидрометеорология и экология*. — 2011. — № 3. — С. 86—94.
7. **Текущий прогноз** погоды в Азербайджане. URL: www.foreca.com/Azerbaijan/Baku (дата обращения 07.12.16).
8. **Космические снимки** Каспийского моря. URL: www.parstime.com/spaceimages/Caspian/ (дата обращения 10.01.2008).
9. **Космические снимки** астронавтов NASA. URL: eol.jsc.nasa.gov (дата обращения 07.10.2002).
10. **Информационная служба.** URL: www.bbc.com/russian (дата обращения 04.12.2016).
11. **Информация** о погодных условиях в районе Каспийского моря. URL: www.weather-forecast.com (дата обращения 15.12.2016).

T. D. Agayev, Professor, e-mail: aqayev_tahir@mail.ru, Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan, **N. Z. Ibragimova**, Engineer, Monitoring of pollution of environment Center, Sumgayit, Azerbaijan

Role of Wind Regime in the Formation of Storm Waves on the Caspian Sea and Life Safety

The article describes the regime winds and dangerous conditions waves of the Caspian Sea. Rough sea leads to the formation of dangerous natural processes. They violate the normal operation of sea transport; disrupt the communications systems, leading them useless state into the sea and other water bodies formed strong waves. Sharing terrestrial and space-based information can contribute to the immediate action to reduce the destruction.

Keywords: storm, wind patterns, atmospheric processes, anticyclone, winds, waves, sea air, ridge, cloud streets, convection

References

1. **Mamedov R. M.** Gidrometeorologicheskaja izmenchivost' i jekogeograficheskie problemy Kaspijskogo morja. Baku: Jelm, 2007. 454 p.
2. **Panin G. N., Mamedov R. M., Mitrofanov I. V.** Sovremennoe sostojanie Kaspijskogo morja. Moscow: Nauka, 2005. 356 p.
3. **Soomere T., Viška M., Eelsalu M.** Spatial variations of wave loads and closure depth along the eastern Baltic Sea coast. *Estonian Journal of Engineering*. 2013. No. 19 (2). P. 93—109.
4. **Агаев Т. Д.** Uslovija formirovanija oblachnyh vihrej nad Kaspijskim morem. *Gidrometeorologija i jekologija*. 2011. No. 1. P. 28—36.
5. **Климат** Азербайджана / Под ред. А. А. Мадатзаде, Э. М. Шихлинского. Baku: Jelm, 1968. 341 p.

6. **Агаев Т. Д.** Izuchenie uslovij formirovanija "oblachnyh ulic" nad Kavkazsko-Kaspijskim regionom, po dannym ajekokosmicheskoj informacii. *Gidrometeorologija i jekologija*. 2011. No. 3. P. 86—94.
7. **Текущий прогноз** погоды в Азербайджане. URL: www.foreca.com/Azerbaijan/Baku (date of access 07.12.16).
8. **Космические снимки** Каспийского моря. URL: www.parstime.com/spaceimages/Caspian/ (date of access 10.01.2008).
9. **Космические снимки** астронавтов NASA. URL: eol.jsc.nasa.gov (date of access 07.10.2002).
10. **Информационная служба.** URL: www.bbc.com/russian (date of access 04.12.2016).
11. **Информация** о погодных условиях в районе Каспийского моря. URL: www.weather-forecast.com (date of access 15.12.2016).

УДК 556.470.325

Г. Я. Дрозд, д-р техн. наук, проф., e-mail: drozd.g@mail.ru,
Луганский национальный университет им. В. Даля

Влияние военно-политической обстановки юго-востока Украины на экологическое состояние поверхностных водоемов

Приведены данные о качестве водных объектов юго-востока Украины, подвергшихся боевым действиям. Выполнено сравнение качества воды водоемов с использованием индекса загрязнения воды и обоснованы трансграничные и региональные экологические риски.

Ключевые слова: индекс загрязнения воды, мониторинг, экоцид, вода, водоем, война

При ведении боевых действий забота о природной среде стоит на последнем месте, несмотря на долгосрочные негативные последствия для всех ее составляющих и населения. Военные конфликты приводят к целому ряду опасных воздействий на почву и ландшафты, растительность, поверхностные и подземные воды. Последствия боевых действий значительно увеличивают риски возникновения аварийных ситуаций на промышленных предприятиях и инфраструктурных объектах.

Оценка влияния боевых действий и изучение их последствий — проблема довольно непростая, учитывая их косвенное воздействие практически на все компоненты природной среды. Эта проблема существенно усложняется для крупных густонаселенных регионов, имеющих развитую промышленную и транспортную инфраструктуру.

Особенно сложной является оценка экологических рисков на территории Донбасса, где уже около трех лет не утихают боевые действия. Здесь за годы интенсивного использования природных ресурсов накопилось такое количество экологических проблем, что любая дополнительная техногенная нагрузка может привести к экологической катастрофе.

С подписанием Минских соглашений появилась надежда на мирное урегулирование конфликта на востоке Украины, однако обстановка на линии соприкосновения не изменилась. Природная среда и население оказались заложниками этой ситуации. Недавно юго-восток Украины отметил печальный юбилей — 1000 дней постоянных ежедневных обстрелов территорий. Последний год артиллерийским обстрелам различной интенсивности подвержена полоса территории шириной 10...15 км вдоль линии разграничения сторон. При этом слабо интенсивные обстрелы производятся преимущественно в районе пос. Станица Луганская на территории длиной примерно 20 км, а на территории от Донецка до Мариуполя интенсивность обстрелов на порядок выше. Обстрелы

осуществляются из тяжелой артиллерии с массой снарядов от нескольких килограммов до нескольких десятков килограммов. Плотность населения в опасных районах крайне низкая в связи с его миграцией в центральные, более безопасные районы. А вот природа деградирует от военных действий.

Ранее в работах [1, 2] был дан прогноз экологических рисков для России вследствие переноса на ее территорию загрязнений, обусловленных военными действиями, рекой Северский Донец.

С целью проверки обоснованности высказанных опасений было проведено исследование качества отдельных водных объектов Донбасса в характерных местах: в *зоне слабо активных* боевых действий (0...50 обстрелов/сутки) в районе реки Северский Донец; в *зоне активных* боевых действий (50...500 обстрелов/сутки) в прифронтовых районах — реки Кальмиус и Кальчик и в *зоне водохранилищ* у города Счастье в прифронтовой полосе за линией разграничения сторон.

Оценку качественного состояния вод поверхностных водных объектов проводили по методике определения индекса загрязненности вод (ИЗВ), основанной на анализе кратности превышения предельно допустимых концентраций отдельных ингредиентов, согласно нормативам для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Индексы загрязненности вод рассчитывали по шести показателям, два из которых обязательные — БПК₅ и растворенный кислород, другими показателями были четыре ингредиента из общего перечня, по которым кратность превышения ПДК была наибольшей (в рассмотренном случае: медь, хром 6+, марганец 2+, сульфаты, железо общее, нитриты).

Отнесение качества воды к конкретному классу осуществляли на основе специальных критериев интервального типа для значений ИЗВ.

По качеству вода разделена на семь классов: 1 — очень чистая (ИЗВ от 0 до 0,3); 2 — чистая



(ИЗВ от 0,3 до 1,0); 3 — умеренно-загрязненная (ИЗВ от 1,0 до 2,5); 4 — загрязненная (ИЗВ от 2,5 до 4,0); 5 — грязная (ИЗВ от 4,0 до 6,0); 6 — очень грязная (ИЗВ от 6,0 до 10,0); 7 — чрезвычайно грязная (ИЗВ больше 10,0).

В связи с определенной опасностью и сложностью обстановки в работе использованы данные собственных исследований, а также материалы мониторинга Северско-Донецкого бассейнового управления водных ресурсов [3, 4].

Результаты и обсуждение

1 зона — река Северский Донец (протяженность — 1053 км, расход воды в среднем течении — 200 м³/с), берущая начало в Белгородской области РФ, пересекает Украину по территориям Харьковской, Донецкой и Луганской областей и впадает в Дон на территории РФ (рис. 1).

Характеристики качества воды для определения индекса ее загрязнения для створа в районе пос. Станица Луганская приведены в табл. 1.

Высокие концентрации загрязняющих веществ в пробах воды в Луганском створе объясняются сбросом в водотоки неочищенных стоков и смывом с местности промышленных загрязнений из-за поврежденных канализационных очистных сооружений и полигонов промышленных отходов.

Индекс загрязнения воды — это сумма отношений БПК, концентраций растворенного в воде кислорода и загрязняющих веществ и их ПДК, усредненная по числу компонентов, принятых во внимание для оценки качества воды:

$$\text{ИЗВ} = \frac{\frac{\text{ПДК}_1}{C_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n}}{n},$$

где ПДК_{*i*} — предельно допустимая концентрация ингредиента (ПДК₁ — для О₂); C_{*i*} — фактическая концентрация вещества; n = 6 — количество компонентов, выбранных для расчета.

При расчете ИЗВ учет двух показателей — концентрации растворенного в воде кислорода C₁

Таблица 1

Среднеквартальные концентрации ингредиентов

№ п/п	Ингредиенты	ПДК, мг/л	С, мг/л (по месяцам)			С _{сред.} , мг/л
			Март	Июнь	Сентябрь	
1	Кислород	8,0	9,0	7,11	6,88	7,66
2	БПК ₅	2,0	6,0	7,1	7,5	6,86
3	Медь (II)	0,1	0,28	0,31	0,30	0,29
4	Нитриты	0,08	0,48	0,52	0,50	0,50
5	Марганец	0,1	0,36	0,38	0,38	0,38
6	Сульфаты	100	535	541	549	541

и БПК — являются обязательным, остальные компоненты-загрязнители выбираются с учетом характера загрязнения водоема, а также исходя из превышения их концентраций над соответствующими значениями ПДК.

Кислород не является загрязнителем, напротив, чем выше его концентрация, тем чище вода, поэтому для него при расчете ИЗВ берут отношение ПДК/С. По приведенной выше формуле проведены расчеты индекса загрязнения воды и построена диаграмма (рис. 2).

Диаграмма качества воды вдоль водотока реки (см. рис. 2) отражает данные гидрохимических показателей качества воды, взятые в 19 створах (10 — в Харьковской обл., 4 — в Донецкой и 5 — в Луганской областях).

Анализ диаграммы свидетельствует, что со стоком реки Северский Донец с территории РФ (Белгородская область) поступают основные загрязнители (медь — 2,92 ПДК, хром 6+ — 2 ПДК, марганец — 1,96 ПДК, железо общее — 1,48 ПДК, БПК₅ — 1,27 ПДК), которые на границе Белгородская — Харьковская область формируют 3-й класс качества воды — "умеренно загрязненная".

В пределах территории Украины и в замыкающем створе пос. Станица Луганская класс качества воды изменяется до 4-го класса — "загрязненная". Основными показателями, которые формируют этот класс качества, являются: нитриты — 6,07 ПДК, сульфаты — 5,41 ПДК, марганец — 3,8 ПДК, медь — 3,8 ПДК, БПК₅ — 3,4 ПДК. Отметим, что после створа на 483 км (ниже впадения реки Бахмутка в Северский Донец) и вплоть до последнего створа, где отбирались пробы (пос. Станица Луганская), вместо хрома и железа загрязнения воды формируют сульфаты и нитриты.



Рис. 1. Река Северский Донец в районе пос. Станица Луганская

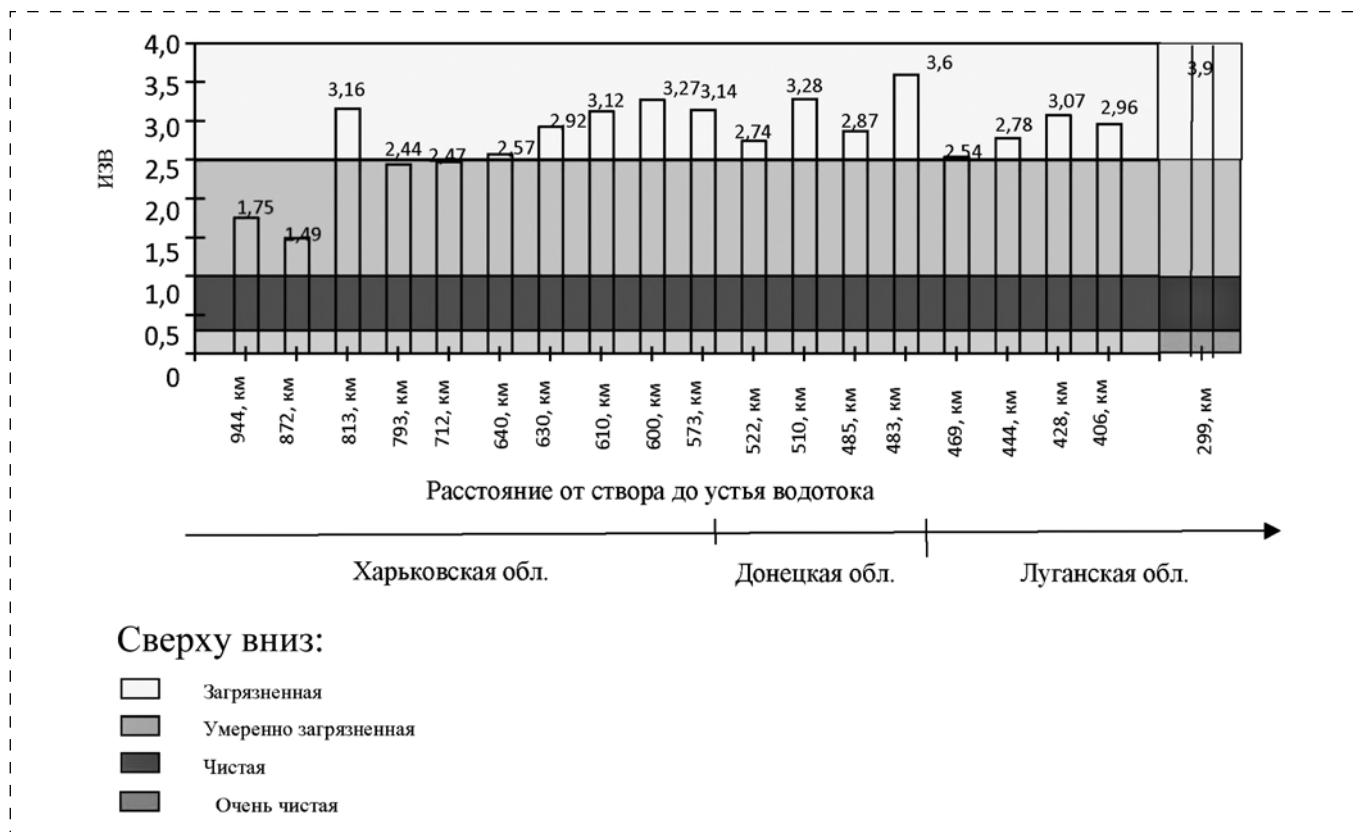


Рис. 2. Комплексная оценка качества воды вдоль водотока реки Северский Донец на основе индекса загрязнения воды

Сравнительный анализ гидрохимического состояния реки Северский Донец во времени свидетельствует о том, что нынешнее качество воды (2016 г.) остается удовлетворительным, на уровне 2013—2014 гг. с незначительным колебанием среднегодовых показателей. Однако анализы военного времени отличаются от предвоенных именно появлением высоких концентраций нитритов и сульфатов. Это наводит на мысль о взрывном факторе, способствующем их образованию (возможно, поставляя их на поверхность из глубинных слоев грунта), что подтверждается данными о выделении высоких концентраций соединений азота и серы при обстрелах, приведенными в работах [1, 2]. Средняя жесткость воды — 9,2 ммоль/дм³. Класс качества воды остался без изменений в сравнении с довоенным — 4-й ("загрязненная") и обусловлен как фоновыми показателями и производственно-хозяйственной деятельностью, так и примесью продуктов взрывного горения(?). Существенных нарушений, вызванных техногенным загрязнением воды в результате боевых действий и нарушений санитарно-экологического состояния реки, не выявлено.

II зона — зона с активными боевыми действиями находится на южном (Мариупольском направлении). К этой территории приурочены бассейны двух рек — Кальмиус (рис. 3) и Кальчик. Характеристика водотоков: река Кальмиус — протяженность 209 км, расход воды в среднем течении — 8,25 м³/с, впадает в Азовское море; р. Кальчик — приток Кальмиуса, имеет протяженность 85 км, расход воды в среднем течении около 4 м³/с.

В устье реки Кальмиус основные показатели (марганец — 12,1 ПДК, сульфаты — 10,18 ПДК, нитриты — 7,12 ПДК, медь — 7,0 ПДК, БПК₅ — 1,84 ПДК) формируют 6-й класс качества



Рис. 3. Участок реки Кальмиус в зоне активных боевых действий

воды — "очень грязная". Кислородный режим в реке — удовлетворительный.

Вода реки Кальчик соответствует также 6-му классу качества — "очень грязная". Основными загрязнителями, которые формируют этот класс качества, являются: марганец — 11,1 ПДК, сульфаты — 12,48 ПДК, нитриты — 12,5 ПДК, медь — 6,0 ПДК, БПК₅ — 1,74 ПДК.

В зоне обстрелов из тяжелых орудий прибрежная растительность рек находится в угнетенном состоянии (см. рис. 3), а повышенное загрязнение воды связано как с механической эрозией почв вследствие взрывов и оседания пыли, так и с малым расходом воды в реках.

Специалистами организации "Экология—право—человек" были проведены исследования почв во время выездов в зону боевых действий. Результаты исследований свидетельствуют о значительном содержании тяжелых металлов в почве на месте разрывов снарядов. Так, концентрация титана в пробе почвы на месте разрыва снарядов в 150 раз превышает фоновые показатели. Есть превышение по сульфатам, нитритам, а также по ванадию, свинцу, кадмию и пр. [5]. Эти данные объясняют повышенное содержание этих загрязнений в рассматриваемых водных объектах, находящихся в зоне интенсивного артиллерийского воздействия.

III зона — в районе г. Счастье, где расположена Луганская ТЭС. В технологической схеме тепловой электростанции были предусмотрены пруды-охладители с площадью водного зеркала около 5 км².

После ожесточенных боев за ТЭС предприятие полностью заминировано. Военно-политическая администрация Украины в таких чрезвычайных условиях взяла эксплуатацию ТЭС на себя. Работа предприятия значительно ограничена и осуществляется с грубейшими нарушениями всех технологических регламентов. Территория предприятия



Рис. 4. Расположение и размеры водохранилищ на карте Луганской области

используется для размещения и ремонта тяжелой военной техники. В результате такой эксплуатации как сама ТЭС, так и ее инфраструктура подвергаются деградации. Водный баланс в системе водохранилищ не соблюдается, происходит интенсивное загрязнение их воды коммунальными стоками и нефтепродуктами, а также пылью от твердого топлива. Такая бесхозяйственная деятельность привела фактически к гибели одного водоема [6]. На рис. 4—6 приведены данные спутниковых карт района г. Счастья за 2015 и 2016 гг., которые иллюстрируют процесс исчезновения водоемов (прудов) в результате не столько боевых действий, сколько халатной или непрофессиональной эксплуатации энергетического объекта.

В довоенное время пруды арендовались предприятием "Рыбхоз" и были любимым местом отдыха и рыбалки луганчан. В настоящее время 3-е водохранилище (рис. 7) исчезло и происходит обмеление двух оставшихся.

Качественные характеристики воды 2-го водохранилища приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют о превышении предельно допустимой концентрации для



Рис. 5. Исчезновение 3-го водохранилища (спутниковое фото, лето 2015 г.)



Рис. 6. Деграция системы водохранилищ (спутниковое фото, осень 2016 г.)



Рис. 7. Вид на 3-е водохранилище, сентябрь 2016г.

Химический анализ воды 2-го водохранилища (2016 г.) в сравнении с ПДК_{р.х}

Таблица 2

Показатели	Единицы измерения	Водо-хранилище № 2	ПДК _{р.х}
Аммиак	мг/дм ³	3,9	2
Нитриты		0,005	0,08
Нитраты		0,01	40
Железо		0,05	0,1
Хлориды		441	300
Сульфаты		1089	100
Жесткость	ед.	30,6	7
ХПК	—	320	15
Перманганатная окисляемость	—	150	7
рН	ед.	6,8	6,5...8,5

водоемов рыбохозяйственного использования (ПДК_{р.х}): перманганатной окисляемости в 21 раз, химической потребности в кислороде (ХПК) в 22 раза, сульфатов в 11 раз, хлоридов в 1,5 раза, жесткости в 4,5 раза. Таким образом, вода водохранилища по своему химическому составу соответствует промышленному стоку.

Качество воды угнетающе действует на животный и растительный мир водоемов. Большинство видов рыб гибнет. На обмеление и исчезновение водохранилищ чутко реагирует прибрежная растительность — идет процесс засыхания деревьев и кустарников. Деграция и гибель водоемов ведет к опустыниванию местности: исчезли сопутствующие экосистеме земноводные, пернатые, сократили свою популяцию летучие мыши.

Несколько слов о водоемах, расположенных в так называемой "серой зоне", своеобразной нейтральной территории, где некогда велись боевые действия. К таким относится озеро "Большое" (с размерами примерно 1000×50 м и глубиной около 1 м) и озеро "Малое" (размер 500×30 м, глубиной около 1 м). Боевые действия, аномально высокие летние температуры (более 40 °С), и, главное, отсутствие доступа специалистов и техники привели к полному пересыханию этих водоемов (рис. 8).

Донбасс является маловодным регионом. Летом 2016 г. проведена инвентаризация и впервые за последние 25 лет проведена паспортизация водоемов. На рассмотренной территории расположено 349 водоемов с качеством воды 3-го класса — "умеренно загрязненная", из них — 22 водохранилища, остальные — пруды. Проведены работы по разминированию, расчистке и благоустройству водоемов. Часть из них зарыблена мальком.



Рис. 8. Пересохшие озера

(50...500 обстрелов/сутки), имеющими водооток с незначительным расходом воды.

3. Состояние водоемов Донбасса можно оценить как критическое (в зоне недоступности или боевых действий) и как удовлетворительное в зоне нормальной хозяйственной деятельности с перспективой улучшения их качества по предназначению водоема.

Выводы

1. Экологические риски для территории РФ вследствие трансграничного переноса рекой Северский Донец загрязнений, вызванных боевыми действиями на Донбассе, на данный момент минимальны, вследствие сравнительно невысокой интенсивности (0...50 обстрелов/сутки) в прибрежных районах и значительным расходом воды в водотоке. Однако величина риска может возрасти с увеличением интенсивности боевых действий.

2. Экологический риск боевых действий на региональном уровне весьма высок на территориях с интенсивными боевыми действиями

Список литературы

1. Дрозд Г. Я., Хвортова М. Ю. Экоцид — неизбежный результат военных конфликтов // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 4. С. 36—43.
2. Дрозд Г. Я., Салуквадзе И. Н., Хвортова М. Ю. Экоцид как результат геноцида киевской военной хунты против Донбасса // Экологический Вестник России. — 2016. — № 9. — С. 30—42.
3. URL: <http://www.sdbuvr.slav.dn.ua/> (дата обращения 10.10.2016).
4. URL: <http://miaistok.su/v-lnr-proverili-kachestvo-vody-v-reke-severskij-donets/> (дата обращения 10.10.2016).
5. URL: <http://www.unian.net/war/1036351-iz-za-boevyih-deystviy-17-lesov-i-24-stepey-v-zone-ato-postradali-ot-pojarov-ekologi.html/> (дата обращения 10.10.2016).
6. URL: http://rusnext.ru/recent_opinions/1472592403/ (дата обращения 10.10.2016).

G. Y. Drozd, Professor, e-mail: drozd.g@mail.ru, Luganskij National University named after V. Dalya

Influencing Military-Political Situation of the South-East Ukraine on the Ecological State of Superficial Reservoirs

Information is resulted about quality of water objects of the south-east of Ukraine, exposed to the battle actions. Comparison of quality of water of reservoirs is executed with the use of index of contamination of water and transboundary and regional ecological risks are grounded.

Keywords: index of contamination of water, monitoring, ecocide, water, reservoir, war

References

1. Drozd G. Y., Hvortova M. Ju. Jekocid — neizbezhnyj rezul'tat voennyh konfliktov. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2015. No. 4. P. 36—43.
2. Drozd G. Y., Salukvadze I. N., Hvortova M. Ju. Jekocid kak rezul'tat genocida kievskoj voennoj hunty protiv Donbassa. *Jekologicheskij Vestnik Rossii*. 2016. No. 9. P. 30—42.
3. URL: <http://www.sdbuvr.slav.dn.ua/> (date of access 10.10.2016).
4. URL: <http://miaistok.su/v-lnr-proverili-kachestvo-vody-v-reke-severskij-donets/> (date of access 10.10.2016).
5. URL: <http://www.unian.net/war/1036351-iz-za-boevyih-deystviy-17-lesov-i-24-stepey-v-zone-ato-postradali-ot-pojarov-ekologi.html/> (date of access 10.10.2016).
6. URL: http://rusnext.ru/recent_opinions/1472592403/ (date of access 10.10.2016).

Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромнинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5397, тел./факс (499) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>

Телефон главного редактора (812) 670-9376(55), e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Технический редактор Е. М. Патрушева. Корректор Ю. Ф. Кравчинская

Сдано в набор 05.04.17. Подписано в печать 22.05.17. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ617.

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 солишнз".

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