

XXIII Международная Конференция

ПОЛИТЕХ

БВТ

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова

ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И ТРАНСПОРТЕ

7 - 11 сентября 2015 г.
г. Новороссийск
Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова

Тематика конференции

- Лазеры в медицине, биологии, геоэкологии
- Лазерные технологии на транспорте
- Системы обработки и анализа изображений и сигналов
- Компьютерные технологии
- Нанотехнологии
- Геотехнологии
- Техносферная безопасность
- Геоэкологический мониторинг

Желающие принять участие в работе конференции должны на сайте по адресу: <http://www.abrauconf.avtec.ru/zayavka.php> заполнить регистрационную форму, получить по электронной почте **Идентификационный номер**, по которому на сайте разместить тезисы доклада **не позднее 31 июля 2015 года**.

Второе извещение с программой будет разослано зарегистрировавшимся на сайте. Тезисы докладов без рисунков представляются только через сайт конференции <http://www.abrauconf.avtec.ru>

Вместе с тезисами через сайт конференции необходимо представить экспертное заключение о возможности публикации тезисов в открытой печати, отсканированное с разрешением не менее 200 dpi.

Адреса для контактов

Информационная поддержка журналы «Безопасность в техносфере», «Фотоника»

БВТ БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ

ФОТОНИКА

Привалов Валим Евгеньевич (Председатель Оргкомитета), Санкт - Петербург, 195251, ул. Политехническая, 29, С-ПбГПУ, РФФ, vae@pfs.yandex.ru

Туркин Владимир Антонович (Зам. председателя Оргкомитета), Новороссийск, 353918, проспект Ленина, 93, ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, т. (8617) 767838, факс (8617) 717273, vturkin@yandex.ru или vturka@yandex.ru

Шикина Анна Юрьевна (ученый секретарь), Новороссийск, 353918, проспект Ленина, 93, ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, т. (8617) 767838, факс (8617) 717273, ashikina@yandex.ru

Шеманин Валерий Геннадьевич, Новороссийск 353900, ул. К. Маркса, 20, НИИ КубГТУ, тел. (8617)613291, vshem@yandex.ru или vshem@kubgtu.ru

На правах рекламы



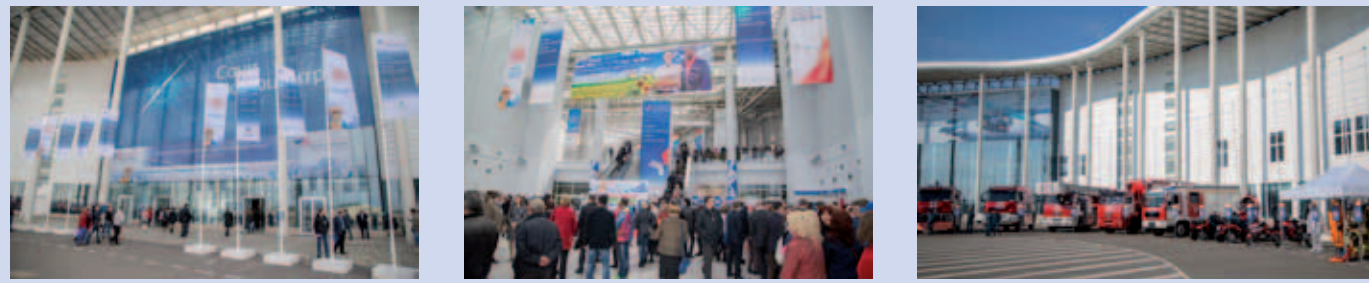
БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ 2/2015

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

Подписные индексы: «Роспечать» – 18316, «Пресса России» – 11237

- Расчетный анализ надежности стальных конструкций
- Сейсмическое воздействие взрывов на природно-технические объекты
- Тяжелые металлы в почвах в районах угольных предприятий
- Новые материалы для защиты от электромагнитных излучений
- Учет СИЗ от шума при оценке условий труда
- Прогнозирование природных ЧС на автомобильных дорогах
- Технологии обучения по направлению «Техносферная безопасность»

ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ОХРАНЫ ТРУДА
Сочи, 13–17 апреля 2015 г.



Основные мероприятия Недели проходили в Олимпийском Медиацентре



Открытие Недели

Министр Топилин М.А.

Директор Департамента Корж В.А.



Выступили представители международных организаций

Первый зам. министра Вельямкин С.Ф.

Президент Ассоциации «Эталон» Косарев О.А.



Панельные дискуссии, круглые столы, пресс-конференции

Подписаны соглашения



Награждения победителей конкурсов по охране труда

Студенческий форум и молодежная конференция



Студенты и преподаватели вузов России приняли активное участие в работе Недели

В рамках Недели прошла выставка достижений в области безопасности труда

К статье «Исследование влияния размеров и расположения локальных дефектов на изменение спектра частот собственных колебаний стальных конструкций» (стр. 3–15)

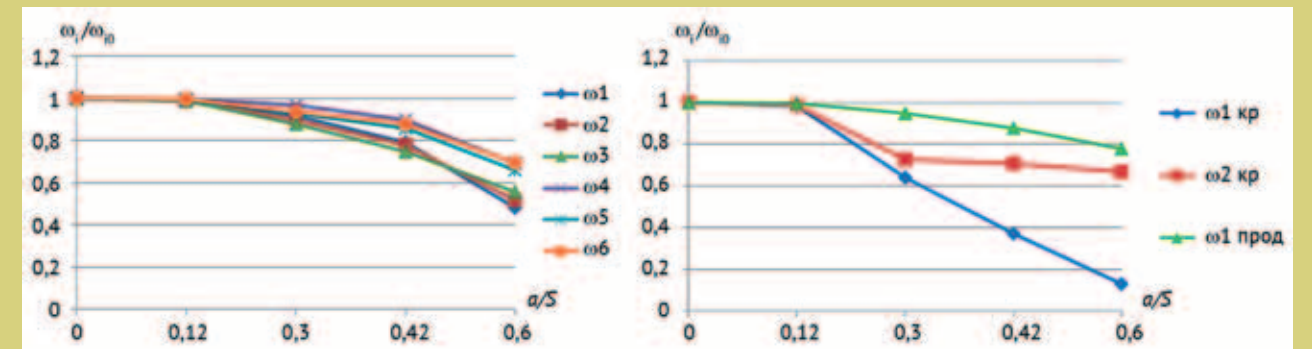


Рис. 10. Изменение всех частот в зависимости от размера отверстия при $h_1/l = 0,3$ и $h_2/l = 0,6$

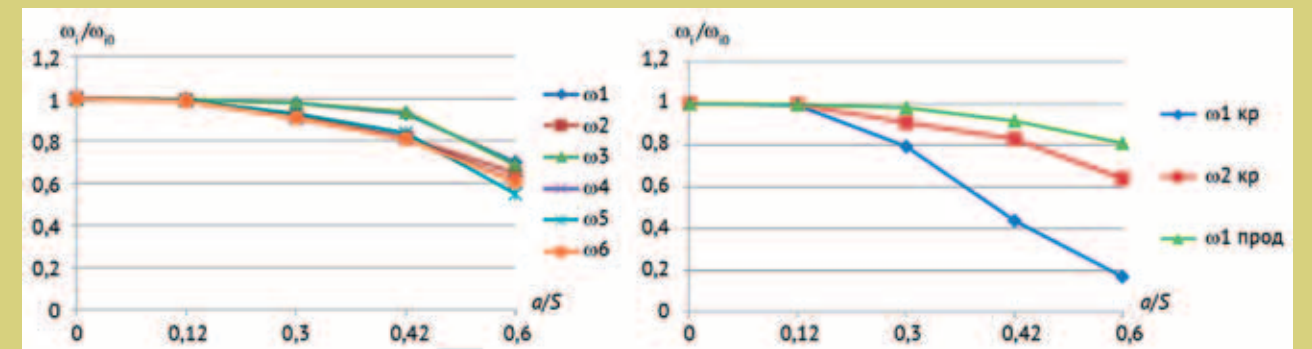


Рис. 11. Изменение всех частот в зависимости от размера отверстия при $h_1/l = 0,45$ и $h_2/l = 0,9$

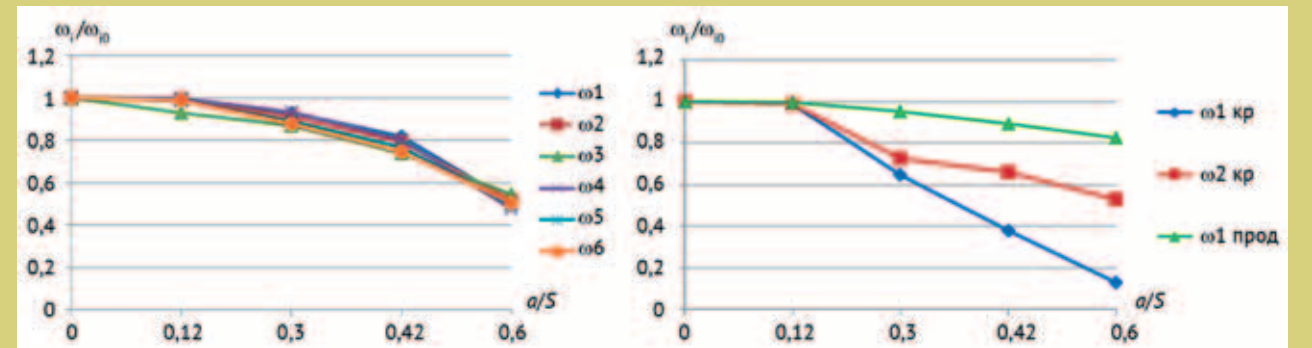


Рис. 12. Изменение всех частот в зависимости от размера отверстия при $h_1/l = 0,3$ и $h_2/l = 0,6$ $h_3/l = 0,9$

К статье «Методика прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций природного характера на сети автомобильных дорог» (стр. 73–82)



Рис. 1. Уровни риска наводнений на территории дорожной сети ГК Автодор (зеленый цвет – низший уровень, темно-бордовый – высший уровень риска).



Рис. 2. Уровни риска придорожных пожаров на территории дорожной сети ГК Автодор (более насыщенный красный цвет соответствует более высокому уровню риска).



Рис. 3. Нумерация сегментов дорожной сети при оценке возможного вреда от ЧС

БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ SAFETY IN TECHNOSPHERE



№ 2 (53)/2015

март–апрель

DOI 10.12737/issn.1998-071X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC, METHODICAL AND INFORMATION MAGAZINE

Свидетельство Роскомнадзора

ПИ № ФС77-44004

Издается с 2006 года

Учредитель:

Коллектив редакции журнала

Издается:

при поддержке МГТУ им. Н.Э. Баумана, УМО
вузов по университетскому политехническому
образованию и НМС по безопасности
жизнедеятельности Минобрнауки России

Главный редактор

Владимир Девисилов

Издатель:

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

Отдел предпечатной подготовки

Белла Руссо

Выпускающий редактор

Анастасия Путкова

Тел.: (495) 280-15-96 (доб. 501)

e-mail: 501@infra-m.ru

Отдел подписки

Маргарита Назарова

Тел.: (495) 280-15-96 (доб. 249)

e-mail: podpiska@infra-m.ru

Присланные рукописи не возвращаются.

Точка зрения редакции может не совпадать
с мнением авторов публикуемых материалов.

Редакция оставляет за собой право самостоятельно
подбирать к авторским материалам иллюстрации, менять
заголовки, сокращать тексты и вносить в рукописи необхо-
димую стилистическую правку без согласования с авторами.
Поступившие в редакцию материалы будут свидетельство-
вать о согласии авторов принять требования редакции.

Перепечатка материалов допускается
с письменного разрешения редакции.

При цитировании ссылка на журнал «Безопасность
в техносфере» обязательна.

Письма и материалы для публикации

высылать по адресу:

127282, Россия, Москва, ул. Полярная,

д. 31в, стр. 1, журнал «БВТ»

Тел.: (495) 280-15-96 (доб. 501)

Факс: (495) 280-36-29

e-mail: magbvt@list.ru, mag12@infra-m.ru,

bvt@magbvt.ru

Сайты журнала:

http://www.magbvt.ru, http://www.naukaru.ru

© ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»,
2015

Формат 60×84/8. Бумага офсетная № 1.

Тираж 1000 экз.

Подписные индексы:

в каталоге агентства «Роспечать» —

18316, объединенном каталоге

«Пресса России» — 11237

В номере In this issue

Контроль и мониторинг
CONTROL AND MONITORING

С.П. Суцев, В.В. Самарин, А.А. Суслонов, А.М. Новгородова

S.P. Suschov, V.V. Samarina, A.A. Suslonov, A.M. Novgorodova

**Исследование влияния размеров и расположения локальных дефектов
на изменение спектра частот собственных колебаний
стальных конструкций** 3

Change in the Natural Vibration Frequency Spectrum of the Steel Pipe

Mathematic Model Depending on Sizes, Location, and Number of Local Defects

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ECOLOGICAL SAFETY

Н.А. Осипова, Е.Г. Язиков, Н.П. Тарасова, К.Ю. Осипов

N.A. Osipova, E.G. Yazikov, N.P. Tarasova, K.Yu. Osipov

**Тяжелые металлы в почвах в районах воздействия угольных
предприятий и их влияние на здоровье населения** 16

*Heavy Metals in Soils Affected by Coal Enterprises and Their Impact
on Human Health*

Л.П. Степанова, Е.В. Яковлева, А.В. Писарева

L.P. Stepanova, E.V. Yakovleva, A.V. Pisarev

**Физико-химическая оценка восстановления плодородия
нарушенных серых лесных почв при их рекультивации** 27

*Physico-Chemical Evaluation of Fertility Restoration of Damaged
Gray Forest Soils Under Reclamation*

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
INDUSTRIAL SAFETY

Н.Н. Гриб, Г.В. Гриб, А.А. Сясько, А.В. Качаев

N.N. Grib, G.V. Grib, A.A. Syasko, A.V. Kachaev

**Сейсмическое воздействие массовых взрывов
на природно-технические объекты** 33

Large-Scale Blasts Seismic Load on Natural and Technical Objects

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА
OCCUPATIONAL SAFETY

Я.Г. Готлиб, Н.П. Алимов

Ya.G. Gotlib, N.P. Alimov

**О роли средств индивидуальной защиты органа слуха
от вредного воздействия производственного шума
при специальной оценке условий труда** 40

*About the Role of Personal Hearing Protection from Harmful Effects
of Industrial Noise in Special Assessment of Working Condition*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Александров Анатолий Александрович (Председатель совета), ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана, зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор

Алешин Николай Павлович, зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана, академик РАН, д-р техн. наук, профессор

Аткиссон Алан (Alan Atkisson) — Швеция (Sweden), Президент Atkisson Group, советник Комиссии ООН по устойчивому развитию, член Комиссии по науке и технологическому развитию при Президенте Еврокомиссии Жозе Мануэле Баррозу (EU Commission President's Council of Advisors on Science and Technology)

Бабешко Владимир Андреевич, зав. кафедрой Кубанского государственного университета, директор НЦ прогнозирования и предупреждения геологических и техногенных катастроф, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор

Бухтияров Игорь Валентинович директор НИИ медицины труда РАН, д-р мед. наук, профессор
Гарелик Хемда (Hemda Garelik) — Великобритания (United Kingdom), Professor of Environmental Science and Public Health Education, School of Health and Social Sciences (HSSC) Middlesex University, Programme Leader for Doctorate in Professional Studies Environment and Risk (HSSC), PhD.

Касимов Николай Сергеевич, декан географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, вице-президент Русского географического общества, зав. кафедрой, академик РАН, д-р геогр. наук, профессор

Махутов Николай Андреевич, главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, руководитель рабочей группы при Президиуме РАН по проблемам безопасности, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, профессор

Мейер Нильс И. (Niels I. Meer) — Дания (Denmark), профессор Датского технического университета (дат. Danmarks Tekniske Universitet, DTU, англ. Technical University of Denmark)

Соломенцев Юрий Михайлович, президент МГТУ «Станкин», зав. кафедрой, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, профессор

Тарасова Наталия Павловна, директор института проблем устойчивого развития, заведующая кафедрой РХТУ им. Д.И. Менделеева, чл.-кор. РАН, д-р хим. наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Васильев Андрей Витальевич, зав. кафедрой Самарского государственного технического университета, д-р техн. наук, профессор

Вараксин Алексей Юрьевич, заведующий отделением Объединенного института высоких температур РАН, чл.-кор. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор

Власов Валерий Александрович, секретарь Совета Безопасности Республики Татарстан, канд. техн. наук, профессор, генерал-лейтенант

Девисиллов Владимир Аркадьевич, доцент кафедры МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук

Дыганова Роза Яхиевна, зав. кафедрой Казанского государственного энергетического университета, д-р биол. наук, профессор

Дьяченко Владимир Викторович, заместитель директора по научной и учебной работе Новороссийского политехнического института (филиала) КубГТУ, профессор, канд. сел.-хоз. наук, д-р геогр. наук

Егоров Александр Федорович, зав. кафедрой РХТУ им. Д.И. Менделеева, д-р техн. наук, профессор

Козлов Николай Павлович, главный научный сотрудник НУК «Э» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук, профессор

Кручинина Наталия Евгеньевна, декан инженерного экологического факультета, зав. кафедрой РХТУ им. Д.И. Менделеева, канд. хим. наук, д-р техн. наук, профессор

Майстренко Валерий Николаевич, зав. кафедрой Башкирского государственного университета, чл.-кор. АН Республики Башкортостан, д-р хим. наук, профессор

Матягина Анна Михайловна, доцент Московского государственного университета гражданской авиации, канд. техн. наук

Никулин Валерий Александрович, исполнительный вице-президент Российской инженерной академии, ректор Камского института гуманитарных и инженерных технологий, д-р техн. наук, профессор

Павлихин Геннадий Петрович, д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана

Петров Борис Германович, руководитель Приволжского Управления Ростехнадзора, канд. техн. наук, профессор

Пушенко Сергей Леонардович, директор ИИЭС Ростовского государственного строительного университета, канд. техн. наук, профессор

Рахманов Борис Николаевич, профессор Московского государственного университета путей сообщения, д-р техн. наук

Реветрио Роберто (Roberto Revetrio) д-р наук (PhD), профессор Университета Генуи, Италия

Рубцова Нина Борисовна, заведующая научным координационно-информационным отделом ГУ НИИ медицины труда РАН, д-р биол. наук

Севастьянов Борис Владимирович, зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» Ижевского государственного технического университета, канд. пед. наук, д-р техн. наук, профессор

Сущев Сергей Петрович, генеральный директор ООО «Центр исследований экстремальных ситуаций», д-р техн. наук, профессор

Трофименко Юрий Васильевич, зав. кафедрой Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета), д-р техн. наук, профессор

Федорец Александр Григорьевич, директор Автономной некоммерческой организации «Институт безопасности труда», канд. техн. наук, доцент

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
METHODS AND MEANS OF SAFETY

А.Ю. Токарский, Н.Б. Рубцова

A.Yu. Tokarskiy, N.B. Rubtsova

Распределение напряжения вдоль отключенной и заземленной линии, наведенного электрическим полем параллельной линии . . 48
Distribution of Voltage Induced by Parallel Transmission Line Along Dead and Grounded Line

А.С. Торшин, В.В. Сафонов, Е.Ю. Буслаева, С.П. Губин

A.S. Torshin, V.V. Safonov, Y.Y. Buslaeva, S.P. Gubin

Применение наночастиц висмута для защиты текстильных материалов от СВЧ-излучения 56
Application of Bismuth Nanoparticles for Textile Materials Protection Against Microwave Radiation

Л.Н. Григорьев, О.А. Шанова, Л.Г. Веренцова

L.N. Grigoriev, O.A. Shanova, L.G. Verentsova

Очистка сточных вод от стрептомицина адсорбционным методом . . 62
Wastewater Purification from Streptomycin Through Adsorption Method

ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
TRANSPORT SAFETY

С.А. Бурцев, М.Ю. Самойлов, М.В. Симаков

S.A. Burtsev, M.Yu. Samoylov, M.V. Simakov

Анализ экологических аспектов применения перспективных схем силовых установок ближне- и среднемагистральных самолетов 67
Ecological Aspects of Implementing Prospective Propulsion Schemes of Short and Medium Haul Aircrafts

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ
EMERGENCY

Ю.В. Трофименко, А.Н. Якубович

Yu.V. Trofimenko, A.N. Yakubovich

Методика прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций природного характера на сети автомобильных дорог 73
A Method of Predicting Risk of Natural Emergencies on Road Network

ОБРАЗОВАНИЕ
EDUCATION

С.С. Тимофеева, С.С. Тимофеев

S.S. Timofeeva, S.S. Timofeev

Информационные и коммуникационные технологии в образовательном процессе по направлению «Техносферная безопасность» 83
Information and Communication Technologies in the Educational Process of «Technosphere Safety»

ИНФОРМИРУЕМ ЧИТАТЕЛЯ
INFORMATION

Итоги первой Всероссийской недели охраны труда 88
First Russian Health and Safety Week: Key Takeaways

Журнал «Безопасность в техносфере» включен в перечень ведущих научных журналов, в которых по рекомендациям ВАК РФ должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, а также в американскую базу периодических и продолжающихся изданий Ulrich's.

Исследование влияния размеров и расположения локальных дефектов на изменение спектра частот собственных колебаний стальных конструкций

С.П. Суцев, генеральный директор, д-р техн. наук, профессор

В.В. Самарин, главный научный сотрудник, д-р техн. наук, профессор

А.А. Суслонов, начальник отдела, канд. техн. наук

А.М. Новгородова, старший инженер

ООО «Центр исследования экстремальных ситуаций», г. Москва

e-mail: esrc@esrc.ru

Ключевые слова:

дефект,
частота собственных колебаний,
спектр частот,
генетическая нелинейность,
колебания,
мониторинг,
предельное состояние,
пороговое значение,
объекты,
дефект,
повреждение.

В статье рассмотрены вопросы, связанные с исследованием влияния размера и расположения локальных дефектов на изменение спектра частот собственных колебаний модели стальной трубы, закрепленной на одном торце. Исследования выполнены с использованием метода конечных элементов (МКЭ) и вычислительного комплекса SCAD. Установлена нелинейная зависимость частот собственных колебаний от размера дефекта и места его расположения. Такая нелинейность в процессе накопления дефектов относится к генетической нелинейности. Выполненные исследования показали, что при мониторинге основных динамических характеристик в процессе эксплуатации сооружения по характеру их изменения можно определить масштаб и расположение дефектов.

1. Предисловие

Сложные инженерные сооружения и здания в процессе эксплуатации испытывают значительные статические и динамические нагрузки, которые часто приводят к изменению их положения в пространстве, к нарушению целостности, образованию локальных и площадных повреждений и дефектов, а иногда и к разрушению. Поэтому своевременный неразрушающий контроль за состоянием несущих конструкций с помощью современных автоматизированных средств диагностики позволяет оперативно реагировать на изменение динамических характеристик сооружений и своевременно предупреждать чрезвычайные ситуации.

Известно, что частоты и формы собственных колебаний являются важнейшими динамическими характеристиками конструкций. Зная частоты и формы собственных колебаний, инженер в общем случае имеет возможность решать различные задачи. Остановимся на двух из них.

Первая задача состоит в том, что, зная частоты и формы, а также возмущающие нагрузки, можно не

только полностью провести динамический расчет конструкции, но и предусмотреть возможные мероприятия по уменьшению ее колебания. При этом результаты расчетов, например, на гармонические нагрузки при резонансе или вблизи резонанса очень чувствительны к малейшим изменениям характеристик рассчитываемой динамической системы, ибо даже небольшое изменение собственных частот может во много раз увеличить или уменьшить амплитуду колебаний [1]. Поэтому при расчете на периодические нагрузки обязательно должна учитываться возможная неточность в определении собственных частот, а также возможность изменения собственных частот конструкций в процессе эксплуатации здания или сооружения.

Вторая задача, учитывая, что частоты и формы собственных колебаний непосредственно связаны с жесткостью конструкции, которая в свою очередь зависит от модуля деформации и геометрических характеристик, состоит в том, что изменения частот (или периодов) собственных колебаний и других динамических характеристик в процессе эксплуатации

конструкции «...могут быть использованы в качестве индикаторов и симптомов для конструкций до некоторой степени в том смысле, в каком врачи используют пульс, давление крови, температуру тела и т. д. для целей диагноза» [2], т. е. данные об изменении частот и форм собственных колебаний конструкций, по-видимому, могут использоваться в процессе мониторинга находящихся в эксплуатации зданий и сооружений.

Существует несколько способов возбуждения колебаний сооружений для записи их динамических характеристик. Часто испытания проводятся с помощью вибромашин или микросейсмических воздействий. В [3] подробно описаны достоинства и недостатки этих способов. Однако отметим, что каким бы способом ни были определены частоты и формы собственных колебаний и особенно их изменение в процессе эксплуатации сооружения, вопрос об интерпретации этих изменений, т. е. выяснение причин такого изменения частот собственных колебаний, остается актуальным.

В связи с этим обращает на себя внимание одно существенное противоречие, заключающееся в том, что, с одной стороны, как указывалось выше, даже небольшое изменение собственных частот может во много раз увеличить или уменьшить амплитуду колебаний. С другой стороны, существующая нормативная и справочная литература, например [1], рекомендует величину возможной погрешности определения частот принимать равной от 0,15 до 0,35 в зависимости от конструкции и ее расчетной схемы.

По-видимому, существует несколько вариантов решения этого противоречия, в первую очередь путем установления основных закономерностей изменения частот собственных колебаний, как правило, их уменьшения в процессе эксплуатации сооружения. При этом следует отметить, что такие общие рассуждения, как, например, о том, что уменьшается жесткость конструкции из-за появления трещин в бетоне и кирпиче или пластических деформаций в металлах, что приводит к нелинейному поведению конструкции и уменьшению частот собственных колебаний, не могут решить проблемы, так как не содержат никаких количественных оценок. Одним из путей решения этой проблемы является комплексное изучение поведения конструкции при контролируемом изменении ее состояния с фиксацией частот собственных колебаний, соответствующих каждому измененному состоянию.

К работам такого направления можно отнести исследования, выполненные в Японии и США. На натуральных сооружениях, подлежащих сносу, определялась действительная разрушающая нагрузка на здания, изменение жесткости, периоды колебаний

и затухания в процессе накопления повреждений [4]. В табл. 1 представлены данные этих и некоторых других натуральных испытаний в начале и конце эксперимента, когда в зданиях начиналось прогрессирующее нарастание пластических деформаций, трещин и других повреждений. В этой таблице даны отношения частот в конце эксперимента к частотам в начале эксперимента для некоторых типов испытываемых объектов. Диапазон изменения этих отношений составляет от 0,7 до 0,26.

В [5] представлены вибрационные испытания различных типов специальных конструкций вплоть до разрушения с помощью малого вибратора и большой вибромашин. Результаты изменения основных частот собственных колебаний в процессе испытаний представлены в табл. 2 [5]. Там же даны отношения частот в конце эксперимента к частотам в начале эксперимента. Диапазон изменения этих отношений составляет от 0,514 до 0,19. При этом в крупноблочных железобетонных конструкциях во время испытаний не наблюдалось никаких разрушений в несущих элементах конструкции, исключая волосные трещины в растворных швах. В кирпичной конструкции при частоте 4,44 Гц (табл. 2), что составило 0,64 от первоначальной частоты, наблюдались волосные трещины на уровне чердачного перекрытия двухэтажного здания, а при частоте 2,3 Гц (0,43 от первоначальной) образовалась полная разрушительного типа трещина по всей стене до самого фундамента. В предварительно напряженной железобетонной каркасной конструкции при частоте колебаний 4,2 Гц (0,88 от первоначальной) наблюдались трещины; при частоте колебаний 3,096 Гц (0,65 от первоначальной) произошло разрушение от изгиба в основании колонны; при частоте колебаний 2,28 Гц (0,48 от первоначальной) произошло резкое внезапное разрушение двухэтажного здания.

Таблица 1
Данные натуральных испытаний

Характеристика испытываемого объекта	Частота собственных колебаний, Гц		
	в начале эксперимента (1)	в конце эксперимента (2)	отношение (2)/(1)
Рама без заполнения	3,57	2,43	0,68
Рама с заполнением	5,56	3,45	0,62
Рама без заполнения	7,14	3,45	0,48
Железобетонная стена-диафрагма	7,14	5,00	0,70
Железобетонные каркасные здания	10–6,67	4–4	0,4–0,6
Фрагмент крупнопанельных зданий в 1/4 натуральной величины	10–14,3	3,57–3,7	0,36–0,26
Среднее значение			0,512

Вибрационные испытания конструкций различного типа

№ п/п	Тип испытаний Конструкция	Направление	Частота собственных колебаний (Гц) (малый вибратор)			Частота собственных колебаний (Гц) (большая вибромашина)			
			начало испытаний (1)	конец испытаний (2)	отношение (2)/(1)	начало испытаний (3)	отношение (3)/(1)	конец испытаний (4)	отношение (4)/(1)
1	Однопустотные железобетонные блоки	С-Ю	5,62	5,35	0,95	3,5	0,62	2,35	0,42
		В-З	6,33	6,17	0,98	3,76	0,594	2,35	0,37
2	Железобетонные блоки	С-Ю	5,85	5,75	0,98	3,55	0,606	2,41	0,41
		В-З	6,29	6,13	0,98	3,55	0,56	2,41	0,38
3	Железобетонный блочный каркас	С-Ю	5,62	5,52	0,98	3,096	0,55	2,62	0,47
		В-З	5,49	5,15	0,94	3,096	0,56	2,62	0,48
4	Кирпич	С-Ю	5,35	4,57	0,85	3,44	0,64	2,3	0,43
		В-З	5,18	5,08	0,98	3,44	0,66	2,3	0,44
5	Железобетонный сборный каркас	С-Ю	4,88	4,81	0,985	2,52	0,52	0,91	0,19
		В-З	4,37	3,91	0,89	2,19	0,5	0,91	0,21
6	Легкий металлический каркас	С-Ю	3,57	3,03	0,85	2,3	0,64	1,1	0,31
		В-З	–	–	–	–	–	–	–
7	Предварительно напряженная железобетонная каркасная конструкция	С-Ю	4,78	4,2	0,88	3,096	0,65	2,28	0,48
		В-З	4,59	4,4	0,96	3,38	0,74	2,36	0,514
<i>Среднее значение</i>								0,369	

Таким образом, выполненные натурные испытания показали, что при резонансном нагружении сначала образуются небольшие локальные дефекты в виде трещин, которые незначительно снижают основные частоты собственных колебаний. Дальнейшее разрастание этих локальных дефектов приводит к более существенному снижению частот. К сожалению, в [5] исследовалось поведение только одной основной частоты собственных колебаний. Как при этом изменялись другие частоты, неизвестно.

В процессе эксплуатации зданий и сооружений металл, железобетон, кирпич и другие материалы подвержены коррозии, что может привести к существенному локальному уменьшению толщины конструкции или как, например, в дымовых металлических трубах к сквозным прогарам различных размеров. Внутренние пустоты в кирпичной кладке могут быть фактором, уменьшающим ее модуль упругости. Эти и другие локальные дефекты, снижающие жесткость конструкций, могут стать причиной уменьшения частот собственных колебаний.

Исследованию влияния локальных дефектов на изменение частот собственных колебаний конструкций посвящена настоящая работа. Основная цель: установить с помощью вычислительного эксперимента закономерность изменения частот собственных колебаний простейшей упругой конструкции в виде заземленной на одном торце металлической трубы-оболочки в зависимости от размера одиночного локального дефекта (сквозного квадратного отверстия в стенке трубы) и места расположения этого дефекта относительно заделки, а также от двух и трех

одинаковых отверстий, различным способом размещенных по высоте трубы.

2. Постановка вычислительного эксперимента и исходные данные

Для проведения вычислительного эксперимента в качестве объекта исследования была принята металлическая труба (рис. 1), заземленная снизу. В случае отсутствия каких-либо дефектов ее можно рассматривать как стержень постоянного сечения, для которого аналитически можно вычислить все частоты

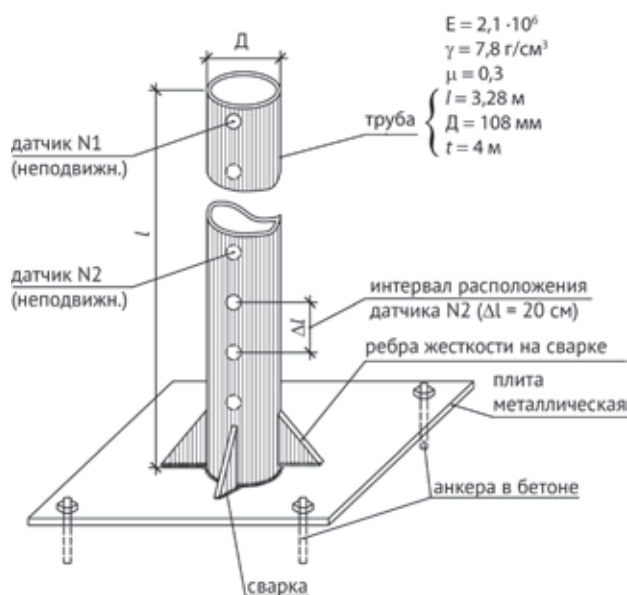


Рис. 1. Схема трубы и установки датчиков

и формы собственных поперечных, крутильных и продольных колебаний [6].

Однако при наличии каких-либо отверстий в трубе использование аналитических методов вызывает большие трудности, так как необходимо решать задачу о колебаниях стержня с переменным неосесимметричным поперечным сечением в месте расположения дефекта. В связи с этим предлагается решать пространственную упругую задачу, в которой труба рассматривается как цилиндрическая тонкостенная оболочка с заземленным одним концом, численным методом конечных элементов (МКЭ) с использованием вычислительного комплекса SCAD (версия 7.31R3) [7].

С этой целью вся труба — цилиндрическая оболочка — разбивается на конечные четырехугольные оболочные элементы с размерами ячейки регулярной сетки 2×2 см. При длине окружности трубы $S = 2\pi R \approx 34$ см в расчетной схеме будет 17 конечных элементов в кольцевом направлении, а по высоте трубы ($l = 3,28$ м) — 164 таких кольца, т. е. всего расчетная схема МКЭ имеет 2788 конечных элементов (рис. 2).

Прежде чем исследовать изменение частот в трубе-оболочке с дефектами, была выполнена оценка достоверности результатов и возможности использования предлагаемой расчетной схемы МКЭ. Для этого труба сначала была взята без дефектов, что позволило рассматривать ее как стержень постоянного сечения. В таком стержне, во-первых, аналитически [6] было вычислено десять первых частот поперечных колебаний, три частоты крутильных и три частоты продольных собственных колебаний (табл. 3). Во-вторых, численным методом для этого же стержня, состоящего из 10 конечных стержневых элементов, были определены те же частоты, кроме крутильных (табл. 3).

Кроме того, в лаборатории были выполнены натурные испытания¹ этой гладкой без дефектов заземленной металлической трубы (рис. 3) для определения трех первых частот и форм поперечных

Таблица 3
Результаты аналитических расчетов и эксперимента

Тип колебания	№ формы колебания	ТЕОРИЯ				ЭКСПЕРИМЕНТ			
		Аналитический стержень	численно МКЭ (SCAD)		Гц	% (*)	Гц	% (*)	
			Гц	% (*)					оболочка
Поперечные колебания	ω_{10}	9,72	9,795	0,82	10,02	3,09	8,71	-11,4	
	ω_{20}	60,9	60,7	-0,32	62,11	1,99	55,86	-8,27	
	ω_{30}	170,5	118,27	-1,3	171,11	0,35	155,5	-8,8	
	ω_{40}	334,14	326,3	-2,34	327,74	-1,91	-	-	
	ω_{50}	552,36	533,4	-3,43	527,02	-4,6	-	-	
	ω_{60}	825,08	786,05	-4,73	762,76	-7,5	-	-	
	ω_{70}	1152,38	1076	-6,63	-	-	-	-	
	ω_{80}	1534,24	1382,7	-9,88	-	-	-	-	
	ω_{90}	1970,65	1665,7	-15,4	-	-	-	-	
	ω_{100}	2461,6	1897	-22,9	-	-	-	-	
Крутильные колебания	$\omega_1^{кр}$	240,0	-	-	237,65	-1	-	-	
	$\omega_2^{кр}$	722,0	-	-	712,93	-1,26	-	-	
	$\omega_3^{кр}$	1203,4	-	-	-	-	-	-	
Продольные колебания	$\omega_1^{прод}$	388,0	389,07	0,26	389,54	0,3	-	-	
	$\omega_2^{прод}$	1164,28	1157,63	-0,57	-	-	-	-	
	$\omega_3^{прод}$	1940,46	1867	-3,8	-	-	-	-	

(*) — расхождение в % с точным аналитическим решением для стержня постоянного сечения;

Курсивом выделены значения частот, взятых за исходные для гладкой трубы-оболочки (без дефектов) при всех дальнейших сравнениях.

колебаний. Эксперимент проводился с использованием разработанного сотрудниками ООО «Центр исследования экстремальных ситуаций» мобильного диагностического комплекса «Стрела-2», который со-

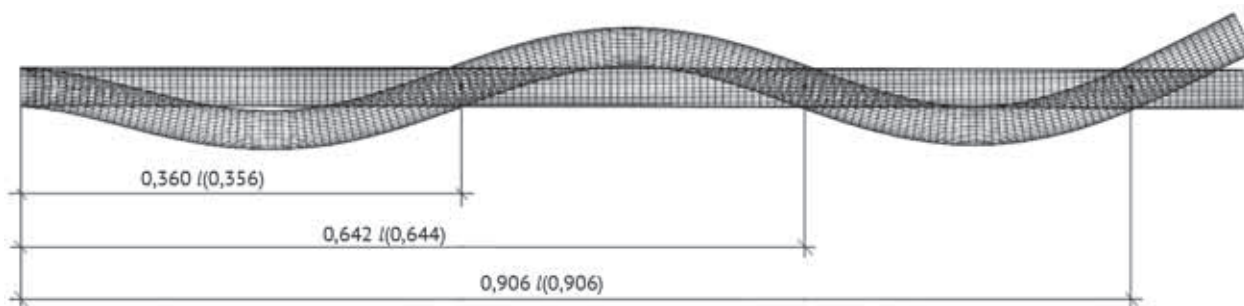


Рис. 2. Труба без дефектов. Частота $\omega = 327,745$ Гц (4 форма поперечных колебаний)

¹ Работы выполнялись совместно с кандидатом технических наук Сотиним В.Н.

стоит из следующих элементов: трехкомпонентных сейсмовибрационных датчиков; соединительных кабелей; многоканального аналого-цифрового преобразователя; компьютера с пакетом программ для анализа сейсмовибрационных сигналов.

С помощью датчиков колебаний осуществлялась регистрация амплитудно-временных зависимостей колебаний трубы, вызванных легким ударом по ней. Затем эти зависимости обрабатывались на ПЭВМ с использованием программного обеспечения «Стрела-2». При этом датчики располагались на трубе следующим образом (рис. 1, 3): в верхней части трубы на отметке 3,25 м датчик N1, который во время эксперимента оставался неподвижным; датчик N2 перемещался вниз по образующей и устанавливался по высоте трубы через каждые 20 см (от отметки 3,2 м до отметки 0,2 м) и на отметке 0,05 м (около защемления). В результате обработки экспериментальных данных получены три первые частоты (табл. 3) и три формы собственных колебаний.

Анализ всех полученных результатов по определению частот собственных колебаний стержня без дефектов и представленных в табл. 3 показывает, что все три способа (один аналитический и два численных) теоретического определения шести первых собственных частот поперечных колебаний, двух частот крутильных и трех частот продольных колебаний дают близкие результаты:

- максимальное расхождение по поперечным частотам составляет 7,5% (для шестой формы колебаний оболочки);
- максимальное расхождение по двум частотам крутильных колебаний составляет 1,26%;
- максимальное расхождение по частотам трех форм продольных колебаний — 3,8%.

Натурный эксперимент по определению частот поперечных колебаний показал, что наибольшее расхождение с теорией имеет собственная частота по первой форме колебаний (11,4%). По-видимому, это результат не совсем качественного устройства защемления на натуре. Но так как в дальнейшем выполнялись только вычислительные эксперименты, этот факт не имеет существенного значения.

Сравнение форм (эпюр) колебаний, полученных разными способами, показало вполне удовлетворительную сходимость. При этом координаты узловых точек в формах собственных колебаний, вычисленные в стержне аналитически, практически точно совпадают с координатами узлов, полученными в трубе-оболочке МКЭ. Для примера на рис. 2 приведены координаты узловых точек для четвертой формы колебаний.

Выполненное сравнение показывает, что принятая расчетная схема, состоящая из 2788 конечных элемен-



Рис. 3. Стальная труба с защемлением на одном торце

тов, вполне приемлема и может быть использована для исследования первых шести форм поперечных, двух форм крутильных и одной формы продольных колебаний при наличии в трубе-оболочке локальных дефектов (отверстий). Полученные частоты колебаний гладкой без дефектов трубы-оболочки, приведенные в табл. 3, принимались в дальнейших исследованиях за исходные, с которыми сравнивались все остальные частоты, полученные для трубы-оболочки с дефектами.

Места расположения отверстий по высоте трубы выбирались таким образом, чтобы они были, во-первых, равномерно распределены по высоте трубы, во-вторых, по возможности как можно ближе к узловым точкам и точкам с максимальными амплитудами пяти первых форм собственных поперечных колебаний. В расчетах интервал расположения отверстий по высоте трубы-оболочки взят равным $h = 0,5$ м, или в относительных величинах $h/l \approx 0,15$. Таким образом, относительные отметки, на которых последовательно располагались одиночные отверстия, принимались $h/l = 0,15; 0,3; 0,45; 0,6; 0,75$ и $0,9$.

Размер отверстия изменялся на каждой отметке следующим образом. Чтобы как можно меньше вносить изменений в расчетную сетку конечных элемен-

тов, сторона (a) квадратного отверстия принималась кратной размеру ячейки, т. е. $a = 4$ см (2 ячейки); 10 см (5 ячеек), 14 см (7 ячеек) и 20 см (10 ячеек) или в относительных величинах: $a/S = 0,12; 0,3; 0,42$ и $0,60$.

3. Анализ результатов вычислительного эксперимента при наличии одного локального дефекта

Для определения частот и форм колебаний использован метод модального анализа, входящий в вычислительный комплекс SCAD [7]. Последовательность проводимого машинного эксперимента при наличии одного локального дефекта была такой.

Начиная с $h/l = 0,15$ ($h = 0,5$ м), последовательно, при дефекте с $a/S = 0,15$ ($a = 4$ см) из расчетной сетки конечных элементов убиралось 4 конечных элемента, и выполнялся модальный анализ, при котором на печать выдавались значения частот и ординат форм колебаний. Затем для перехода к следующему разме-

ру дефекта (увеличенного) ($a/S = 0,3$) на этой же высоте из расчетной схемы исключалось уже 25 конечных элементов, и выполнялся модальный анализ для определения частот и форм колебаний. Точно так же последовательно, исключая из расчетной схемы 49 и 100 конечных элементов, выполнялся модальный анализ для $a/S = 0,42$ и $a/S = 0,60$.

Описанный выше процесс расчета с одиночным дефектами на высоте $h/l = 0,15$ полностью повторялся и при расположении дефектов на отметках $h/l = 0,3; 0,45; 0,6; 0,75$ и $0,9$. Полученные значения частот собственных колебаний сведены в табл. 4. В ней приведены значения отношения полученных частот с локальным дефектом к частотам в гладкой (без дефектов) трубе-оболочке.

В процессе выполнения машинного эксперимента на печать выдавались все формы колебаний при каждом локальном дефекте. Для примера на рис. 4 приведе-

Таблица 4

Значения отношения полученных частот с локальным дефектом к частотам в гладкой (без дефектов) трубе-оболочке

Относительная отметка, где расположен дефект h/l	Значение частоты с дефектом (ω_i) и ее отношение к соответствующей частоте без дефектов (ω_i/ω_{i0}) в зависимости от относительного размера дефекта (a/S)							
	$a/S = 0,12$		$a/S = 0,3$		$a/S = 0,42$		$a/S = 0,60$	
	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i0}
$i = 1 \quad \omega_{10} = 10,02$ Гц (I форма поперечных колебаний)								
0,15	9,90	0,99	8,84	0,88	7,27	0,73	4,11 (*)	0,41
0,30	9,95	0,945	9,26	0,93	8,12	0,81	5,08	0,51
0,45	9,99	1,00	9,66	0,97	8,99	0,90	6,55	0,66
0,60	10,02	1,00	9,93	0,99	9,71	0,97	8,32	0,83
0,75	10,03	1,00	10,07	1,00	10,09	1,00	10,06	1,00
0,90	10,04	1,00	10,16	1,02	10,30	1,03	10,596	1,06
$i = 2 \quad \omega_{20} = 62,11$ Гц (II форма поперечных колебаний)								
0,15	62,03	1,00	60,91	0,98	56,96	0,92	30,14	0,485
0,30	62,03	1,00	60,89	0,98	58,29	0,94	54,60	0,88
0,45	61,67	0,99	57,05	0,92	50,84	0,82	40,16	0,65
0,60	61,64	0,99	56,56	0,91	48,98	0,79	33,80	0,54
0,75	61,92	0,999	59,60	0,96	54,90	0,88	45,00	0,725
0,90	62,17	1,00	62,39	1,00	62,50	1,00	60,87	0,98
$i = 3 \quad \omega_{30} = 171,09$ Гц (III форма поперечных колебаний)								
0,15	170,96	0,990	170,64	0,997	167,94	0,98	150,92	0,882
0,30	170,06	0,995	160,03	0,935	148,96	0,87	135,29	0,79
0,45	170,96	0,999	169,50	0,99	166,08	0,97	151,33	0,885
0,60	170,21	0,995	162,28	0,948	152,48	0,894	137,15	0,80
0,75	169,65	0,992	154,88	0,90	136,16	0,796	117,13	0,685
0,90	171,08	1,00	169,64	0,99	164,99	0,964	130,40	0,762
$i = 4 \quad \omega_{40} = 327,74$ Гц (IV форма поперечных колебаний)								
0,15	326,90	0,997	315,67	0,963	295,12	0,900	256,71	0,78
0,30	327,22	1,00	321,26	0,98	309,35	0,940	268,15	0,82

Относительная отметка, где расположен дефект h/l	Значение частоты с дефектом (ω_i) и ее отношение к соответствующей частоте без дефектов (ω_i/ω_{i0}) в зависимости от относительного размера дефекта (a/S)							
	$a/S = 0,12$		$a/S = 0,3$		$a/S = 0,42$		$a/S = 0,60$	
	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i0}
0,45	325,78	0,994	306,69	0,935	284,50	0,870	251,70	0,77
0,60	327,23	0,998	323,00	0,986	311,06	0,950	263,70	0,805
0,75	325,28	0,993	305,56	0,93	287,43	0,880	265,20	0,81
0,90	327,20	0,998	317,98	0,97	294,26	0,898	231,66	0,707
$i = 5 \quad \omega_{50} = 527,74$ Гц (V форма поперечных колебаний)								
0,15	524,56	0,995	509,02	0,97	503,77	0,960	506,24	0,98
0,30	525,92	0,998	504,42	0,96	495,81	0,940	439,39	0,834
0,45	526,06	0,998	515,90	0,98	496,40	0,940	422,12	0,80
0,60	523,60	0,994	498,99	0,95	485,40	0,920	484,50	0,92
0,75	526,00	0,998	517,06	0,98	491,38	0,940	424,70	0,80
0,90	525,26	0,995	498,84	0,95	459,23	0,860	419,66	0,795
$i = 6 \quad \omega_{60} = 762,76$ Гц (VI форма поперечных колебаний)								
0,15	759,65	0,996	739,72	0,97	725,13	0,95	681,57	0,89
0,30	758,16	0,99	727,30	0,95	753,29	1,00	714,93	0,94
0,45	762,29	1,00	737,54	0,97	706,52	0,93	650,98	0,85
0,60	761,50	0,998	750,90	0,98	702,65	0,92	566,28	0,74
0,75	760,27	0,997	750,63	0,984	700,74	0,92	629,04	0,82
0,90	759,57	0,99	709,06	0,93	660,12	0,86	571,49	0,75
$i_{кр} = 1 \quad \omega_{10}^{кр} = 237,65$ Гц (I форма крутильных колебаний)								
0,15	234,76	0,99	188,06	0,79	102,6	0,43	69,32	0,29
0,30	235,26	0,99	169,13	0,71	103,47	0,435	68,38	0,29
0,45	236,03	0,99	191,39	0,80	103,33	0,435	57,42	0,24
0,60	236,83	0,997	199,24	0,84	118,04	0,497	56,43	0,24
0,75	237,50	0,999	218,00	0,92	172,57	0,73	159,40	0,67
0,90	237,93	1,00	236,74	0,996	219,95	0,93	185,84	0,78
$i_{кр} = 2 \quad \omega_{20}^{кр} = 712,93$ Гц (II форма крутильных колебаний)								
0,15	707,92	0,993	619	0,87	578,29	0,81	572,69	0,8
0,30	713,74	1,00	711,30	1,00	704,95	0,99	706,06	0,99
0,45	710,58	0,997	621,28	0,87	588,28	0,83	572,82	0,80
0,60	703,74	0,99	503,72	0,71	438,10	0,61	420,70	0,59
0,75	704,63	0,99	561,36	0,79	545,75	0,77	529,63	0,74
0,90	712,24	1,00	607,10	0,85	555,19	0,78	504,95	0,71
$i_{прод} = 1 \quad \omega_{10}^{прод} = 389,54$ Гц (I форма продольных колебаний)								
0,15	387,78	0,995	372,95	0,96	358,63	0,92	332,77	0,85
0,30	388,17	0,997	374,90	0,96	359,78	0,92	323,14	0,83
0,45	388,74	0,998	381,72	0,98	375,40	0,96	356,70	0,92
0,60	389,27	1,00	383,56	0,985	373,99	0,96	352,10	0,90
0,75	389,77	1,00	390,35	1,00	391,38	1,00	393,90	1,01
0,90	390,06	1,00	392,41	1,00	394,09	1,04	385,46	1,01

(*) Курсивом выделено пороговое значение частоты.



Рис. 4. Отверстие на отметке 2 м. Размер отверстия 10×10 см. Частота $\omega = 323,06$ Гц. (4-я форма поперечных колебаний)

на 4-я форма поперечных колебаний трубы-оболочки с локальным дефектом размером 10×10см ($a/S = 0,3$), расположенным на высоте 2 м от заземления ($h/l = 0,6$).

При анализе изменения основной (первой) частоты поперечных колебаний в зависимости от высоты расположения одиночного дефекта и его размера (рис. 5) обнаружено следующее. Как и следовало ожидать, наибольшее снижение этой частоты ($1/10 = 0,41$) произошло при расположении самого большого дефекта ($a/S = 0,6$) в самой нижней части трубы-оболочки ($h/l = 0,15$). Кроме того, оказалось, что при расположении любого дефекта на отметках $h/l = 0,75$ и $0,9$ основная (первая) частота поперечных колебаний практически не изменяется. Не изменяется частота и при самом малом дефекте ($a/S = 0,12$), находящемся на любой высоте. При остальных значениях размера дефекта и высоты его расположения происходит достаточно плавное изменение первой частоты от максимального значения к минимальному при увеличении дефекта и приближении его к заземлению (рис. 5).

Анализ изменения второй частоты поперечных колебаний (рис. 5) показывает, что эти изменения существенно отличаются от изменения первой (основ-

ной частоты) в зависимости от размера дефекта и высоты его расположения, хотя наибольшее снижение этой частоты ($\omega_2/\omega_{20} = 0,485$) наблюдается при самом большом размере дефекта ($a/S = 0,6$), расположенного ближе всего к заземлению ($h/l = 0,15$). Но в отличие от первой частоты в этом случае поверхность, описывающая изменение частоты, не плавная, а имеет гребень (при $h/l = 0,3$) и впадину (при $h/l = 0,6$) (рис. 6).

Анализ изменения третьей частоты поперечных колебаний (рис. 7) показывает, что наибольшее снижение этой частоты ($\omega_3/\omega_{30} = 0,685$) наблюдается при самом большом дефекте ($a/S = 0,60$), когда он расположен на отметке $h/l = 0,75$. В этом случае поверхность изменения 3-й частоты (рис. 7) в зависимости от размера и места расположения дефекта представляет собой складчатую структуру с более плавными изменениями от гребней к впадинам, чем у 2-й формы (см. рис. 6).

Анализ изменения четвертой, пятой и шестой форм колебаний показывает, что влияние высоты расположения и размера отверстия существенно меньше, чем для первых трех форм колебаний. Исключение составляет отверстие размером $a/S = 0,60$,

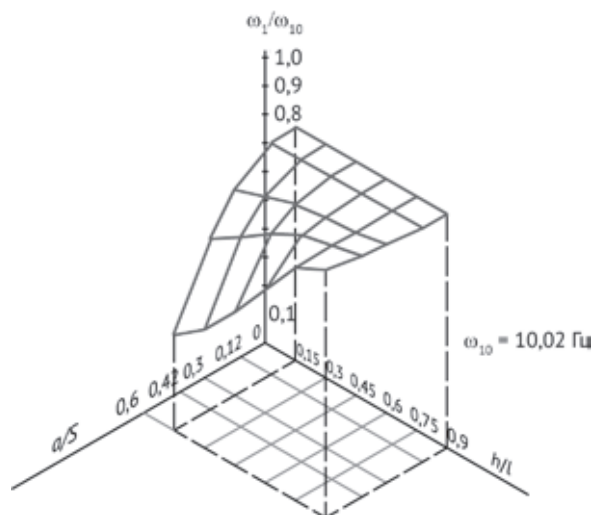


Рис. 5. Изменение основной (первой) частоты поперечных колебаний в зависимости от размера (a/S) и высоты расположения одиночного отверстия h/l

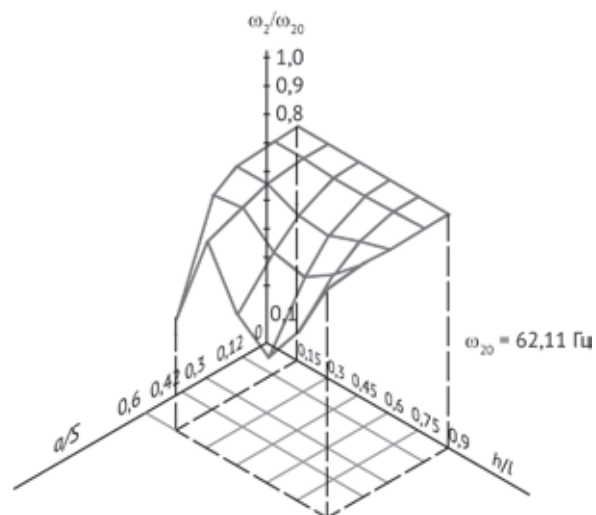


Рис. 6. Изменение второй частоты поперечных колебаний в зависимости от размера (a/S) и высоты расположения одиночного отверстия h/l

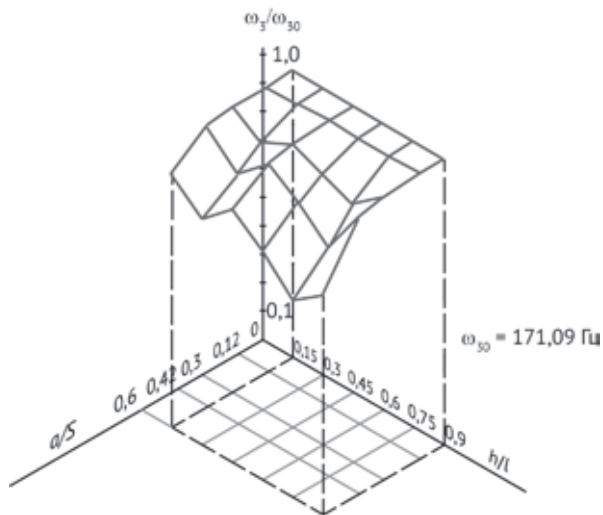


Рис. 7. Изменение третьей частоты поперечных колебаний в зависимости от размера (a/S) и высоты расположения одиночного отверстия h/l

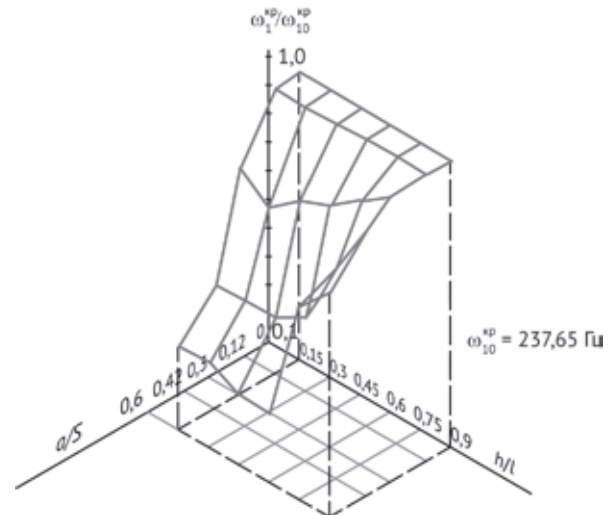


Рис. 8. Изменение первой крутильной частоты в зависимости от размера (a/S) и высоты расположения одиночного отверстия h/l

которое уменьшает четвертую частоту до значения $\omega_4/\omega_{40}=0,77$, находясь на отметке $h/l = 0,45$.

В целом анализ изменения частот поперечных колебаний показывает, что во всех случаях отверстие размером $a/S = 0,12$ практически не влияет на изменение частот и их форм. Характер изменения третьей, четвертой и пятой частот показывает, что, как и следовало ожидать, при расположении отверстия любого размера (кроме $a/S = 0,12$) на отметках, равных или близких к отметкам узловых точек соответствующих форм колебания, снижение всех частот менее существенно, чем при расположении отверстий на отметках, близких к отметкам с экстремальными значениями в соответствующих формах колебаний.

Анализ изменения первой частоты крутильных колебаний (рис. 8) в зависимости от размера и высоты расположения дефекта показывает, что в исследуемом диапазоне этих изменений крутильная частота имеет более существенное снижение ($\omega_1^{kp}/\omega_{10}^{kp} = 0,24$) по сравнению с 1-й частотой поперечных колебаний ($\omega_1/\omega_{10} = 0,41$). Кроме того, практически на любой высоте от $h/l = 0,15$ до $h/l = 0,6$ характер изменения 1-й крутильной частоты в зависимости от размера дефекта остается постоянным (рис. 8).

При подъеме отверстия на отметку $h/l = 0,75$ крутильная частота увеличивается и на отметке $h/l = 0,9$ незначительно отличается от частоты для трубы без дефектов. Исключение составляет только наличие большого отверстия, а именно при $a/S = 0,60$ $\omega_1^{kp}/\omega_{10}^{kp} = 0,78$.

Совершенно иначе ведет себя вторая частота крутильных колебаний (рис. 9). Имея незначительное снижение частоты при расположении отверстия любых размеров на отметке $h/l = 0,15$, при подъеме от-

верстия на отметку $h/l = 0,3$ частота полностью восстанавливается и для всех размеров становится равной частоте крутильных колебаний трубы без дефектов.

Дальнейший подъем отверстий по высоте трубы до отметки $h/l = 0,6$ приводит к более существенному снижению частоты, чем в случае $h/l = 0,15$. Так, отверстие $a/S = 0,60$ дает снижение до значения $\omega_1^{kp}/\omega_{10}^{kp} = 0,59$. Расположение отверстий на отметках $h/l = 0,75$ и $h/l = 0,9$ приводит к некоторому увеличению второй частоты, например при $h/l = 0,9$ для $a/S = 0,60$ $\omega_1^{kp}/\omega_{10}^{kp} = 0,71$.

В целом анализ крутильных колебаний показал, что, во-первых, значение первой частоты этих колебаний более интенсивно снижается, чем первая ча-

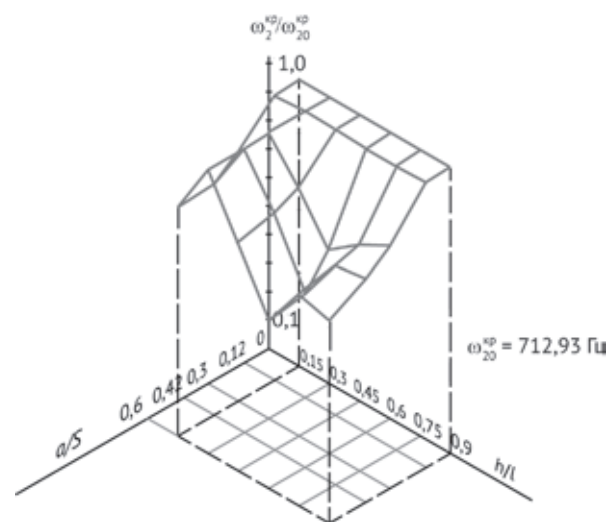


Рис. 9. Изменение второй крутильной частоты в зависимости от размера (a/S) и высоты расположения одиночного отверстия (h/l)

стота поперечных колебаний. Во-вторых, характер изменения второй крутильной частоты показывает, что в отличие от поперечных колебаний, здесь максимальное снижение частоты происходит при расположении дефекта в районе узловой точки второй формы крутильных колебаний, а минимальное снижение – при расположении дефекта в точке формы с максимальной амплитудой в первой полуволне, т. е. наоборот, чем при поперечных колебаниях.

Анализ результатов изменения первой частоты продольных колебаний трубы-оболочки с отверстиями разных размеров и на различных высотах (табл. 4) показал, что она меняется незначительно (максимальное снижение составило 0,83 для отверстия $a/S = 0,60$ на отметке $h/l = 0,3$). Расположение любого отверстия на высоте $h/l = 0,75$ или $h/l = 0,9$ почти не влияет на частоту продольных колебаний.

В целом проведенный анализ изменения всех поперечных, крутильных и продольных частот в зависимости от размера отверстия при расположении последнего на разных отметках показывает, что наиболее интенсивно уменьшается, как правило, первая крутильная частота при высоте расположения отверстия на отметках от $h/l = 0,15$ до $h/l = 0,6$ для всех размеров отверстия. Более высокое расположение отверстия не дает таких преимуществ крутильным колебаниям по сравнению с поперечными.

4. Анализ результатов вычислительного эксперимента при наличии одновременно двух и трех локальных дефектов

При наличии одновременно двух отверстий на отметках $h_1/l = 0,3$ и $h_2/l = 0,6$ (табл. 5 и рис.10, с. 3 обложки) изменение поперечных частот показывает, что частоты можно разделить на две группы. К первой группе можно отнести первую, вторую и третью частоты, которые имеют почти одинаковый закон уменьшения при возрастании размера отверстия. Ко второй группе относятся четвертая, пятая и шестая частоты, которые также имеют одинаковый закон уменьшения частот, но в этом случае скорость уменьшения несколько меньше, чем в первой группе. Изменение крутильных колебаний при двух отверстиях на этих отметках ближе всего к изменениям этих колебаний при одном отверстии на высоте $h/l = 0,45$. При этом несколько увеличивается интенсивность снижения второй крутильной и продольной частот, а изменение первой крутильной частоты приближается к линейному в зависимости от размера отверстия.

Если разместить одновременно два отверстия на отметках $h_1/l = 0,45$ и $h_2/l = 0,9$ (табл. 5 и рис. 11, с. 3 обложки), то поперечные частоты опять можно разделить на две группы. Но теперь в первую группу входят первая и третья частота, а во вторую все остальные частоты, включая и вторую. Только теперь

Таблица 5

Значение частоты с дефектом и её отношение к соответствующей частоте без дефекта

ω_0 (Гц)	$a/S = 0,12$		$a/S = 0,3$		$a/S = 0,42$		$a/S = 0,60$	
	ω_i (Гц)	ω_i/ω_0	ω_i (Гц)	ω_i/ω_0	ω_i (Гц)	ω_i/ω_0	ω_i (Гц)	ω_i/ω_0
Два дефекта на относительных отметках: $h_1/l = 0,3$ и $h_2/l = 0,6$								
$\omega_{10} = 10,02$	9,95	0,99	9,18	0,92	7,92	0,79	4,82	0,481
$\omega_{20} = 62,11$	61,57	0,99	56,08	0,9	48,74	0,78	32,16	0,52
$\omega_{30} = 171,09$	169,17	0,99	150,34	0,88	127,54	0,75	95,38	0,56
$\omega_{40} = 327,74$	326,99	0,998	316,83	0,97	296,92	0,9	227,47	0,694
$\omega_{50} = 527,02$	522,9	0,992	490,01	0,93	451,35	0,86	348,68	0,66
$\omega_{60} = 762,02$	761,65	0,998	717,16	0,94	668,85	0,88	529,92	0,695
$\omega_{10}^{кр} = 237,65$	234,49	0,987	154,31	0,65	88,76	0,373	30,795	0,13
$\omega_{20}^{кр} = 712,93$	704,39	0,99	520,54	0,73	506	0,71	480,02	0,67
$\omega_{10}^{прод} = 389,54$	387,89	0,996	368,56	0,95	334,32	0,88	302,5	0,78
Два дефекта на относительных отметках: $h_1/l = 0,45$ и $h_2/l = 0,9$								
$\omega_{10} = 10,02$	10,01	0,999	9,81	0,98	9,3	0,93	7,01	0,70
$\omega_{20} = 62,11$	61,72	0,995	57,19	0,92	50,54	0,82	40,31	0,65
$\omega_{30} = 171,09$	170,96	0,999	168,25	0,98	160,49	0,94	118,75	0,69
$\omega_{40} = 327,74$	325,25	0,992	299,38	0,91	267,49	0,82	198,94	0,61
$\omega_{50} = 527,02$	524,28	0,995	488,30	0,93	441,5	0,84	288,34	0,55
$\omega_{60} = 762,02$	756,65	0,99	693,38	0,91	619,57	0,81	467,26	0,61
$\omega_{10}^{кр} = 237,65$	236,31	0,995	189,30	0,796	104,36	0,44	39,55	0,17
$\omega_{20}^{кр} = 712,93$	710,12	0,996	575,13	0,91	594,96	0,83	458,48	0,64
$\omega_{10}^{прод} = 389,54$	389,24	0,999	382,46	0,98	359,25	0,92	317,26	0,81

Таблица 6

Значение частоты с дефектом и её отношение к соответствующей частоте без дефекта

ω_{i_0} (Гц)	$a/S = 0,12$		$a/S = 0,3$		$a/S = 0,42$		$a/S = 0,60$	
	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i_0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i_0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i_0}	ω_i (Гц)	ω_i/ω_{i_0}
Три дефекта на относительных отметках: $h_1/l = 0,3$, $h_2/l = 0,6$ и $h_3/l = 0,9$								
$\omega_{10} = 10,02$	9,97	0,995	9,31	0,93	8,17	0,82	5,15	0,51
$\omega_{20} = 62,11$	61,63	0,993	56,34	0,91	49,13	0,79	32,56	0,52
$\omega_{30} = 171,09$	169,13	0,93	149,65	0,87	126,36	0,74	93,25	0,545
$\omega_{40} = 327,74$	326,44	0,996	30,594	0,933	263,75	0,805	156,18	0,48
$\omega_{50} = 527,02$	521,18	0,99	469,15	0,89	406,56	0,77	264,66	0,50
$\omega_{60} = 762,02$	754,40	0,99	672,43	0,88	572,38	0,75	385,16	0,505
$\omega_{1_0}^{sp} = 237,65$	234,77	0,99	155,15	0,65	89,77	0,38	31,46	0,13
$\omega_{2_0}^{sp} = 712,93$	703,40	0,99	519,29	0,73	468,24	0,66	378,54	0,53
$\omega_{3_0}^{prod} = 389,54$	388,41	0,997	371,63	0,954	347,95	0,893	321,60	0,826

наоборот – скорость уменьшения частот в первой группе меньше, чем во второй группе. Изменение крутильных и продольных частот мало отличается от изменения этих частот для отверстий на отметке $h/l = 0,3$ и $h/l = 0,6$.

Если в трубе-оболочке сделать три отверстия на отметках $h_1/l = 0,3$; $h_2/l = 0,6$ и $h_3/l = 0,9$ (табл. 6 и рис. 12, с. 3 обложки), т. е. разместить дефекты более или менее равномерно по длине трубы, то полученные результаты по частотам поперечных колебаний показывают, что все шесть частот изменяются практически одинаково или пропорционально. Заметим, что такой случай является исключением из всех ранее рассмотренных. Характер изменения первой крутильной частоты в зависимости от размера отверстия в этом случае мало отличается от изменения этой частоты в первых двух рассмотренных случаях, но становится еще более линейным. При этом вторая крутильная частота в отличие от поперечных частот имеет меньшую скорость убывания по сравнению с первой частотой крутильных колебаний. Изменение продольной частоты в этом случае незначительно отличается от ее изменения в первых двух случаях.

5. Выводы

Анализ всех результатов проведенного вычислительного эксперимента показал, что хотя решалась пространственная задача в упругой постановке, большинство частот поперечных и крутильных собственных колебаний в зависимости от размера дефекта и места его расположения по высоте трубы-оболочки меняются нелинейно. Такую нелинейность, которая не является ни физической, ни геометрической, можно было бы отнести к конструкционной, но учитывая, что труба представляет собой сравнительно простую конструкцию, по-видимому, эту нелинейность следует считать генетической.

Во всех вариантах расчета при вычислительном эксперименте — кроме случая, когда одновременно рассматривались три локальных дефекта, — все частоты в зависимости от размера по высоте трубы менялись существенно непропорционально. В связи с этим, по-видимому, необходимо уточнить некоторые положения, высказанные как рекомендации при расчете конструкций на гармонические нагрузки. Например, в [1] сказано, что «...определенный в результате расчета спектр частот собственных колебаний может лишь сдвигаться в ту или иную сторону в пределах расширенных частотных зон. Одна из частот совмещается с частотой вынужденных колебаний или максимально приближается к ней, а все остальные изменяются пропорционально». При наличии в конструкции локальных местных дефектов такое предположение, как вытекает из проведенного вычислительного эксперимента, может внести существенную ошибку в расчеты.

Одним из интересных результатов выполненного вычислительного эксперимента является тот факт, что при определенном расположении локального дефекта первая частота крутильных собственных колебаний трубы уменьшается существенно интенсивнее, чем первая и тем более другие частоты поперечных колебаний. В связи с этим вызывает удивление тот факт, что в настоящее время никакими нормами не предусмотрен расчет или проверка, в частности, металлических дымовых труб на крутильные колебания. Косвенным подтверждением того, что такие трубы могут испытывать крутильные колебания, являются результаты обследования анкерных креплений одной из труб, находящихся в эксплуатации. Оказалось, что все анкеры имеют наклон в одну сторону по окружности, причем этот наклон совпадает с результатами наблюдения за изменением отклонения верха трубы по азимуту.

Такое отношение к крутильным колебаниям в настоящее время удивляет, поскольку еще в 1961 г. были опубликованы данные по измерению частот собственных колебаний реальных зданий, которые, в частности, показали, что период крутильных колебаний относительно вертикальной оси здания составляет около 2/3 периода основной формы изгибных или сдвиговых колебаний [8]. Кроме того, в опубликованной в 1969 г. работе сказано: «В последние годы все большее внимание привлекают вопросы расчета зданий с учетом крутильных колебаний» [3].

Характер изменения частот собственных колебаний в зависимости от размера дефекта и места его расположения показывает, что, если постоянно вести наблюдение за реальной строительной конструкцией, например, дымовой металлической трубой, используя ту или иную аппаратуру для регулярного измерения частот собственных колебаний (например, типа «Стрела-2»), то можно по характеру изменения этих частот прогнозировать появление дефектов и их разрастание. Например, если в процессе мониторинга обнаружено, что начинает более существенно уменьшаться первая частота по сравнению с другими, то, по-видимому, появился или развивается какой-либо дефект в нижней части трубы. Если начинает сильно уменьшаться третья частота, а первая при этом практически не изменяется, то, по-видимому, появился дефект в верхней части трубы. И, наконец, если существенно изменяется вторая частота, то это признак того, что появился дефект в средней части трубы.

Описанный выше сценарий, конечно, является лишь первой попыткой решить сложную задачу – по характеру изменения частот собственных колебаний

оценить масштабы и степень повреждений в реальных конструкциях зданий и сооружений.

Не менее важной и сложной проблемой является установление для находящихся в эксплуатации строительных конструкций пороговых значений частоты (или частот), которые соответствовали бы, например, наступлению первого, второго или третьего предельного состояния конструкций. По-видимому, результаты, полученные в ходе выполненного вычислительного эксперимента, где пороговые значения частот собственных колебаний определялись при рассмотрении простейшей пространственной упругой системы с отверстиями, не могут быть распространены на реальные конструкции, так как в эксперименте в качестве пороговой принималась частота, при которой соответствующая ей форма собственных колебаний резко искажалась и становилась нереальной. Несмотря на это, приведем их (см. табл. 4, 5 и 6):

- среднее приведенное пороговое значение первой частоты поперечных колебаний – 0,526;
- то же с учетом первой частоты крутильных колебаний — 0,346.

Для сравнения дадим среднее значение относительного изменения частот при натуральных испытаниях, о которых говорилось в предисловии:

- среднее значение отношения (2)/(1) по данным табл. 1 — 0,512;
- среднее значение отношения (4)/(1) по данным табл. 2 — 0,369.

Учитывая, что сравниваются абсолютно разные объекты и методы исследования, такое совпадение результатов представляется удивительным и пока трудно объяснимым.

Литература

1. Справочник по динамике сооружений / Под ред. Б.Г. Коренева, И. М. Рабиновича. — М., Стройиздат, 1972.
2. Блум Дж. Определение периодов и другие сейсмические исследования в 15-этажном здании // Международная конференция по сейсмическому строительству в Сан-Франциско. — М., 1961. — С. 115–141.
3. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. М.: Высшая школа, 1969.
4. Сейсмостойкие сооружения за рубежом / Под общей ред. В. И. Насонова. М., 1968.
5. Хисада Т., Накагава К. Вибрационные испытания различных типов специальных конструкций вплоть до разрушения // Международная конференция по сейс-

- мостойкому строительству в Сан-Франциско. — М., 1961. — С. 60–71.
6. Справочник по сопротивлению материалов / Под ред. Г. С. Писаренко. — Киев: Наукова думка, 1988.
7. Карниловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Перельмутер А. В., Перельмутер Н. А. Вычислительный комплекс SCAD, 2004 г.
8. Кавасуми Х., Канаи К. Колебания реальных зданий с малыми амплитудами // Международная конференция по сейсмостойкому строительству в Сан-Франциско. — М., 1961. — С. 46–59.
9. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. — Киев: ВПП «Компас», 2001.

References

1. Handbook on Structural Dynamics. Ed. by B.G. Korenev, I.M. Rabinovich. M., Stroiizdat, 1972, 511 p (in Russian).
2. Blume J. Vibration Periods of a 15-story Building. In the Collection of Articles of the San Francisco World Conference

- on Earthquake Engineering, M., State Publishing House of Construction, Architecture and Construction Materials Literature, 1961, pp. 115–141 (in Russian).
3. Polyakov S.V. Seismic Structures of Buildings. M. Vyshaya Shkola, 1969, 336 p (in Russian).
 4. Seismic Structures Abroad. General ed. by V. I. Nasonov. M., Construction Literature Publishing House. 1968, 223 p (in Russian).
 5. Hisada T., Nakagawa K. Vibration Tests on Various Types of Building Structures up to Failure. In the Collection of Articles of the San Francisco World Conference on Earthquake Engineering. M., State Publishing House of Construction, Architecture and Construction Materials Literature, 1961, pp. 60–71 (in Russian).
 6. Handbook on Resistance of Materials. Ed. by G.S. Pisarenko, Kiev. Naukova Dumka. 1988, 735 p (in Russian).
 7. Karnilovsky V. S., Kriksunov. E.Z., Malyarenko, A.A., Perelmutter A.V., Perelmutter N.A. SCAD Computing System, 2004, 592 p (in Russian).
 8. Kawasumi H., Kanai K. Small Amplitude Vibrations of Actual Buildings. In the Collection of Articles of the San Francisco World Conference on Earthquake Engineering. — M., State Publishing House of Construction, Architecture and Construction Materials Literature, 1961, pp. 46–59 (in Russian).
 9. Perelmutter A.V. Design Models of Structures and Opportunities of Their Analysis. / Perelmutter A.V., Slivker, V. I. — Kiev: VPP Kompas, 2001, 448 p.: Illustrated (in Russian).

Change in the Natural Vibration Frequency Spectrum of the Steel Pipe Mathematic Model Depending on Sizes, Location, and Number of Local Defects

S.P. Sushchyov, General Director, Doctor of Engineering, Professor, Center of Researches of Extreme Situations, Moscow
V.V. Samarin, Senior Specialist, Doctor of Engineering, Professor, Center of Researches of Extreme Situations, Moscow
A.A. Suslonov, Department Head, Doctor of Engineering, Center of Researches of Extreme Situations, Moscow
A.M. Novgorodova, Senior Engineer, Center of Researches of Extreme Situations, Moscow

Abstract

The article discusses issues related to the research of the influence of sizes and location of local defects on the change in the natural vibration frequencies spectrum of the steel pipe model fixed on a single threshold. The research was made using the finite element analysis (FEA) and the SCAD computing system. Nonlinear dependence of the natural vibration frequencies on the defect size and its location was ascertained. Such nonlinearity in the course of defects accumulation is classified as a genetic nonlinearity. Completed research reveals that the scale and the location of defects can be determined by the pattern of their change during the monitoring of main dynamic characteristics in the course of the building operation. It has been ascertained that the first frequency of torsional natural vibrations of the pipe declines with greater intensity than the first and other lateral vibration frequencies in case of a specific location of a growing local defect. There have been no regulatory requirements for the time being to the analysis of structures (flue stacks) subject to torsional vibrations. However, for example, it was ascertained during the expert examination of anchoring of a steel pipe in service and having vertical stiffeners throughout the height that all the anchors damaged circumferentially have an inclination to one and the same side. Furthermore, the value of such an inclination coincides with results of observations of the pipe top deviation change in azimuth.

An attempt was made during the research to determine the limit value of frequencies that would correspond to occurrence of the first, the second or the third limit states of operated construction structures with defects.

Keywords: defect, natural vibration frequency, frequency spectrum, genetic nonlinearity, vibrations, monitoring, limit state, threshold value, facilities, defect, damage.

Поддержка молодых ученых и ведущих научных школ Российской Федерации

Гранты Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых кандидатов и докторов наук, а также ведущих научных школ: ежегодно осуществляется адресная поддержка 400 молодых (до 35 лет) российских ученых - кандидатов наук (по 600 тыс. рублей в год), 60 молодых (до 40 лет) российских ученых - докторов наук (по 1 млн рублей в год) и ведущих научных школ Российской Федерации (по 400 тыс. рублей в год).

Стипендии Президента Российской Федерации устанавливаются в размере 20 тыс. рублей каждая и назначаются на срок до трех лет.

Общее число лиц, ежегодно получающих стипендию Президента РФ, составляет 1000 человек.

Общий объем финансирования стипендий составляет 240 млн рублей ежегодно. Назначение грантов и стипендий осуществляется на основании конкурсных процедур.

Тяжелые металлы в почвах в районах воздействия угольных предприятий и их влияние на здоровье населения

Н.А. Осипова, доцент, канд. хим. наук¹

Е.Г. Языков, заведующий кафедрой, профессор, д-р геол.-мин. наук¹

Н.П. Тарасова, директор института, заведующий кафедрой, чл.-кор. РАН, профессор, д-р хим. наук²

К.Ю. Осипов, старший научный сотрудник, канд. техн. наук³

¹Томский политехнический университет,

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

e-mail: osipova@tpu.ru

Ключевые слова:

тяжелые металлы,
геохимия почв,
риск для здоровья,
химическое воздействие,
влияние угольной промышленности.

Изучено содержание тяжелых металлов в городских почвах Южного Кузбасса в районах влияния угледобывающей промышленности и городских котельных. Выявлены риски токсического воздействия элементов, обнаруженных в почвах по результатам геохимических исследований (200 проб). Рассчитан коэффициент опасности при передаче элементов-токсикантов пероральным и ингаляционным путем. Проведен анализ неопределенности в оценке среднесуточных доз. Полученные параметры риска попадают в разряд допустимого или приемлемого. Основной вклад в суммарный коэффициент опасности вносят марганец, кобальт, медь, мышьяк. Эти элементы отражают специфику почв в зоне воздействия угледобывающей промышленности, городских котельных, – повсеместно, и деятельность ремонтно-механического и литейного предприятий – локально. Не обнаружено ярко выраженной дифференциации районов города по значению коэффициента опасности.

1. Введение

Подходы к решению проблем химического загрязнения компонентов природных сред находят свое отражение в документах Конференции ООН по устойчивому развитию «РИО+20», 2012 [1] и сформулированных целях устойчивого развития специально созданной рабочей группой [2]. В частности, цель 3 «Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте» в части п. 3.9 прямо связана с опасным химическим воздействием и указывает на необходимость к 2030 году существенно сократить число случаев смерти и заболеваний в результате воздействия опасных химических веществ и загрязнения воздуха, воды и почв.

Загрязнение всех компонентов природных сред вредными веществами в районах интенсивной добычи и переработки угля является серьезной эко-

логической проблемой для населения близлежащих городов. К таким городам относится г. Междуреченск Кемеровской области. Город расположен в центральной части Томусинского каменноугольного месторождения в месте слияния рек Томь и Уса в зоне их выхода из гор Кузнецкого Алатау в Кузнецкую низкогорно-холмистую котловину (рис. 1). Изучению влияния угольных предприятий на здоровье населения, экологическим проблемам Междуреченска посвящено множество исследований [3–5].

Угольные предприятия располагаются на правом и левом берегах р. Уса и р. Томь в 5–20 км от черты города. Здесь расположены шахты и угольные разрезы, которые находятся в непосредственной близости от городской черты. На угольных разрезах кругло-суточно ведутся выемочно-погрузочные и буровые работы, а также один раз в неделю производятся



Рис. 1. Карта-схема г. Междуреченск

массовые взрывы горных пород. При преобладании юго-западных ветров большая доля загрязняющих веществ достигает города. Имеется 4 угольных разреза с ежегодной добычей свыше 56 тыс. т топлива.

Загрязнение атмосферного воздуха остается наиболее актуальной проблемой Кемеровской области в целом и в частности г. Междуреченска [5]. При этом г. Междуреченск занимает второе место среди городов Кемеровской области по валовой массе выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников. В городе отсутствует государственная сеть за наблюдением уровня загрязнения атмосферного воздуха, нет сведений о содержании тяжелых металлов в воздухе, выбросы которых безусловно сопутствуют добыче угля. Угли Кузбасса содержат примеси токсичных элементов: Mn, Co, Ba, As и других [6]. Ранее выявлена специфическая особенность загрязнения компонентов природной среды угледобывающих регионов [7]. Цель настоящего исследования заключалась в изучении влияния атмосферных загрязнителей в районах размещения угольных предприятий на дополнительный риск развития заболеваемости населения города.

Документы US EPA [8], Европейские директивы 93/67/ЕС, 793/93/ЕС, 1488/94/ЕС, российское руководство по оценке риска [9] определяют методы оценки экологических рисков. Они содержат описание последовательности решения задачи, организации и анализа данных, учета неопределенностей и допущений с целью получения в какой-то степени унифицированной приблизительной информации о вероятности развития неблагоприятных экологических эффектов. Исследования по оценке риска активно внедряются в практику природоохранной и управленческой деятельности в сфере природопользования.

Ранее показано, в том числе и в наших работах, как результаты геохимического исследования почв могут быть использованы для оценки риска здоровью населения. Поверхностные слои почвы благода-

ря своей структуре накапливают опасные для здоровья человека загрязняющие вещества, в том числе и тяжелые металлы, которые могут представлять опасность для здоровья человека. Исследования по выявлению взаимосвязи между загрязнением почв и здоровьем человека с применением методологии оценки риска выполнены для г. Томска с многопрофильным производством [10], городов с развитой черной металлургической промышленностью [11], других регионов и территорий [12]. Обозначенное направление исследований активно развивается за рубежом, что отражено в соответствующей литературе, например, [13].

2. Экспериментальная часть

Для расчетов и оценок использованы результаты геохимического опробования почв (200 образцов), отобранных равномерно по всей территории г. Междуреченска, а также в прилегающих районах [7]. В пробах определено содержание тяжелых металлов методом электронной спектроскопии (полуколичественный анализ), ртути — атомно-адсорбционным методом. Анализы части проб продублированы методами инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS). Сходимость по выбранным элементам удовлетворительная [14].

Суммарный показатель загрязнения, характеризующий эффект воздействия группы элементов, рассчитывался следующим образом [15]:

$$Z_c(\text{СПЗ}) = \sum KK - (n-1),$$

где $\sum KK$ — сумма коэффициентов концентраций;

n — число учитываемых аномальных элементов,

$KK = C_i/C_{\text{фи}}$ — коэффициент концентрации аномального содержания i -го химического элемента;

C_i — фактическое содержание i -го химического элемента в почвах и грунтах, мг/кг;

$C_{\phi i}$ — фоновое содержание i -го химического элемента в почвах или ПДК, мг/кг;

n — число учитываемых химических элементов с $KK > 1$.

Для оценки рисков токсического действия использовали российское руководство по оценке риска [9], руководство природоохранного агентства США [8], известные базы данных по канцерогенным и токсикологическим свойствам элементов, входящих в состав выбросов.

В среде «LabView» [16] разработано программное обеспечение, предназначенное для сбора и обработки большого объема данных. База данных представляет собой набор текстовых файлов со следующими именами и их содержимым: названия загрязняющих веществ; референтные дозы загрязняющих веществ RfD , референтные концентрации загрязняющих веществ RfC ; названия регионов по территории для усреднения; основной файл с концентрациями загрязняющих веществ во всех точках территории. Среди рассматриваемого круга металлов некоторые обладают доказанной канцерогенностью, однако в настоящей статье индивидуальный канцерогенный риск не рассматривался. Концентрации элементов в почве ($C_{эл.почв}$) были пересчитаны на концентрации во вдыхаемом воздухе ($C_{инг}$), с использованием модели переноса загрязнителя из почвы во вдыхаемый воздух [8]:

$$C_{инг} = C_{пыли} \cdot R \cdot f \cdot C_{эл.почв}$$

где $C_{пыли} = 7,5 \cdot 10^{-6}$ мг/м³;

R — вдыхаемая фракция пыли, 73%;

f — загрязненная часть пыли, 1%;

Коэффициент опасности ингаляционного воздействия $KO_{инг}$ оценивался как отношение ингаляционной концентрации ($C_{инг}$) к референтной концентрации при ингаляционном воздействии ($RfC_{инг}$):

$$KO_{инг} = C_{инг} / RfC_{инг}$$

Среднесуточная доза при пероральном поступлении каждого элемента вместе с почвой рассчитывалась следующим образом:

$$LADD = \left[\frac{C \cdot V \cdot ED \cdot EF}{BW \cdot AT \cdot 365} \right] \cdot 10^{-6},$$

где $LADD$ — среднесуточная доза в течение жизни, мг/(кг·сутки);

C — $C_{эл.почв}$ (по данным анализа почв), мг/кг.

При этом использовались стандартные факторы экспозиции:

V — суточное пероральное поступление почвы в организм взрослого человека, 100 мг/день;

ED — продолжительность воздействия, 30 лет;

EF — частота воздействия — 350 дней в год;

BW — масса тела человека, 70 кг;

AT — период усреднения экспозиции — 30 лет; 365 — число дней в году

Коэффициент опасности перорального воздействия $KO_{пер}$ оценивался как отношение среднесуточной дозы к референтной дозе при пероральном воздействии ($RfD_{пер}$):

$$KO_{пер} = LADD / RfD_{пер}$$

Суммарный коэффициент опасности по каждому элементу рассчитывался как сумма коэффициентов опасности перорального ($KO_{пер}$) и ингаляционного ($KO_{инг}$) воздействия для каждого элемента.

С помощью генератора случайных чисел и программного обеспечения «МАТКАД» построены вероятностные модели распределения среднесуточных доз.

В последнее время в литературе широко обсуждаются показатели риска как некоторые индексы, способные характеризовать количественную взаимосвязь между уровнем загрязнения и здоровьем человека, а не как прогнозная оценка заболеваемости.

3. Результаты и их обсуждение

Территория г. Междуреченска разделена на 4 района: Западный, Прибрежный (Притомский), Восточный и Промышленный (промышленная зона). В табл. 1 приведено содержание микроэлементов в почво-грунтах промышленного и жилых районов г. Междуреченска. Полученные результаты приведены в сравнении с предельно допустимыми концентрациями согласно гигиеническим нормативам РФ [17], а также в сравнении с нормативами, принятыми в Нидерландах и некоторых других странах, по данным [18]. Именно там развивался гибкий поход к нормированию как результат многочисленных и разнообразных экотоксикологических исследований. Также следует отметить, что содержание химических веществ в почве нормируется, как правило, в национальных стандартах. На международном уровне нормативов содержания загрязняющих веществ в почве нет. На сегодня в России утверждены наиболее жесткие по сравнению с зарубежными странами предельно допустимые концентрации по ряду элементов.

Ртуть. Содержание элемента изменяется в почво-грунтах от 0,02 до 1,5 мг/кг, при средней величине 0,16 мг/кг. На схеме распределения ртути отмечаются несколько ореолов с содержанием элемента, превышающим 0,2 мг/кг, их большая часть приходится на Восточный район. Уровни накопления ртути в по-

Таблица 1

Средние содержания элементов в почвах г. Междуреченска, мг/кг

	Восточный район (81 проба)	Западный район (48 проб)	Прибрежный район (26 проб)	Промышленный район (44 пробы)	в целом по городу (199 проб)	ПДК, мг/кг [17]	Нормативы, Нидерланды [18]
<i>Элементы I класса опасности</i>							
Hg	0,20±0,02	0,13±0,02	0,09±0,02	0,12±0,02	0,15±0,01	2,1	0,3
Pb	37±4	37±6	33±7	34±4	35±3	6,0	85
Zn	128±14	91±16	97±19	94±9	108±4	23,0	140
As	14±1	9±2	8±2	10±1	11±1	2,0	29
<i>Элементы II класса опасности</i>							
Cr	62±7	83±14	78±16	72±10	71±5	6,0(Cr+3) 0,05(Cr+6)	100
Ni	48±5	47±8	38±8	37±5	43±3	4,0	35
Co	19±2	17±3	19±4	18±2	18±1	5,0	20
Cu	53±6	46±8	54±11	66±9	56±4	3,0	36
Mo	2,9±0,3	3,2±0,5	3,4±0,7	3,4±0,4	3,1±0,2		10-200
<i>Элементы III класса опасности</i>							
Mn	388±43	449±77	388±78	383±50	397±28	1500	
Ba	466±51	471±81	588±118	517±68	496±35		200
V	52±6	77±13	74±15	61±8	62±4	150	

чвах ниже ПДК, установленных для почв, согласно некоторым национальным стандартам, в качестве которых выбраны Нидерланды, и стандартам, принятым в нашей стране.

Свинец. Содержание элемента колеблется от 10 до 300 мг/кг, при средней величине 35 мг/кг. Во всех районах города концентрации практически одинаковы, и только отмечаются несколько локальных ореолов, приходящихся на участки интенсивного движения автотранспорта и промышленные предприятия (ремонтно-механический завод). Содержание свинца превышает гигиенические нормативы РФ. На сегодня в России утверждены наиболее жесткие по сравнению с зарубежными странами предельно допустимые концентрации по ряду элементов, и это касается свинца.

Цинк. Содержание элемента меняется от 30 до 300 мг/кг при средней величине 108 мг/кг. Из всех районов выделяются Восточный и Прибрежный, где средние концентрации соответственно равны 128 и 97 мг/кг. Площадные и локальные ореолы повышенных концентраций элементов приходятся на центр района Восточный, где раньше находился городской автовокзал. Известно, что цинк попадает в почву при истирании автомобильных шин. Средние значения превышают ПДК, принятые в России, но укладываются в национальные стандарты большинства зарубежных стран [18].

Мышьяк. Содержание элемента меняется от 1 до 28 мг/кг, при средней величине 11 мг/кг. В отдельных точках в районе ремонтно-механического завода содержание мышьяка составляет 51 мг/кг.

Хром. Содержание элемента изменяется от 8 до 600 мг/кг при средней величине 71 мг/кг. Для всех районов города средние концентрации близки, хотя в Западном несколько выше и составляет 83 мг/кг. Область повышенных концентраций приходится на район расположения ремонтно-механического завода. Возможно, сказывается влияние чугуно-литейного производства.

Никель. Содержание элемента изменяется от 10 до 100 мг/кг, при средней величине 43 мг/кг. В Восточном районе концентрация равна 48 мг/кг. Ореолы с повышенными содержаниями элемента приурочены к улицам 50 лет Комсомола — пер. Тигровый, район участка механизации УЖКХ, около Виадукка и ул. Пионерской.

Кобальт. Содержание элемента изменяется от 3 до 60 мг/кг, при средней величине 18 мг/кг. Из всех районов по среднему содержанию элементов выделяются Восточный и Прибрежный, где средние концентрации равны 19 мг/кг. На схеме распределения кобальта выделяется несколько контрастных локальных ореолов в районе ул. Ермака, улиц Юдина — Кузнецкой, ул. Пионерской, д. 17.

Медь. Содержание элемента изменяется от 20 до 200 мг/кг, при средней величине 56 мг/кг. Из всех исследованных районов выделяется промышленная зона, где средняя величина равна 66 мг/кг. На схеме распределения меди выделяется несколько локальных контрастных ореолов с повышенной концентрацией, приуроченных к пересечению улиц 50 лет Комсомола-Кузнецкая, ул. Горького и др. В целом содержание меди не превышает ПДК по зарубежным данным, за исключением нескольких локальных точек в Прибрежном, Промышленном и Восточном

районах, где концентрация в 1,5–2 раза выше нормативных показателей.

Сравнивая содержание хрома, никеля, меди, кобальта в почвах города с ПДК, следует сказать, что практически повсюду российские нормативы превышены.

Молибден. Содержание элемента изменяется от 1 до 6 мг/кг, при среднем значении 3,1 мг/кг. Лишь в отдельных точках незначительно превышены нормативные показатели.

Марганец. Содержание марганца изменяется от 100 до 1000 мг/кг, при среднем значении 397 мг/кг. Средние повышенные концентрации характерны для Западного района (449 мг/кг). Несколько локальных контрастных ореолов с повышенными концентрациями элемента фиксируются в районах пересечения ул. Юдина — пр. Строителей, ул. Интернациональная, ж/д станция Междуреченск. В целом, содержание марганца не превышает ПДК РФ (1500 мг/кг), но в отдельных точках Центра, Восточного и Западного районов превышает нормативные показатели, принятые в зарубежных странах [18].

Барий. Содержание бария изменяется от 200 до 3000 мг/кг, при средней величине 496 мг/кг. Из всех районов выделяется Прибрежный район, где средняя концентрация бария равна 588 мг/кг, а также прослеживаются три локальных ореола в Западном и Прибрежном районах.

Ванадий. Содержание элемента изменяется от 20 до 200 мг/кг, при среднем значении 62 мг/кг. Наиболее контрастно по данному компоненту просматривается Западный и Прибрежный районы (средние концентрации составляет соответственно 77 и 74 мг/кг). На схеме распределения ванадия выделяются ореолы в районах Сыркаши и Западный. В Сыркашах его повышенное значение может быть объяснено геологической природой (кора выветривания Сыркашинского силла). В целом содержание ванадия превышает ПДК в 1,2 раза по зарубежным данным, но ниже нормативных показателей, установленных в РФ, за исключением отдельных точек наблюдения, где концентрации превышают в 1,3 раза российские нормы.

Оценка суммарного показателя загрязнения [7] показала, что существует ореол загрязнения в центральной части Восточного района (район автовокзала), в промышленной зоне (ремонтно-механический завод и литейное производство). По величине суммарного показателя загрязнения (16–32, [7]) г. Междуреченск относится к числу территорий, имеющих слабое и среднее загрязнение с умеренно опасным уровнем заболевания. Помимо этого, повышенные концентрации характерны для элементов, входящих в органической и неорганических формах в состав угля, добыча и обогащение которого происходит на ряде предприятий, окружающих город.

4. Оценка риска для здоровья

Наличие в городских почвах элементов I–III классов опасности (по ГОСТу 17.4.1.02-83) в концентрациях, превышающих ПДК с учетом фона, создает опасность для работающих и населения. Это создает серьезные предпосылки для оценки рисков здоровья из-за попадания загрязненных частичек почвы в организм человека вместе с пылью.

Выбросы такого крупного угледобывающего региона, как Кузбасс, характеризуются тем, что содержат большой процент пылевых частиц разнообразного химического состава, обладающих эффектом оседания на подстилающую поверхность. При этом не исключена ситуация, когда промышленные выбросы, будучи допустимыми с точки зрения максимального разового загрязнения атмосферы, могут привести к весьма существенному накоплению вредных веществ на поверхности. Многолетние оседания из атмосферы и накопление в почве техногенной пыли может снизить урожайность земли. Загрязнение снегового покрова в течение зимнего периода с последующим стоком талых вод в водоемы может значительно ухудшить качество воды. Таким образом, изучение процессов вторичного поступления загрязняющих веществ из атмосферы в почву, воду и продукты питания требует самого пристального внимания.

Частицы почвы могут попадать в организм при заглатывании или дыхании. Особенно актуально это для играющих на детских площадках детей. Возможен переход вредных веществ из почвы в выращенные на ней продукты питания. Сам факт присутствия в городских почвах широкого спектра высокотоксичных элементов не может не вызывать опасения. К тому же, значительная часть города занята районами с индивидуальной застройкой, и это не исключает возможность перехода загрязнителей в выращиваемую на приусадебных участках сельхозпродукцию.

В соответствии с целями и задачами исследования, расчет экспозиции проводился на основании результатов, представленных в табл. 1, а именно, средних содержаний тяжелых металлов и мышьяка в пределах каждого района, и в целом по городу. Рассчитанные среднесуточные дозы всех элементов приведены в табл. 2.

5. Оценка неопределенности

Факторы экспозиции по смыслу являются неопределенными и имеют доверительный интервал значений, в пределах которого эти параметры могут варьироваться. Поэтому для анализа неопределенностей при расчетах среднесуточных доз применили генератор случайных чисел, с помощью которого формируются последовательные сценарии. Этот процесс

Таблица 2
Среднесуточные пероральные дозы поступления различных элементов, полученные населением административных районов города, мг/кг·день

	Восточный район	Западный район	Прибрежный район	Промышленный район	В целом по городу
Hg	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
Pb	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$
Zn	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
As	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Cr	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$9,7 \cdot 10^{-5}$
Ni	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
Co	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
Cu	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Mo	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$
Mn	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$
Ba	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$
V	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$

повторяется множество раз, иногда несколько тысяч раз. Результаты всех имитационных экспериментов объединяются в выборку и анализируются с помощью статистических методов с целью получения закона распределения вероятностей среднесуточных доз. В результате значение среднесуточных доз выражается не каким-либо единственным значением, а вероятностным распределением всех возможных его значений.

На рис. 2 показаны вероятности распределения среднесуточных доз поступления меди, марганца, хрома, мышьяка, кобальта с учетом доверительного интервала, в пределах которого варьируются величины, входящие в расчет среднесуточного поступления. Варьирование параметров, входящих в расчет среднесуточной дозы, приведено в табл. 3.

Применение вероятностных моделей повышает точность оценок риска [19]. Среднесуточные дозы поступления изученных элементов пероральным путем лежат в широком диапазоне, существенно отличаясь для разных элементов. Минимальные значения получены для ртути: $1,2 \cdot 10^{-7}$ – $2,7 \cdot 10^{-7}$ мг/кг·день, максимальные — для мышьяка ($1,1 \cdot 10^{-4}$ – $1,9 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·день), цинка ($1,2 \cdot 10^{-4}$ – $1,8 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·день), марганца ($5,2 \cdot 10^{-4}$ – $6,1 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·день). Если сравнивать среднесуточные дозы с данными, полученными в других регионах, то можно отметить близкий интервал изменения доз для местечка “Catalan stretch of the Ebro River”, Испания [20], “Fosu Lagoon”, Южная Гана [13] и несколько более низкие значения для г. Новодвинска [21] (северо-запад России). Обнаруженные там концентрации всех металлов тоже ниже. Эти регионы выбраны

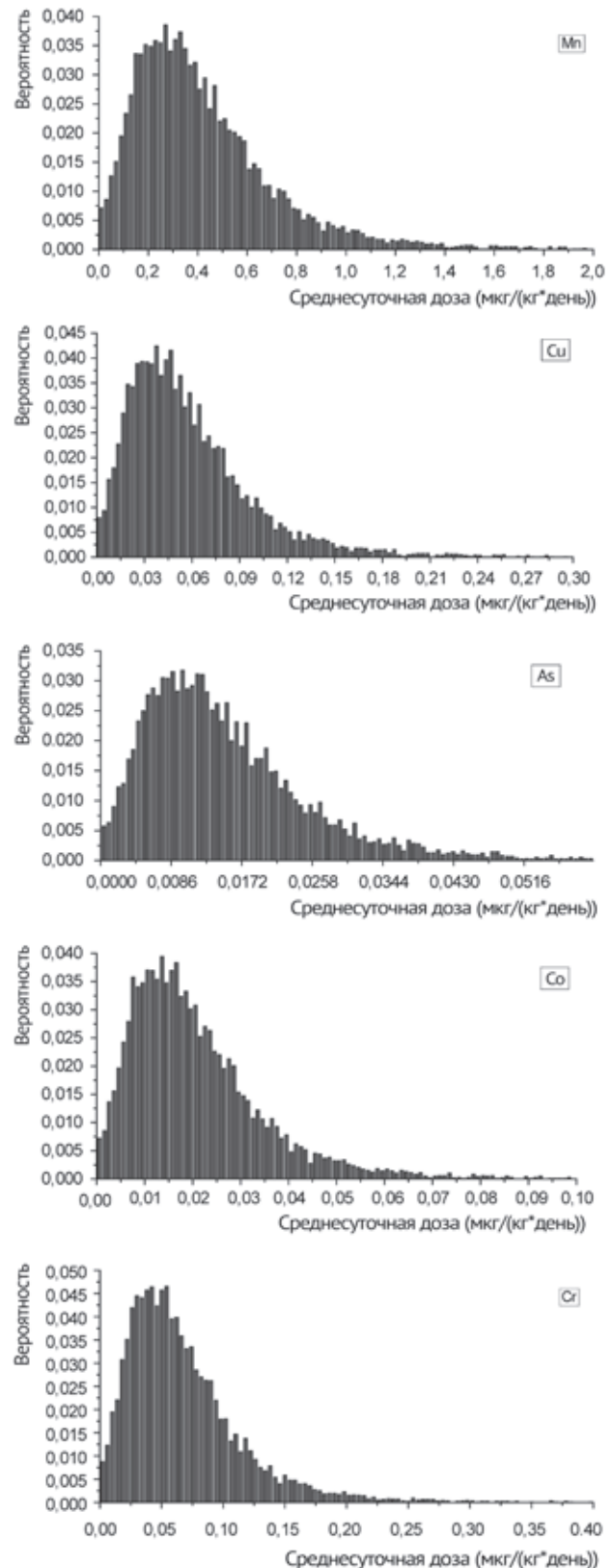


Рис. 2. Распределение плотности вероятности среднесуточных доз (мкг/(кг·день)), полученных при пероральном воздействии Mn, Cu, As, Co, Cr при их эмиссии из почв (по району в целом)

Таблица 3
Распределение параметров экспозиции и риска

Параметр	Символ	Единицы измерения	Тип распределения	Распределение
Суточное пероральное поступление почвы в организм взрослого человека	V	мг/день	нормальное	100 (0–170)
Продолжительность воздействия	ED	число лет	логнормальное	30 (19–43)
Частота воздействия	EF	дней/ в год	триангулярное	350 (180–365)
Вес тела взрослого человека	BW	кг	логнормальное	70 (55–80)
Период усреднения экспозиции	AT	year	Точечное	30
Концентрации элементов в почве	$C_{эл.почв}$	мг/кг	нормальное	$C_{эл.почв} \pm SD$

для сопоставления, так как оценки проводились практически по одному и тому же перечню элементов, обнаруженных в почвах. Следует отметить, что сопоставление следует проводить с учетом анализа неопределенности, о чем упомянуто выше.

На рис. 3 показан вклад всех элементов в суммарный коэффициент опасности. Видно, что основным вклад в суммарный коэффициент опасности вносят марганец, кобальт, медь, мышьяк, для которых $KO > 0,05$. Значения диапазонов изменения суммарных коэффициентов опасности, рассчитанных по усредненным в пределах административных зон концентрациям элементов от ингаляционного и перорального поступления, составляют, соответственно: для Mn (0,42–0,50), Co (0,18–0,20), Cu (0,13–0,19), As (0,05–0,09).

Расчет суммарного коэффициента опасности, который представляет собой сумму кратностей превышения наблюдаемой экспозиции над пороговой дозой ($KO_{пер}$) и ингаляционной концентрации над референтной ($KO_{инг}$), позволил ранжировать районы города по уровню опасности неканцерогенных эффектов.

На рис. 4 показано сравнение различных районов города по значению суммарных коэффициентов опасности. По убыванию суммарного коэффициента опасности для людей от токсического воздействия элементов, обнаруженных в почве, при ее пылении, случайном заглатывании частиц, при вдыхании, административные районы города образуют ряд: Промышленный (0,88), Восточный (0,87), Западный (0,86), Прибрежный (0,84). Из рисунка следует, что в целом нет ярко выраженной дифференциации зон по значению коэффициента опасности. Все перечис-

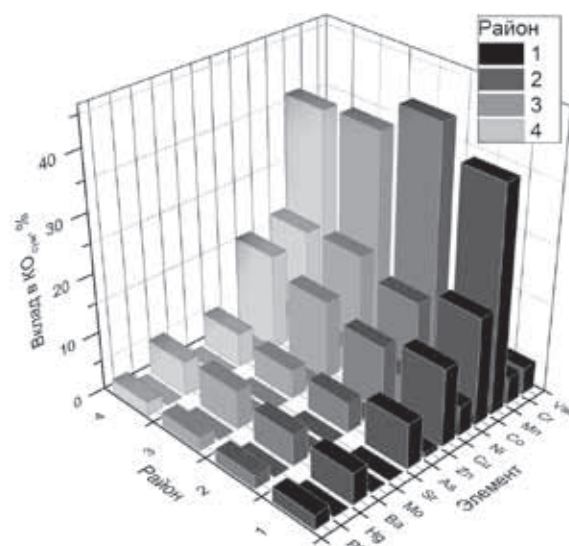


Рис. 3. Вклад всех элементов в суммарный коэффициент опасности в 4 районах города. 1 – Восточный, 2 – Западный, 3 – Прибрежный, 4 – Промышленный

ленные значения коэффициентов опасности в соответствии с критериями приемлемости попадают в разряд допустимого или приемлемого риска. Однако сам факт того, что суммарный коэффициент опасности токсического воздействия близок к 1, заставляет наблюдать ситуацию в динамике.

Круговая диаграмма распределения вклада марганца, кобальта, меди и мышьяка в суммарный коэффициент опасности в Восточном (1), Западном (2), Прибрежном (3) и Промышленном (4) районах приведена также на рис. 4. По уменьшению их вклада в суммарный коэффициент опасности они образуют следующий ряд: Mn (0,42–0,50) > Co (0,18–0,20) > Cu (0,13–0,19) > As (0,05–0,09). Все они входят в органической и неорганических формах в состав угля и угольных шлаков. Наибольшие локальные концентрации мышьяка в углях, превышающие ПДК в 2 раза, обнаружены на Междуреченском разрезе в Кузбассе. В углях Междуреченского разреза выявлены участки, на которых концентрация марганца в 15 раз превышает средние значения [22]. И если в целом отмечается, что рассчитанные средние содержания токсичных элементов в рассмотренных объектах Сибири не превышают ПДК этих элементов для углей, то при их сжигании ситуация меняется. Их накопление, в том числе и в почве, уже зависит не от количества складированных отвальных пород, а в основном, от их концентрации, которая существенно выше в продуктах сгорания углей в котельных, чем в самих углях.

В литературе достаточно широко обсуждаются экологические риски, связанные с угледобывающими и углерерабатывающими предприятиями на

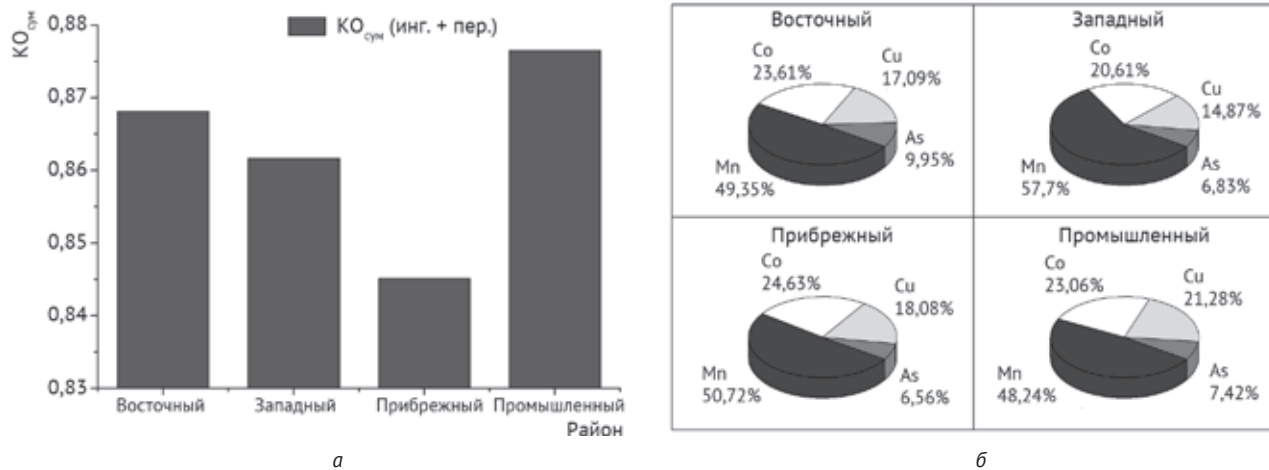


Рис. 4. Коэффициент опасности токсического воздействия от ингаляционного и перорального поступления элементов-токсикантов в различных районах города: а – сравнение районов города по величине суммарного коэффициента опасности; б – круговая диаграмма распределения вклада марганца, кобальта, меди и мышьяка в суммарный коэффициент опасности по районам

Кузбассе. Показано, что вдыхание угольных взвешенных частиц, независимо от их химического состава, увеличивает вероятность смертности от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Что касается канцерогенной активности, то ее связывают, прежде всего, с бенз(а)пиреном, содержание которого составляет в каменном угле, используемом на угольной ТЭС юга Кузбасса, 20–70 мкг/кг, по данным [23]. Отмечается корреляция между увеличением использования угля и ростом частоты рака лёгких [3, 4, 23]. Популяционный риск нарушения здоровья населения города от воздействия взвешенных частиц составляет 4,65 дополнительных случаев смертности в год. Популяционный канцерогенный риск нарушения здоровья населения города от воздействия бенз(а)пирена составил $18,9 \cdot 10^{-6}$ дополнительных случаев онкологических заболеваний в год. Все это, безусловно главные и значимые факторы влияния угольной отрасли на организм человека.

Однако нельзя недооценивать опасность, связанную с воздействием «тяжелых» металлов — компонентов угля и продуктов его сгорания [22]. В настоящем исследовании делается акцент на токсичные элементы, которые могут представлять неканцерогенную опасность для здоровья человека. Проявляется она в получении ощутимого вреда не одновременно с однократным поступлением большой дозы вещества в результате кратковременного острого воздействия. Опасность состоит в том, что при длительном проживании в одной и той же местности человек испытывает пролонгированное воздействие. В течение многих лет небольшие концентрации веществ усваиваются, что приводит к их аккумуляции в костях и органах и грозит возникновением якобы внезапных заболеваний.

6. Заключение

В статье мы рассмотрели хроническое воздействие токсикантов, которые повсеместно присутствуют в атмосфере промышленных городов и не имеют четко выраженной геохимической приуроченности к специфике промышленных производств. При этом элементы-примеси, вносящие наибольший вклад в суммарный риск (кобальт, марганец, медь, мышьяк), обнаружены в углях Междуреченского разреза в концентрациях, превышающих их средние значения в углях Сибири. Их контрастные геохимические аномалии, как правило, не образуются, но в техногенную миграцию вовлекаются значительная их масса. Так, например, если сравнивать различные источники поступления меди в почвы в глобальном масштабе, то на втором месте — угольная пыль и шлаки, глобальное техногенное поступление меди 372 тыс. т в год, больше поступление только при коррозии металлов, 559 тыс. т в год [24]. Подобная ситуация и с техногенным поступлением мышьяка в почвы — 21,8 тыс. т при выбросах угольной пыли и шлаков, 38,5 тыс. т — при коррозии металлов. Вклады остальных источников техногенного поступления микроэлементов в почвы (отходы, отбросы, лесозаготовки, атмосферные выпадения) на порядки ниже.

Добыча, обогащение и использование угля происходит на большом количестве предприятий, окружающих город. Поэтому, по-видимому, коэффициент опасности не слишком отличается в различных районах города, а отражает общую антропогенную нагрузку, связанную с воздействием угольной индустрии, и локальную, связанную с деятельностью ремонтно-механического предприятия и транспорта.

Литература

1. A/RES/66/288. The future we want. Available at: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N11/476/10/PDF/N1147610> (accessed 28 April 2015)
2. A/68/970. Report of the Open Working Group of the General Assembly on Sustainable Development Goals. Available at: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N14/503/67/PDF/N1450367>: (accessed 28 April 2015)
3. Захаренков В.В., Виблая И.В., Олещенко А.М. Проблемы общественного здоровья в Сибирском федеральном округе и пути их решения // Вестник РАЕН. — 2011. — № 13. — С. 39–45.
4. Ларин С.А. Оценка и прогноз канцерогенной опасности для населения угледобывающих регионов России и Украины (на примере Кемеровской и Донецкой областей) Новосибирск: Изд-во СО РАН. — 2010. — 156 с.
5. Александрова Е. А., Евтушик Н. Г., Силенков В. И., Сафонов Л.П., Экологические проблемы г. Междуреченска. — Новокузнецк: Изд-во НГПИ. — 1997. — 117 с.
6. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Изв. Томск. политехн. ун-та. — 2007. — Т. 311. — № 1. — С. 77–83.
7. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореферат дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Томск, 2006. — 46 с.
8. Risk assessment. Guidance for Superfund: Volume 1 - Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim Final. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, USA. USEPA. 1989.
9. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Руководство Р. 2.1.10.1920-04. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. — 273 с.
10. Осипова Н.А., Жорняк Л.В., Язиков Е.Г. Оценка токсического воздействия химического загрязнения почв урбанизированных территорий (на примере г.Томска) // Экология промышленного производства. — 2013. — № 3. — С. 2–10.
11. Антипанова Н.А. Геохимическое загрязнение и канцерогенный риск здоровью экспонируемого населения центра черной металлургии // Современные проблемы науки и образования. — 2007. — №3. — С. 97–101
12. Менчинская О.В. Оценка влияния неканцерогенных веществ на здоровье населения по техногенным геохимическим аномалиям в почвах (на примере Владикавказа) // Прикладная геохимия. — 2004. — № 5. — С. 188–201.
13. Armah FA, Luginaah I, Essandoh PK, Afrifa EKA. Ecological Health Status of the Fosu Lagoon, Southern Ghana I: Biotic Assessment // Journal of Ecosystem & Ecography. — 2012. — Vol.2. Issue 1. — doi:10.4172/2157-7625.1000110
14. Михальчук А.А., Язиков Е.Г., Ершов В.В. Статистический анализ эколого-геохимической информации. Томск, изд-во Томск. политехн. ун-та, 2006. — 235 с.
15. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. — М.: ИМГРЭ, 1982. — 111 с.
16. Д. Тревис. Lab VIEW для всех. М.: Дом книги, 2005. — 544 с.
17. Промежуточный технический отчет. Нормативы качества окружающей среды. [Interim technical report. Environmental Quality Standards. Regulation features of contaminants in soils of Russia and abroad. Available at: http://www.ipprussia.org/public/cluster10/10-4b_soil_RU.pdf. (accessed 12 March 2012)
18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. — 15 с.
19. Dawoud E., Purucker S. Quantitative Uncertainty Analysis of Superfund Residential Risk Pathway Models for Soil and Groundwater: White Paper, Tech. rep., USEPA, 1996.
20. Ferre-Huguet N., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J.L. Human Health Risk Assessment for Environmental Exposure to Metals in the Catalan Stretch of the Ebro River, Spain // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. — 2009. — Vol15. Issue 3. — P. 604–623.
21. Т. Н. Унгурияну Т.Н., А. Б. Гудков А.Б., А. Н. Никанов А.Н. Оценка риска для здоровья городского населения при воздействии контаминантов почвы // Гигиена окружающей и производственной среды. — 2012. — № 1. — С. 101–105.
22. Волостнов А.В., Арбузов С.И. Токсичные элементы в углях Сибири // Энергетик. — 2011. — №3. — С. 39–43.
23. Захаренков В.В. Кислицына В.В. Определение приоритетности природоохранных мероприятий на основе оценки риска для здоровья населения промышленного города // Успехи современного естествознания. — 2014. — №2. — С. 12–15.
24. Мотузова Г.В. Загрязнение почв и сопредельных сред. Изд-во Московского университета, 2000. — 71 с.

References

1. A/RES/66/288, *Budushchee, kotorogo my khotim. Rezolyutsiya, prinyataya General'noy Assambleey OON* [A / RES / 66/288, the future that we want. Resolution adopted by the UN General Assembly], 2012. Available at: <http://www.un.org/ru/documents/ods.asp?m=A/RES/66/288>
2. A/68/970. *Doklad Rabochey gruppy otkrytogo sostava General'noy Assamblei po tselyam v oblasti ustoychivogo razvitiya* [A / 68/970. Report of the Working Group of the General Assembly on the goals of sustainable development]. 2014. Available at: <http://sustainabledevelopment.un.org/>
3. Zakharenkov V.V., Viblaya I.V., Oleshchenko A.M. *Problemy obshchestvennogo zdorov'ya v Sibirskom federal'nom okruge i puti ikh resheniya* [Public health problem in the Siberian

- Federal District and solutions]. *Vestnik RAEN* [Bulletin of Natural Sciences]. 2011, I. 13, pp. 39–45 (in Russian).
4. Larin S.A. *Otsenka i prognoz kantserogennoy opasnosti dlya naseleniya ugledobyvayushchikh regionov Rossii i Ukrainy (na primere Kemerovskoy i Donetskoy oblastey)* [Assessment and forecast of carcinogenic risks for the population of coal-mining regions of Russia and Ukraine (on the example of the Kemerovo and Donetsk regions)]. Novosibirsk, Publ. SO RAN. 2010. 156 p (in Russian).
 5. Aleksandrova E. A., Evtushik N. G., Silenkov V. I., Safonov L.P. *Ekologicheskie problemy g. Mezhdurechenska* [Ecological problems of Mezhdurechensk]. Novokuznetsk, NGPI Publ., 1997 (in Russian).
 6. Arbuzov S.I. *Metallonosnost' ugley Sibiri* [Metallonosnost coal Siberia]. *Izv. Tomsk. politekh. un-ta* [The Tomsk Polytechnic University]. V. 311, I. 1, pp. 77–83 (in Russian)
 7. Yazikov E.G. *Ekogeokhimiya urbanizirovannykh territoriy yuga Zapadnoy Sibiri. Dokt. diss.* [Ecogeochemistry urbanized areas of the south of Western Siberia. Doct. Diss.], Tomsk, TPU Publ. 46 p (in Russian).
 8. USEPA. 1989. Risk assessment Guidance for Superfund: Vol. 1 — Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim Final. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, USA
 9. *Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu. Rukovodstvo R. 2.1.10.1920-04.* [Guidelines for the assessment of health risk when exposed to chemicals that pollute the environment. R. 2.1.10.1920-04 Guide]. Moscow, Federal'nyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava RF Publ., 2004. 273 p (in Russian).
 10. Osipova N.A., Zhorniyak L.V., Yazikov E.G. *Otsenka toksicheskogo vozdeystviya khimicheskogo zagryazneniya pochv urbanizirovannykh territoriy (na primere g.Tomska)* [Evaluation of the toxic effects of chemical contamination of soils in urban areas (for example, Tomsk)]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva: mezhotraslevoy nauchno-prakticheskiy zhurnal* [Ecology of industrial production: interdisciplinary scientific journal]. 2013, I. 3, pp. 2–10 (in Russian).
 11. Antipanov N.A. *Geokhimicheskoe zagryaznenie i kantserogennoy risk zdorov'yu eksponiruemogo naseleniya tsentra chernoy metallurgii* [Geochemical contamination and carcinogenic health risk of the exhibited population center of the steel industry]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2007, I. 3 (in Russian).
 12. Menchinskaya O.V. *Otsenka vliyaniya nekantserogennykh veshchestv na zdorov'e naseleniya po tekhnogennym geokhimicheskim anomalijam v pochvakh (na primere Vladikavkaza)* [Assessing the impact of non-carcinogenic substances on the health of the population at technogenic geochemical anomalies in soils (for example, Vladikavkaz)]. *Prikladnaya geokhimiya* [Applied Geochemistry]. 2004, I. 5, pp. 188–201 (in Russian).
 13. Armah FA, Luginaah I, Essandoh PK, Afrifa EKA (2012) Ecological Health Status of the Fosu Lagoon, Southern Ghana I: Biotic Assessment. *J Ecosyst Ecogr* 2:110. doi:10.4172/2157-7625.1000110
 14. Mikhal'chuk A.A., Yazikov E.G., Ershov V.V. *Statisticheskiy analiz ekologo-geokhimicheskoy informatsii* [Statistical analysis of the ecological and geochemical information]. Tomsk, TPU Publ., 2006. 235 p (in Russian).
 15. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya territoriy gorodov khimicheskimi elementami* [Guidelines for the geochemical assessment of contamination by chemical elements urban areas]. Moscow, IMGRE Publ., 1982. 111 p (in Russian).
 16. D. Trevis. *Lab VIEW dlya vsekh* [Lab VIEW for all]. Moscow, Dom knigi Publ., 2005. 544 p (in Russian).
 17. *Promezhutochnyy tekhnicheskii otchet. Blok deyatelnosti 10. Normativy kachestva okruzhayushchey sredy. 10.4b — Osobennosti normirovaniya sodержaniya zagryaznyayushchikh veshchestv v pochvakh Rossii i za rubezhom* [Interim Technical otchet. Activity Cluster 10 Environmental Quality. 10.4b — Features valuation of contaminants in soils in Russia and abroad]. Available at: URL: http://www.ipccrussia.org/public/cluster10/10-4b_soil_RU.pdf. (accessed 12 March 2012) (in Russian).
 18. *Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Gigenicheskie normativy. GN 2.1.7.2041-06.* [Predelno permissible concentration (MPC) of chemicals in the soil. Hygienic standards. GN 2.1.7.2041-06.] (in Russian)
 19. Dawoud E., Purucker S. Quantitative Uncertainty Analysis of Superfund Residential Risk Pathway Models for Soil and Groundwater: White Paper, Tech. rep., USEPA, 1996.
 20. Ferré-Huguet, N., et al., Human Health Risk Assessment for Environmental Exposure to Metals in the Catalan Stretch of the Ebro River, Spain. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2009. 15(3): p. 604–623.
 21. Unguryanu T.N., Gudkov A.B., Nikanov A.N. *Otsenka riska dlya zdorov'ya gorodskogo naseleniya pri vozdeystvii kontaminantov pochvy* [Health Risk Assessment of urban population exposure to contaminants in the soil]. *Gigiena okruzhayushchey i proizvodstvennoy sredy* [Environmental health and environment], 2012, I. 1, pp. 101–105 (in Russian).
 22. Volostnov A.V., Arbuzov S.I. *Toksichnye elementy v uglyakh Sibiri* [Toxic elements in coal Siberia]. *Energetik* [Energetic]. 2011, I. 3, pp. 39–43 (in Russian).
 23. Zakharenkov V.V., Kislitsyna V.V. *Opreделение prioritnosti prirodookhrannykh meropriyatiy na osnove otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya promyshlennogo goroda* [Prioritization of environmental measures on the basis of risk assessment to public health of the industrial city]. *Meditsinskie nauki* [Medical sciences]. 2014, I. 2, pp. 12–15 (in Russian).
 24. Motuzova G.V. *Zagryaznenie pochv i sopredel'nykh sred* [Pollution of soils and adjacent environments]. Publishing house of the Moscow University, 2000. 71 p.

Heavy Metals in Soils Affected by Coal Enterprises and Their Impact on Human Health

N.A. Osipova, Associate Professor, Ph.D. in Chemistry, Tomsk Polytechnic university

E.G. Yazikov, Head of Geoecology and Geochemistry Department, Professor, Doctor in Geology, Tomsk Polytechnic University

N.P. Tarasova, Director of the Institute of Chemistry and Problems of Sustainable Development, Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Sciences (Chemistry), Professor, D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

K.Yu. Osipov, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch

Concentrations of heavy metals in Southern Kuzbass urban soils affected by coal mining industry and city boilers were studied. The risks of toxic effects of elements found in soils as a result of geochemical sampling (200 samples) were identified. The hazard ratio during the intake of elements - toxins into the human body orally and via inhalation was calculated. Analysis of uncertainty in the estimation of the average daily doses was carried out. The obtained risk parameters fall into the category of permissible or acceptable. The primary contribution to the total hazard ratio is made by the manganese, cobalt, copper, and arsenic. These elements show special features of the soil in the affected area of coal mining, urban boilers everywhere and the activity of repair – metallurgical and foundry businesses locally. No pronounced differentiation of the city areas according to the value of the hazard ratio was discovered.

Keywords: heavy metals, geochemistry of soils, health risk, chemical exposure, coal industry impact.

В Москве пройдет III Международный конгресс «Сбор, хранение переработка и утилизация углеводородсодержащих отходов: актуальные проблемы экологической безопасности России»

Открытие конгресса, который пройдет в рамках подготовки к III Национальному нефтегазовому форуму, состоится 10 июня 2015 г. в ЦВК «Экспоцентр». В деловую программу включены вопросы, связанные с совершенствованием нормативно-правовой базы в сфере экологической безопасности, внедрением новых технологий на перерабатывающих предприятиях, привлечением инвестиций в экологические проекты нефтегазовой отрасли страны и др. Кроме того, будут рассмотрены вопросы внедрения новых экологических стандартов в ТЭК.

Подготовленные в ходе Конгресса рекомендации будут направлены в Администрацию Президента России, Правительство РФ, Совет Федерации и Государственную Думу Федерального Собрания Российской Феде-

рации, с целью содействия формированию в России комплексной системы переработки нефтяных и других опасных промышленных отходов. Мероприятие проводится при официальной поддержке Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Минэнерго России, Союза нефтегазопромышленников России, Комитета по энергетической политике и энергоэффективности РСПП, Комитета по энергетической стратегии и развитию ТЭК ТПП РФ, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. В работе Конгресса планируют принять участие более 300 делегатов из России, Европы, США и Канады.

Информация о конгрессе на сайтах: www.oilandgasforum.ru, www.oil-slime.ru, www.oilgasinform.ru, а также по тел.:

+7 (495) 640-34-64, 620-58-44, 954-76 28.

Физико-химическая оценка восстановления плодородия нарушенных серых лесных почв при их рекультивации

Л.П. Степанова, д-р с.-х. наук, профессор

Е.В. Яковлева, канд. с.-х. наук, доцент

А.В. Писарева, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный университет»

e-mail: Elenavalerevna79@yandex.ru

Ключевые слова:

плодородный слой почвы, деградация нарушенных земель, тяжелые металлы, физико-химические свойства почвы.

В статье рассмотрены вопросы нарушения плодородного слоя почвы, необратимые процессы деградирования серой лесной почвы под действием внесения органических отходов производства. В связи с этим изучена программа определения уровня загрязнения территорий с учетом базовых почвенных характеристик и комплексного характера загрязнения.

1. Введение

Одной из наименее решенных проблем до настоящего времени остается проблема функции почв в экосистемах и биосфере. Вместе с тем изучение влияния почвы на атмосферные, гидрологические, биотические и другие компоненты экосистем и биосферы позволяет найти ответное воздействие на факторы почвообразования. Все геосферы Земли находятся, как известно, в тесном взаимодействии и значительную роль в этом взаимодействии играет почва. Весьма велика роль почвы и в жизни литосферы. Благодаря почвообразованию и выветриванию материя переходит в более активное состояние. Об этом свидетельствует резкое увеличение (в десятки тысяч раз) общей активной поверхности мелкозема по сравнению с монолитом исходных почвообразующих горных пород. Кроме того, функционирование водной оболочки Земли также зависит от ее взаимодействия с почвенным покровом. Почва участвует в формировании речного стока и в трансформации поверхностных вод в грунтовые, а также в жизни атмосферы, поглощая и отражая солнечную энергию и в целом определяя газовый режим атмосферы.

Сейчас, когда неблагоприятное воздействие человека на природу достигло огромных масштабов,

потребность в экологических исследованиях повышается в связи с необходимостью проведения природоохранных мероприятий. Антропогенные изменения всех компонентов окружающей среды, в том числе и почвенного покрова, приобрели в настоящее время такие размеры, что человек прямо или косвенно стал их жертвой.

Признавая важность оценки состояния всех природных сред, особо следует подчеркнуть актуальность оценки состояния почвы, которая в силу своей специфики является средой, депонирующей загрязняющие вещества и во многом определяющей устойчивость экосистемы к негативному антропогенному воздействию. Ее роль долгое время недооценивалась, что выразилось в отсутствии должного внимания как к экологическому мониторингу почвы, так и к системе нормирования в этой области.

В настоящее время ситуация изменилась, однако исследования по оценке антропогенного воздействия на почвенный покров городов и крупных населенных пунктов в основном осуществляются только с целью санитарно-гигиенической характеристики территорий, что накладывает свой отпечаток на формирование программы исследований. В большинстве случаев в программу включают кон-

троль основных токсикантов и интерпретацию полученных данных на базе использования предельно-допустимых концентраций (ПДК) и фоновых значений. В результате таких наблюдений почва рассматривается исключительно как субстрат без учета выполняемых ею экологических функций. В итоге участки земель, в наибольшей степени трансформированные техногенным воздействием, остаются практически неизученными.

В связи с этим существует острая необходимость в проведении более глубокого анализа состояния почв по следующим направлениям: 1) изучение базовых почвенных характеристик в условиях интенсивной антропогенной нагрузки; 2) оценка специфики и степени воздействия различных видов хозяйственной деятельности человека на загрязнение почвенного покрова, в том числе на территории промышленных зон.

Необходимость исследований вызвана крайне неблагоприятным состоянием окружающей среды в зоне интенсивной хозяйственной деятельности и потребностью в разработке системы мероприятий по реабилитации и охране природных объектов на таких территориях, включая промышленные площадки и участки размещения отходов производства и потребления. Решить эту задачу можно только при наличии полной информации о специфике современного состояния природных сред и, прежде всего, почвы. Более того, востребованность такого направления обусловлена увеличением экономической значимости результатов исследования почв, связанных с определением размера экологических платежей от субъектов хозяйственной деятельности.

Кроме наличия информации о загрязнении, крайне важна ее объективная интерпретация (особенно, когда речь идет о комплексном загрязнении), а также идентификация источника загрязнения. Проблема выявления причин и виновников загрязнения стала особенно актуальной в последние годы в свете усиления борьбы с экологическими правонарушениями, одним из наиболее действенных инструментов которой является судебная экологическая экспертиза. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, программа которых ориентирована на определение уровня загрязнения территорий с учетом базовых почвенных характеристик и комплексного характера загрязнения.

Сформировавшиеся почвы в значительной степени определяют устойчивость экосистем к деградации. При этом на каждом поле и на определенной территории встречается не одна почва, а сочетание различных почв. Характер структуры почвенного покрова территории оказывает значительное влияние на экологическую ситуацию. В связи с этим при экологической оценке земель необходимо учитывать не только процессы, связанные с антропогенным воздействием на почву, но и естественные почвообразовательные процессы.

2. Результаты исследований

Исследования проводились на земельном участке, расположенном по адресу Орловская область, Мценский район, с/п Отрадинское. Это элементарный почвенный ареал серой лесной среднесуглинистой почвы, нарушенный в результате действий ЗАО Сахарный комбинат «Отрадинский». Это послужило основанием для выбора показателей оценки состояния плодородия почвы, ее экологической и производительной способности.

Для оценки степени нарушения — порчи или уничтожения — плодородного слоя почвы на земельных участках сельскохозяйственного назначения проведено исследование особенностей генезиса и строения профиля почвы исследуемых участков. Согласно проведенным полевым исследованиям земельных участков и составленного Паспорта почвы по ГОСТ 17.4.2.03-86, почва, не нарушенная выемкой почвогрунта, относится к типу и подтипу серых лесных почв Albic Luvisols со следующей системой морфологических горизонтов: $A_{22}^0 - A_1 A_{35}^{22} - A_2 B_{52}^{35} - B_{90}^{52} - BC_{115}^{90} - C^{115} \downarrow$.

Профиль морфологически четко дифференцирован по эллювиально-иллювиальному типу как следствие проявляющихся на фоне преобладающего дернового процесса почвообразования таких элементарных почвенных процессов, как лессиваж¹, оподзоливание. В указанных почвах протекает заметно выраженный процесс оглинивания, в результате этого процесса и передвижения илестых частиц формируется плотный иллювиально-текстурный горизонт².

На исследуемых земельных участках не только была проведена выемка плодородного гумусового слоя почвы, но и удалены нижележащие генетиче-

¹ **Лессиваж** (лессивирование, илимиризация) — перенос в почвенном профиле коллоидов и предколлоидных частиц без изменения их химического состава, т.е. без гидролиза и растворения. В почвенном профиле выделяются горизонты выноса и накопления тонкодисперсных частиц (Редакция).

² **Иллювиальный горизонт** — почвенный горизонт, в котором накапливаются вещества, вынесенные из верхних горизонтов: оксиды железа, глинистые и гумусовые частицы и др. Иллювиальный горизонт обычно окрашен в бурый цвет (Редакция).

ские горизонты почвы до глубины 2,5 м, с последующим их перемешиванием при засыпке траншей. Это обусловило формирование на нарушенных земельных участках элементарного геохимического ландшафта, т.е. пространства с разной интенсивностью миграции и аккумуляции соединений (ширина 5 м, длина 800 м), составом и свойствами, отличающимися от ненарушенных почв (табл. 1).

Анализируя полученные данные о составе нарушенных участков почвенного покрова после завершения их механической рекультивации (засыпка траншеи изъятым почвогрунтом), можно сделать вывод о полном уничтожении исходного профиля почвы и ее генетических горизонтов, утрате плодородия и, как следствие, производительной способности почвы. Если в ненарушенном пахотном горизонте почвы содержание органического углерода составило 2,55%, а количество гумусовых веществ 4,4%, то в слое 0–20 см насыпных почвогрунтов в нарушенных участках количество органического углерода снижалось в 3–21 раз по сравнению с ненарушенной почвой, содержание гумуса колебалось в пределах 0,2–1,5%, что свидетельствует о нарушении технологии проведения механической рекультивации. Выемка плодородного гумусового слоя почвы должна складироваться отдельно, не допуская перемешивания с более глубокими слоями почвы и грунтов. При засыпке траншеи сначала размещают малоплодородные слои, а в верхние слои насыпают плодородный слой почвы. Величина рН находится

на уровне 7,1–7,52, что приближается к величине рН в ненарушенной почве — 7,34. Содержание подвижных форм фосфора и калия в восстановленных после рекультивации участков очень низкое по подвижному фосфору — 0,08–0,95 мг/100 г и низкое по содержанию обменного калия — 3,1–9,7 мг/100 г почвы. По сравнению со значениями этих показателей в ненарушенном пахотном слое серой лесной почвы установленное содержание питательных элементов в рекультивируемой почве в 17–206 раз ниже показателя подвижного P_2O_5 в исходной почве, а количество обменного калия в 3,6–11 раз ниже содержания обменного калия в пахотном ненарушенном слое.

Поскольку отдельные горизонты почвы, мезо- и микрозоны являются геохимическими барьерами, то с их уничтожением в этих ландшафтах изменяются интенсивность и направления миграции вещества, энергии и информации внутри почвенной системы между ее компонентами и из почвы в окружающую среду. Это оказывает существенное влияние на эволюцию почвы.

Помимо вещества и энергии, почва может поглощать и выделять информацию, которая заключена в структурных взаимосвязях между свойствами почв, в изменении вещества и энергии во времени и пространстве. В наибольшей степени информация заключена в органическом веществе, органо-минеральных соединениях, минералогическом составе. При изменении матрицы почв изменяются закономерности получения и трансформации информации в почве, особенно это относится к почве-моменту⁴. Такое состояние почвы было создано в 2012 г. при проведении механической рекультивации нарушенных почвенных территорий и в 2013 г. при проведении органо-минеральной рекультивации при внесении на поверхность восстановленных насыпных участков дефеката⁵.

Учитывая потоки вещества, энергии и информации в почвах, следует отметить взаимовлияние почв в структуре почвенного покрова и взаимовлияние горизонтов. Влияние на свойства почв и протекающие в них процессы определяются экстенсивными и интенсивными параметрами. Интенсивный параметр определяет возможность протекания процесса (рН); экстенсивный — скорость (концентрация H^+)

Таблица 1

Показатели физико-химических свойств пахотного слоя серой лесной среднесуглинистой нарушенной почвы после механической рекультивации

№ почв. участка	рН	Гумус, %	P ₂ O ₅ K ₂ O		C _{орг} , % ³
			мг/кг		
<i>Нарушенная почва</i>					
1	7,42	0,2	0,8	48,3	0,12
2	7,52	1,5	2,1	96,6	0,87
3	7,10	0,8	9,5	97,3	0,46
4	7,17	0,9	8,4	31,0	0,52
Контроль без нарушения	7,34	4,4	65,1	350,8	2,55

³ C_{орг} — органический углерод — углерод, входящий в состав органического вещества атмосферы, гидросферы и пород (Редакция).

⁴ Почва-момент — информация, записанная в морфологии и физико-химии почв, о современном процессе почвообразования, т.е. это «жизнь» почвы (Редакция).

⁵ Дефекат — отход свеклосахарного производства. Содержит в основном CaCO₃ с примесью Ca(OH)₂, а также небольшое количество N, P₂O₅, K₂O и органического вещества. Применяется для известкования кислых дерново-подзолистых и серых лесных почв, а также как местное удобрение. По некоторым данным, дефекат превосходит по эффективности известь при внесении в эквивалентном по CaO количестве (Редакция).

и эффект процесса. Например, развитие оподзоливания в серых лесных почвах определяется рН и количеством ионов H^+ , образующихся при разложении органических остатков, константной нестойкости образующихся комплексонов и количеством в мигрирующих водах лигандов комплексонов, количеством окислителей в мигрирующих растворах. Это доказывает, что внесение в траншею фильтрационного осадка свеклосахарного производства – сахарного дефекаата, в связи с большой комплексообразующей и окислительно-восстановительной способностью содержащихся в нем органических соединений, большей величиной рН – обусловит большую выраженность процессов элювирования и миграции соединений (табл. 2).

Анализ почвенных образцов, отобранных на исследуемых опытных участках, показал изменение величины рН в сторону его увеличения под действием дефекаата по сравнению со значениями после механической рекультивации, и увеличение подвижных форм фосфора и калия в гумусовом слое. При этом содержание P_2O_5 возросло в 7–88 раз по сравнению с данными анализов почвы после механической рекультивации, но в 3 раза это количество было ниже значения контрольного участка почвы без нарушения. Установлено изменение обеспеченности почвы подвижным калием: его количество в 2013 г. после внесения дефекаата увеличилось почти в 9 раз по сравнению с показателями 2012 г. и приближалось к среднему значению концентрации калия в ненарушенных почвах — 399,5 мг/кг.

Значительные изменения произошли в содержании гумуса в пахотном слое серой лесной почвы. Если 2012 г. при восстановлении нарушенных земель установлено практически полное уничтожение гумусового горизонта, содержание углерода органических соединений в слое грунта глубиной 20 см достигало в среднем 0,49%, что в 5 раз было ниже значения содержания органического углерода

в почве контрольного участка, то внесение дефекаата способствовало увеличению содержания органического углерода до 1,44%, что почти в 2 раза ниже значения контрольного варианта, но в 3 раза превышало значение органического углерода в грунтах нарушенных земель. Содержание гумуса в рекультивируемых почвогрунтах колебалось в пределах 1,98–2,81%.

Отдельные свойства почв в большей степени обусловлены почвообразующей породой, а не типом почвы, для которого характерно определенное сочетание свойств почв. Пути оптимизации плодородия зависят от сочетания свойств почвы и их взаимосвязей.

Эволюция почвы идет в направлении ее изменения в сторону увеличения степени равновесия с окружающей средой. Поэтому изменение свойств искусственно созданных питательных грунтов (почвогрунтов) тесно связано с факторами почвообразования, которые влияют на отдельные свойства почв в разной степени (микробиологическая активность пород, минералогический состав пород, влияние температуры, влажности, солнечной радиации). При освоении таких участков (очагов накопления поллютантов за счет деятельности человека) токсиканты мигрируют в определенные территории, что увеличивает опасность отложенных последствий.

В значительной степени на интенсивность протекающих почвообразовательных процессов влияет миграция вещества, энергии и информации в водную и воздушную среды. По полученным нами данным, испарение из почвы и продукты транспирации растений содержат катионы, анионы, органические соединения пропорционально их содержанию в почвах и растениях, т.е. пропорционально степени загрязнения или окультуривания. Миграция веществ определяется действием различных факторов: гравитационным полем, электрическим, магнитным, концентрационным и т.д., при этом векторы миграции могут быть направлены в разные стороны. Миграция веществ и микроорганизмов происходит в виде положительно и отрицательно заряженных соединений, гидрофобных и гидрофильных продуктов; миграция органических и неорганических соединений из почвы в воздушную среду с испарением, с транспирацией растений, показана миграция веществ весной по промерзающему слою на глубине 10–20 см и к слою низких температур, возможна значительная миграция веществ по оттаявшему слою над промерзающим слоем почвы.

При внесении больших доз органических веществ удобрений происходит смена микробных

Таблица 2

Показатели физико-химических свойств пахотного слоя серой лесной среднесуглинистой нарушенной почвы после внесения дефекаата

№ почвенного участка	рН	Гумус, %	P ₂ O ₅ K ₂ O		C _{орг} %
			мг/кг		
<i>После внесения дефекаата</i>					
1	7,50	2,64	56,0	382,0	1,53
2	7,78	2,81	52,0	393,8	1,62
3	7,5	1,98	70,4	417,0	1,15
4	7,83	2,52	65,6	410,5	1,46
Контроль без нарушения	6,92	4,32	172,0	399,5	2,51

сообществ, сукцессия растительных сообществ, эволюция почв и смена разных этапов реакций: сначала происходят наиболее быстрые реакции, затем образуются наиболее термодинамически устойчивые соединения. При оценке влияния органических удобрений на состояние почв и развитие растений необходимо учитывать не только содержание в них биофильных элементов и токсикантов, но и функциональные свойства применяемых удобрений по следующим параметрам: емкость поглощения катионов, наличие в их составе групп СООН, фенольных, спиртовых, хинонных и кетонных групп. Кроме указанных функциональных свойств, органические вещества почв, удобрений, растительных остатков характеризуются ингибирующей, стимулирующей и структурообразующей способностью, антипатогенной функцией, определенной влагоемкостью и прочностью связи воды.

Необходимо по указанным параметрам оценивать органические отходы сахарного производства, используемые как удобрительные формы, сертифицировать исходные компоненты применяемых органических удобрений, строго регулировать условия и сроки компостирования. Влияние органических удобрений на свойства почвы обусловлено также микробиологической активностью органических соединений, изменяющей протекание микробиологических и ферментативных процессов в почве, влиянием вносимых и образующихся в почве органических соединений на адекватность и скорость ответа почв на внешние воздействия. Особо следует указать, что возникающие очаги деградации в наименее устойчивые к деградации этапы развития почвы и растений затем лавинообразно усиливаются (молодые почвы легче поддаются внешним воздействиям, но они и менее устойчивы к деградации).

Как следует из приведенных данных анализа почвенных проб, отобранных с указанных выше земельных участков, не только нарушена взаимосвязь генетических горизонтов в профиле серой лесной среднесуглинистой почвы, но и механическим заполнением траншей мелкоземом и дефекатом полностью уничтожены профильные взаимосвязи генетических горизонтов. Это привело к изменению структурно-агрегатного состава, снижению гумусового состояния и питательного режима в созданных питательных грунтах нарушенных территорий.

3. Заключение

На исследованных земельных участках сельскохозяйственного назначения полностью уничтожены профильное расположение и взаимосвязи генетиче-

ских горизонтов серой лесной среднесуглинистой почвы на площади 0,88 га, восстановить которые невозможно. Согласно расчетам размер нанесенного вреда по «Методике исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (Приказ Минприроды России № 238 от 8.07.2010 г.) составляет 9 152 000 руб. Ущерб рассчитан по формуле:

$$УШ_{порч} = S K_r K_{исх} T_x,$$

где S — площадь участка m^2 ;

K_r — показатель глубины порчи почвы до 50 см (1,3 м);

$K_{исх}$ — показатель категории земель и целевого назначения, сельскохозяйственные угодья (1,6);

T_x — такса для исчисления размера вреда (лесостепная зона серых лесных почв = 500 руб./ m^2).

Результаты выполненных анализов грунтов показывают, что нарушение проекта рекультивации по восстановлению плодородного слоя почвы привело к неоднородности гумусового состояния и показателей, характеризующих кислотно-основное состояние и питательный режим созданных питательных грунтов на нарушенных территориях. В нарушение технологии рекультивационных работ был использован фильтрационный осадок свекло-сахарного производства – сахарный дефекат — для создания плодородного слоя, что обусловило образование элементарного геохимического агроландшафта, усиление процессов оподзоливания, изменение окислительно-восстановительных условий, миграции органо-минеральных соединений, изменение микробиологического состояния почвы. Это представляет реальную опасность в волновом распространении загрязняющих веществ в горизонтальном и вертикальном направлениях как на нарушенных территориях, так и на прилегающих к ним почвенным участкам.

Допущенное нарушение при выемке почвенной массы до глубины 2,5 м геохимических барьеров, характерных для профиля серых лесных почв, создает экологическую напряженность исследуемых территорий и требует контроля показателей, характеризующих экологическое состояние ландшафтов в сезонной динамике от весны к лету и осени, и от осени к зиме и весне, так как знание таких изменений позволяет более точно прогнозировать изменение физико-химических и агрохимических свойств почв в течение года. Знание таких изменений позволит более точно прогнозировать и оценивать влияние на плодородие почвы и степень эволюции почвы.

Литература

1. Савич В.И. Агрономическая оценка гумусового состояния почв. Парахин Н.В., Степанова Л.П. и др. Орёл: ОГАУ, 2001. — Т. 1. — 233 с.; — Т. 2. — 204 с.
2. Савич В.И. Использование биологических генетических тестов при оценке загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции свинцом // Известия ТСХА, 2003, вып. 1, с. 1–12.
3. Седых В.А. Изменение подвижности тяжелых металлов в почвах при применении высоких доз органических удобрений // Изв. Оренбургского ГАУ, 2012, №4. — С. 209–212.
4. Степанова Л.П. Воздействие солевых алюминиевых шлаковых отходов производства на экологическое состояние серых лесных почв и здоровье человека (на примере территории шлакового отвала МЗАЛ, п. Б. Думчино, Мценского района, Орловской области) // Вестник РУДН, 2009. — № 2. — С. 82–88.
5. Степанова Л.П. Влияние техногенеза на экологическое состояние серых лесных почв // Вестник РУДН. 2010. № 2. С. 50–59.
6. Яковлева Е.В., Коренькова Е.А., Мышкин А.И., Степанова Е.И., Таракин А.В., Степанова Л.П. Влияние техногенеза на качественный состав и количественные параметры геохимических аномалий в водах р. Ока // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо», 2013. — № 2 (13).

References

1. Savich V.I. *Agronomicheskaya otsenka gumusovogo sostoyaniya pochv* [Agronomic evaluation of the state of soil humus]. Orel, OGAU, 2001, V. 1. 233 p.; V. 2. 204 p (in Russian).
2. Savich V.I. Ispol'zovanie biologicheskikh geneticheskikh testov pri otsenke zagryazneniya pochv i sel'skokhozyaystvennoy produktsii svintsom [Use of biological genetic tests in assessing the contamination of soil and agricultural produce lead]. *Izvestiya TSKhA* [Proceedings of the TAA], 2003, I. 1, pp. 1–12 (in Russian).
3. Sedykh V.A. *Izmenenie podvizhnosti tyazhelykh metallov v pochvakh pri primenenii vysokikh doz organicheskikh udobreniy* [Changing the mobility of heavy metals in soils with high doses of organic fertilizers]. *Izv. Orenburgskogo GAU* [Bulletin of Orenburg State Agrarian University], 2012, I. 4, pp. 209–212 (in Russian).
4. Stepanova L.P. *Vozdeystvie solevykh alyuminievyykh shlakovykh otkhodov proizvodstva na ekologicheskoe sostoyanie serykh lesnykh pochv i zdorov'e cheloveka* (na primere territorii shlakovogo otvala MZAL, p. B. Dumchino, Mtsenskogo rayona, Orlovskoy oblasti) [Effects of aluminum salt slag waste products on the ecological status of gray forest soils and human health (for example, the territory of the slag dump MZAL, p. B. Dumchino, Mtsensk District, Oryol Region)]. *Vestnik RUDN* [Bulletin PFUR], 2009, I, pp. 82–88 (in Russian).
5. Stepanova L.P. *Vliyanie tekhnogeneza na ekologicheskoe sostoyanie serykh lesnykh pochv* [The impact on the ecological state of technogenic gray forest soils]. *Vestnik RUDN* [Bulletin PFUR]. 2010, I. 2, pp. 50–59 (in Russian).
6. Stepanova L.P., *Vliyanie tekhnogeneza na kachestvennyy sostav i kolichestvennyye parametry geokhimicheskikh anomaliy v vodakh r. Oka* [Influence of technogenic on the qualitative composition and quantitative parameters of geochemical anomalies in the waters of the river Oka]. *Elektronnyy nauchno-proizvodstvennyy zhurnal «AgroEkoInfo»* [Electronic scientific magazine "AgroEcoInfo"]. 2013, I. 2 (13) (in Russian).

Physico-Chemical Evaluation of Fertility Restoration of Damaged Gray Forest Soils under Reclamation

L.P. Stepanova, Doctor of Agriculture, Professor, Orel State Agricultural University

E.V. Yakovleva, Candidate of Agricultural Sciences, Assistant Professor, Orel State Agricultural University

A.V. Pisarev, Postgraduate Student, Orel State Agricultural University

The paper deals with disturbances of topsoil, irreversible processes of gray forest soil degradation under the influence of organic waste. In connection with this the program to determine the level of contamination areas was studied, taking into account the basic characteristics of the soil and the complex nature of the contamination.

Keywords: fertile layer of soil, degradation of damaged land, heavy metals, physical and chemical properties of the soil.

Сейсмическое воздействие массовых взрывов на природно-технические объекты

Н.Н. Гриб, зам. директора по научной работе, д-р техн. наук, профессор

Г.В. Гриб, заведующая лабораторией, канд. геол.-мин. наук

А.А. Сясько, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук

А.В. Качаев, заведующий лабораторией

Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета, г. Нерюнгри

e-mail: grib@nfygu.ru

Ключевые слова:

массовый взрыв, сейсмический эффект, максимальная векторная скорость, природно-технические объекты.

Сейсмическая безопасность массовых взрывов является одной из наиболее важных проблем при разработке полезных ископаемых открытым способом. Наибольший интерес представляет изучение сейсмического эффекта массовых взрывов, который влияет на целостность промышленных и жилых объектов. В данной статье представлена оценка степени негативного воздействия сейсмических эффектов от массовых взрывов разреза «Нерюнгринский» на природно-технические системы, расположенные в зоне влияния взрывных работ. Основной характеристикой оценки сейсмического воздействия взрывной волны, способной вызвать повреждения природно-технических сооружений, является максимальное значение векторной скорости перемещения грунта при массовых взрывах. При определении допустимых скоростей колебаний учитывался их частотный состав, поскольку волны различной частоты при равных значениях скорости смещения представляют опасность в неодинаковой степени. При оценке сейсмического действия взрывов учитывались особенности частоты колебаний сооружений как от сейсмического воздействия самих взрывов, так и частоты собственных колебаний сооружений. Учитывая спектральный состав колебаний, возбуждаемых взрывами, и значения собственных частот колебаний емкостей с газом и здания компрессорной станции, частоты отличаются в 1,5–2 раза, что исключает возникновение резонансных явлений. При определении допустимой скорости учитывалась раскачка здания. Здесь под раскачкой понимается отношение максимального смещения, измеренного на верхних точках сооружений, к максимальному смещению грунта фундамента. По результатам прямых измерений раскачка не превышает 1, 5 раза, поэтому можно опираться на преобладающие значения отношений, полученных экспериментальным путем, как статистически обоснованные, и допустимые скорости для исследуемых объектов принять $U_{дон} = 1,25$ см/с.

1. Введение

Сейсмическая безопасность массовых взрывов является одной из наиболее важных проблем при разработке полезных ископаемых открытым способом. При постоянном увеличении добычной площади разреза «Нерюнгринский», приближении фронта горных работ к особо охраняемым объектам и повышении требований к устойчивости ранее возведенных зданий и сооружений, а также бортов разреза, вопрос о сейсмическом

воздействии стоит весьма остро. Это делает необходимым проведение мониторинговых исследований сейсмических волн от карьерных взрывов и техногенных землетрясений, а также уточнение зональности сейсмического воздействия при выборе параметров взрывной технологии для конкретных условий.

Известен негативный эффект сейсмического воздействия взрывов на биообъекты. Внезапные колебания почвы или сотрясения зданий и конструкций

вызывают у людей дискомфорт даже при относительно слабых амплитудах сейсмических волн.

Для сохранения природной среды, здоровья людей, целостности охраняемых объектов необходимо целенаправленное, комплексное изучение процессов, связанных с техногенным воздействием открытых горных работ на окружающую среду и человека. Для решения данной задачи в структурных предприятиях ОАО ХК «Якутуголь» организованы мониторинговые исследования сейсмического воздействия взрывов на здания и сооружения, расположенные в непосредственной близости и в ближней зоне (5–10 км) от разреза.

2. Методика исследований

Основной характеристикой оценки сейсмического воздействия взрывной волны, способной вызвать повреждение природно-технических сооружений, является максимальное значение векторной скорости перемещения грунта при массовых взрывах. Допустимая скорость колебаний зависит от назначения и состояния сооружений того или иного класса. Согласно общепринятой классификации зданий и сооружений для установления допустимых скоростей колебаний все охраняемые объекты делятся по степени ответственности на четыре класса [1]:

- I класс — особо ответственные здания и сооружения общегосударственного и республиканского значения, исторические и архитектурные памятники, ведение взрывных работ вблизи которых возможно лишь в исключительных случаях;
- II класс — сооружения промышленного назначения большой важности: трубы, здания цехов

больших размеров, копры шахт, водонапорные башни и т.п. со сроком службы 20–30 лет; здания и сооружения гражданского назначения с большим скоплением людей, кинотеатры, дома культуры и т.п.;

- III класс — сооружения промышленного и служебного назначения сравнительно небольших размеров в плане и не выше трех этажей по высоте: механические мастерские, компрессорные, бытовые комбинаты и т.п.; здания гражданского назначения с небольшим скоплением людей, магазины, служебные помещения и т.п.;
- IV класс — здания промышленного и гражданского назначения с ценными и дорогостоящими машинами и приборами, нарушение которых не угрожает жизни и здоровью людей: складские помещения, экипировочные пункты для транспорта, здания автоматизированных холодильников, компрессорных установок и т.п.

При определении допустимой скорости используются различные подходы. Один из них – экспертная оценка специалистов: строителей, проектировщиков, сейсмологов и др. Другой способ предполагает экспериментальное получение зависимости доли поврежденных зданий от скорости смещения грунта в их основании. Допустимые и предельные скорости колебаний грунта для зданий и сооружений, находящихся в зоне сейсмического действия взрывов, можно определять на основе специально разработанных шкал для оценки последствий взрывов.

Наибольшее распространение получил метод вероятностной оценки сейсмического эффекта взрыва

Таблица 1

Допустимая скорость колебаний грунта в основаниях зданий и сооружений, в зависимости от их класса, см/с [1]

Характеристика зданий и сооружений	II	III	IV
Здания и сооружения промышленного или гражданского назначения с железобетонными или металлическим каркасом с навесными панелями или легким заполнителем, имеющие антисейсмические усиления. Качество строительных работ хорошее, без отклонений от расчетной схемы. Остаточных деформаций в несущих элементах, конструкциях и заполнителе не имеется	5	7	10
Здания и сооружения с железобетонным или металлическим каркасом с заполнителем, без антисейсмических усилений. Остаточных деформаций нет	2	5	7
Каркасные здания, заполнитель – кирпичная или каменная кладка, трещины в заполнителе. Новое или старое крупноблочное или кирпичное здание без антисейсмических усилителей. Качество строительных работ хорошее. Остаточных деформаций не имеется	1.5	3	5
Каркасные здания, имеющие значительные нарушения в заполнителе и трещины в каркасе. Новое или старое здание из кирпича или крупных блоков, имеющее отдельные небольшие трещины в несущих стенах и перегородках	1	2	3
Старое или новое здание каркасного типа, имеющее трещины в каркасе, нарушения связей между отдельными элементами.			
Кирпичное или крупноблочное здание с несущими стенами, имеющими значительные нарушения в виде косых трещин, трещин в углах и т.п.			
Здания и сооружения, имеющие нарушения железобетонного каркаса, коррозию арматуры каркаса, крупные трещины в заполнителе. Здания с несущими стенами, имеющими значительное число трещин, нарушений связей между наружными и внутренними стенами и т.п.	0,5	1	2
Крупнопанельные здания без антисейсмических усилений	0,3	0,5	1

и допустимой скорости [1, 2]. В табл. 1 приведены значения допустимых скоростей в зависимости от класса, характеристики и состояния здания [1].

Регистрация сейсмике массовых взрывов, производимых в разрезе «Нерюнгринский», велась на объектах ООО «Лена Газ». Измерения проводились как на грунте в основании фундамента сооружений, так и на здании компрессорной станции и емкостях с газом.

Здание компрессорной станции кирпичное, одноэтажное, фундамент бетонный, внутренние перегородки кирпичные, без антисейсмического усиления, здание без видимых повреждений. Емкости с газом металлические, зарытые в землю, видимых повреждений и коррозии металла не наблюдалось. Исследуемые объекты согласно классификации относятся к III классу [1, 3]. На основании табл. 1 допустимая скорость колебаний грунта для сооружений данного класса составляет ≤ 5 см/с. Многократные взрывные воздействия повышают сейсмический эффект на 1–2 балла [4]. При многократном воздействии, вследствие накопления деформаций, рекомендуется снизить допустимую скорость в 2–4 раза. Учитывая, что взрывные работы в разрезе «Нерюнгринский» ведутся более 25 лет, рекомендуется снизить допустимую скорость в 4 раза, т.е. допустимую скорость колебаний грунта вокруг зарытой емкости следует принять равной 1,25 см/с.

Многообразие влияющих факторов ведет к тому, что в производственных условиях сейсмический эффект промышленных взрывов носит вероятностный характер. В свою очередь это делает необходимым использование математических методов. Допустимая скорость смещения в основании охраняемых объектов рассчитывается по зависимости, приведенной в [5]:

$$U_{\text{доп}} = 10e\sqrt{e^{k-p}}, \text{ см/с,}$$

где e — основание натурального логарифма;

k — класс сооружения по СНиП А-3.62 и А-12-69;

p — суммарный ранг объекта, учитывающий качественные и строительные особенности.

Скорость составляет $U_{\text{доп}} = 1,2$ см/с, поэтому для оценки сейсмоопасности исследуемого объекта принимаем значение $U_{\text{доп}} = 1,25$ см/с.

Всего за период мониторинга выполнены инструментальные измерения сейсмических эффектов от взрывов, расположенных практически по всему полю разреза (как по вертикали, так и по фронту, где велись горные работы). Взорванные блоки были забурены скважинами диаметром 244,5–314,3 мм. Применялась прямоугольная и квадратная сетка скважин от 5×5 м до 11×9 м с глубиной скважин от 2–18 м.

Конструкция зарядов взрывчатого вещества (ВВ), в основном сплошная, с коэффициентом заполнения скважины взрывчатым веществом от 0,5 до 0,7 длины скважины. Использовались как гранулированные ВВ, так и эмульсионные. Внутрискважинная сеть монтировалась с использованием изделий скважинных неэлектрических систем инициирования, поверхностная — с использованием изделий поверхностных неэлектрических систем инициирования с замедлением (25, 42, 67, 109, 176 миллисекунд — мс) или детонирующего шнура и пиротехнических реле (20, 45, 60, 80 мс).

Для регистрации сейсмических колебаний использовалась 12-канальная цифровая инженерно-сейсмометрическая станция «Байкал-14» в комплекте с сейсмоприемниками ОСП-2М (собственный период 0,167 с, затухание 10–15). Станция «Байкал-14» непосредственно регистрирует ускорение колебаний грунта в диапазоне частот 0,7–20 Гц и диапазоне амплитуд ускорения 0,01–30 см/с². Все измерительные каналы прокалиброваны на виброплатформе, что позволяет измерять сигналы в абсолютных уровнях ускорения. Цифровая сейсмическая станция укомплектована пакетом программ для регистрации и оперативной обработки сейсмических данных [3]. Программа регистрации «RegBaykalAll.exe» предназначена для сбора информации от сеймостанции. В процессе работы программа регистрации создает директорию «Data», в которую записываются файлы сейсмических колебаний от взрывов. При взрывах в разрезе «Нерюнгринский» регистрировались сейсмические колебания грунта в основании охраняемых объектов (X_1, Y_1, Z_1) и конструкций зданий этих объектов (X_2, Y_2, Z_2) (рис. 1).

Анализ сейсмологической информации, обработка записей взрывов проводилась с помощью специ-

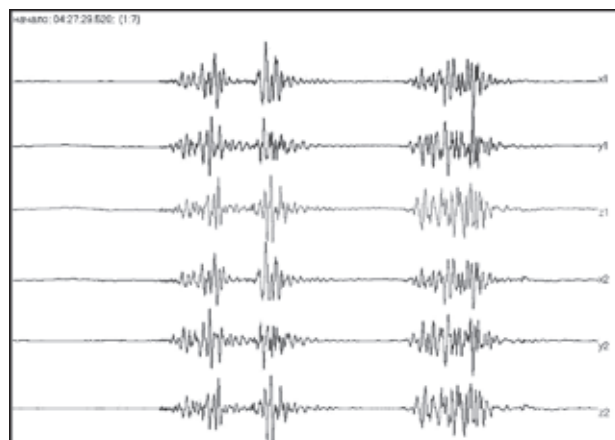


Рис. 1. Пример регистрации сейсмических колебаний от взрывов 19.01.13 г.: X_1, Y_1, Z_1 — колебания грунта в основании емкости; X_2, Y_2, Z_2 — колебания конструкции емкости с газом

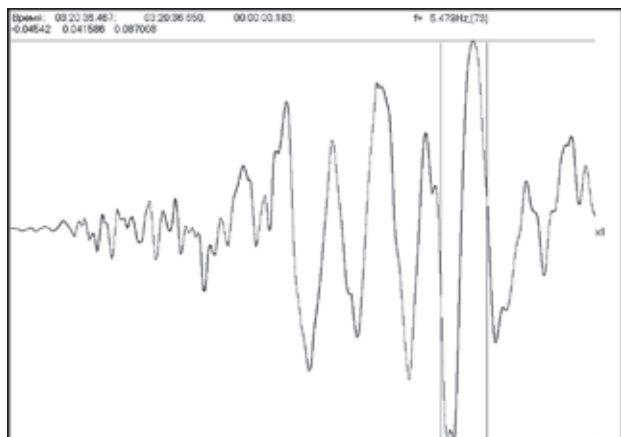


Рис. 2. Пример определения максимальной амплитуды скорости U_x и соответствующей ей частоты

ализированной программы «ХХ.exe». Программа обработки позволяет работать с файлами, созданными программой регистрации и сбора сейсмических данных. Определение вибросмещений или виброскорос-

стей проводилось численными методами с использованием операции интегрирования. Измерялись максимальные амплитуды скоростей и соответствующие им частоты (рис. 2). Результаты измерений скорости колебаний грунта и сооружений при взрывах приведены в табл. 2.

Так как при массовых взрывах производится одновременное инициирование нескольких взрывааемых блоков, в разной степени удаленных друг от друга в горизонтальной и/или вертикальной плоскостях, сейсмоприемники ОСП-2М ориентировались не относительно взрыва, а относительно осей защищаемого сооружения по направлениям: X — поперечное направление, Y — продольное, Z — вертикальная ось.

3. Обсуждение результатов

При рассмотрении кинематических элементов сейсмических волн объективное определение сейсмического эффекта наиболее точно и полно дает векторное значение скорости перемещений [6, 7, 1]. Наи-

Таблица 2

Результаты измерения скорости колебаний грунта и сооружений при взрывах на объекте «Лена Газ»

Дата	Блок	Пункт наблюдения	U_x , мкм	f_x , Гц	U_y , мкм	f_y , Гц	U_z , мкм	f_z , Гц	U_{xyz} , см/с	Место наблюдения
19.01.2013	1 блок	ПН-5	0,01	2,4	0,01	1,5	0,01	3,8	0,02	грунт
		ПН-6	0,01	3,8	0,01	1,5	0,01	3,6	0,02	2,74
	2 блок	ПН-5	0,02	1,4	0,03	2,0	0,02	1,9	0,04	грунт
		ПН-6	0,02	1,9	0,03	2,0	0,02	1,9	0,04	2,74
	3 блок	ПН-5	0,03	1,3	0,03	1,5	0,03	1,3	0,05	грунт
		ПН-6	0,02	1,3	0,03	1,2	0,02	1,6	0,04	2,74
	4 блок	ПН-5	0,02	1,6	0,03	1,5	0,01	1,1	0,04	грунт
		ПН-6	0,01	1,5	0,02	1,5	0,02	1,1	0,03	2,74
	5 блок	ПН-5	0,02	1,4	0,03	2,1	0,02	1,1	0,04	грунт
		ПН-6	0,02	2	0,03	2,1	0,02	1	0,04	2,74
23.01.2013	1 блок	ПН-5	0,01	1,6	0,01	2,0	0,01	2	0,02	грунт
		ПН-6	0,02	1,6	0,01	2,1	0,01	2,2	0,02	2,74
02.02.2013	1 блок	ПН-5	0,01	1	0,03	0,8	0,03	0,7	0,04	грунт
		ПН-6	0,01	0,9	0,02	1,6	0,02	3,8	0,03	2,74
	2 блок	ПН-5	0,01	1,9	0,03	1,3	0,03	0,8	0,04	грунт
		ПН-6	0,01	1,9	0,02	2,0	0,02	2,3	0,03	2,74
09.02.2013	1 блок	ПН-5	0,75	6,1	0,65	5,3	0,54	4,9	1,13	грунт
		ПН-6	0,88	20	0,83	1,5	1,00	20,5	1,13	2,74
	2 блок	ПН-5	0,31	5,4	0,26	1,9	0,37	7,1	0,55	грунт
		ПН-6	0,49	18,2	0,38	14,3	0,47	7	0,78	2,74
28.02.2013	1 блок	ПН-5	0,02	1,3	0,02	1,9	0,01	3,3	0,03	грунт
		ПН-6	0,02	1,3	0,03	2,2	0,01	3,3	0,04	2,74
	2 блок	ПН-5	0,02	2,1	0,01	1,4	0,02	2,2	0,03	грунт
		ПН-6	0,03	2,1	0,03	2,4	0,03	2,3	0,05	2,74
	3 блок	ПН-5	0,03	1,2	0,02	2,2	0,02	2,4	0,04	грунт
			0,03	1,2	0,03	2,3	0,03	2,3	0,05	2,74
21.03.2013	1 блок	ПН-5	0,51	5,3	0,41	5,6	0,49	5,1	0,82	грунт
		ПН-6	0,70	18,9	0,63	1,5	0,81	19,2	1,04	2,74

большая результирующая скорость определяется с учетом компонент X, Y, Z :

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2},$$

где U_x, U_y, U_z – амплитуды скорости перемещений по компонентам X, Y, Z соответственно (см. рис. 1).

Максимальная результирующая скорость рассчитывалась по трем составляющим X, Y, Z , максимумы которых обычно проявляются в различное время:

$$U_{xyz} = \left| \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \right| \max. \quad (1)$$

Эта скорость, заменяющая U , может быть равна или больше фактической векторной скорости, но разность обычно не превышает 20–30%.

Поскольку максимальная мгновенная скорость наступает в разных составляющих не одновременно, векторная скорость не относится к какому-либо общему для всех составляющих моменту времени. Известно, что энергия по каждой составляющей пропорциональна квадрату максимальной скорости смещения на сейсмограмме, а полная энергия может быть получена суммированием энергий по отдельным составляющим. Это видно на рис. 1, когда максимальная мгновенная скорость отмечается в поверхностных волнах релеевского типа. В этом случае из теории следует, что моменты наступления максимальных мгновенных скоростей U_x и U_z принципиально не могут совпадать по времени, так как по этим двум составляющим колебания сдвинуты по фазе на 90° . Когда по составляющей X наступает максимальная скорость, по составляющей Z она близка к нулю, и наоборот. Формула (1), таким образом, придает физический смысл векторной скорости, которую можно назвать энергетической скоростью [6]. В дальнейшем для краткости величину U_{xyz} будем называть скоростью колебаний или скоростью смещения в отличие от скорости распространения сейсмических волн.

При обработке сейсмограмм взрывов, осложненных техногенными высокочастотными помехами, использовался фильтр частотой 0,1–10 Гц. Максимальная результирующая скорость (U_{xyz}) по трем составляющим X, Y, Z рассчитывалась по зависимости (1).

В табл. 2 приведены скорости смещения колебаний грунта, измеренные в основании объектов промплощадки ООО «Лена Газ» и самих объектов. Диапазон изменения амплитуд скоростей смещений грунта составляет 0,02–1,13 см/с. При этом преобладают значения максимальных векторных амплитуд в диапазоне 0,02–0,04 см/с (рис. 3). По шкале бальности для взрывов [8] эти значения по уровню динамических нагрузок не превышают 3 балла (табл. 3).

При определении допустимых скоростей колебаний учитывался их частотный состав, поскольку волны различной частоты при равных значениях скорости смещения представляют опасность в неодинаковой степени. При оценке сейсмического действия взрывов учитывались особенности частоты колебаний сооружения охраняемых объектов как от сейсмического воздействия самих взрывов, так и частоты собственных колебаний сооружений. Поэтому для учета частотных характеристик колебаний грунта вокруг сооружений и самих сооружений во время взрыва, а также для оценки частоты собственных колебаний охраняемых объектов по всем зарегистрированным сейсмограммам был выполнен частотный спектральный анализ.

Гистограмма распределения частот колебаний грунта при массовых взрывах, соответствующих максимальным амплитудам, приведена на рис. 4. Преобладающие частоты колебаний грунта при взрывах лежат в диапазоне 1,4–2,2 Гц.

При анализе сейсмического действия взрывов учитывались особенности колебаний защищаемых сооружений. Здание, находящееся под действием сейсмических колебаний, можно условно сравнить с фильтром, который усиливает колебания, близкие по частоте к собственным частотам кон-

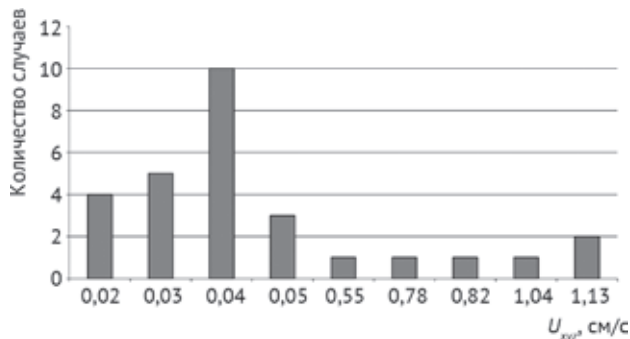


Рис. 3. Гистограмма распределения максимальных векторных амплитуд скоростей смещения грунта

Таблица 3
Шкала сейсмической бальности при взрывах [8]

Интенсивность в баллах	U , см/с
1	$U < 0,5$
2	0,5–1
3	1–2
4	2–4
5	4–8
6	8–16
7	16–32
8	32–64
9	64–125
10–12	125–500 и более

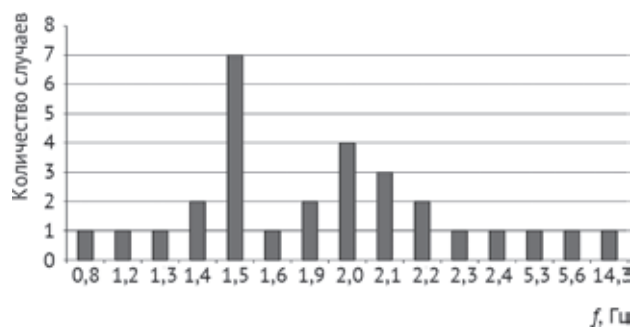


Рис. 4. Гистограмма распределения частоты колебаний грунта максимальных амплитуд скоростей смещения при взрывах

Таблица 4

Собственные частоты колебаний природно-технических сооружений (емкости для хранения газа)

Объект	f_x , Гц	f_y , Гц
Емкость для хранения газа	0,78	0,73

струкции, и подавляет другие. В табл. 4 приведены измеренные по записям сейсмических колебаний собственные частоты колебаний емкости для хранения газа.

Учитывая спектральный состав колебаний, возбуждаемых взрывами, и значения собственных частот колебаний емкости, следует считать благоприятным фактором невозможность возникновения резонансных явлений, так как частоты отличаются в 1,5–2 раза. В [7] при выборе допустимой скорости рекомендуется учитывать раскачку здания (под раскачкой понимается отношение максимального смещения, измеренного на верху здания, к максимальному смещению грунта).

Литература

1. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. — М.: Недра, 1976.
2. Садовский М.А., Костюченко В.Н. О сейсмическом действии подземных взрывов // Доклады АН СССР. 1974. Т. 25, № 25.
3. Гриб Н.Н. Методика оценки и прогноза сейсмической опасности промышленных взрывов на разрезе «Нерюнгринский» / Отв. ред. В.М. Никитин. — Иркутск; Нерюнгри: Изд-во Технического института (фил.) ЯГУ, 2007.
4. Штейнберг В.В. и др. Методы оценки сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии. 1993. — Вып. 34. — С. 5–94.

References

1. Grib N.N. *Metodika otsenki i prognoza seysmicheskoy opasnosti promyshlennykh vzryvov na razreze "Neryungri"* [Methods of assessment and prediction of seismic hazard industrial explosions on the cut "Neryungri"]. Irkutsk; Neryungri, Tekhnicheskogo instituta (fil.) YaGU Publ., 2007 (in Russian).

4. Заключение

Из анализа табл. 2 следует, что по результатам прямых измерений раскачка не превышает 1,5 раз, поэтому можно опираться на преобладающие значения отношений, полученных экспериментальным путем, как статистически обоснованные, и допустимые скорости для исследуемых объектов оставить без изменения $U_{доп} = 1,25$ см/с. Максимальное значение скорости перемещений грунта при массовых взрывах составило 1,13 см/с, что не превышает допустимую скорость. По шкале балльности для взрывов это соответствует значению примерно 3 балла. Таким образом, оценена степень негативного воздействия сейсмических эффектов от массовых взрывов разреза «Нерюнгринский» на природно-технические системы, расположенные в зоне влияния взрывных работ, и установлено, что допустимая скорость смещения грунта не должна превышать 1,25 см/с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Задание № 5.1771.2014К.

Обозначения

- $U_{доп}$ — допустимая скорость колебаний грунта, см/с;
- U_x, U_y, U_z — амплитуды скорости перемещений грунта по компонентам X, Y, Z соответственно, мкм;
- U — векторное значение скорости перемещений грунта, см/с;
- U_{xyz} — максимальная результирующая скорость колебаний или скорость смещения грунта, см/с;
- f_x, f_y, f_z — частоты колебаний грунта при массовых взрывах, соответствующих максимальным амплитудам перемещений грунта по компонентам X, Y, Z соответственно, Гц.

5. Рубцов Н.В., Зубайраев П.Х., Карякин В.В. Отчет о научно-исследовательской работе «Опытно-промышленная проверка и эксплуатация станции сейсмоконтроля для корректировки условий взрывания и обеспечения безопасности зданий и сооружений разреза «Нерюнгринский» ПО «Якутуголь» № гос. регистрации 01890069969. Магнитогорск, 1989.
6. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. — М.: Недра, 1981.
7. Садовский М.А. Геофизика и физика взрыва. Избранные труды. М.: Наука, 1999.
8. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. Т. 1. — М.: Физматлит, 2004.

2. Mosinets V.N. *Drobnyashchee i seysmicheskoe deystvie vzryva v gornykh porodakh* [Blunt and seismic effects of the explosion in the rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1976 (in Russian).
3. Rubtsov N.V., Zubayraev P.Kh., Karyakin V.V. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote «Opytno-promyshlennaya proverka i ekspluatatsiya stantsii seysmokontrolya*



- dlya korrrektirovki usloviy vzryvaniya i obespecheniya bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy razreza "Neryungrinskiy" PO «Yakutugol'» № gos. registratsii 01890069969* [Report on the research paper "Experimental-industrial testing and operation of the plant to correct the conditions seymokontrolya Explosives and safety of buildings and constructions section" Neryungri "ON" «JAKutugol'» № state. Registration 01890069969]. Magnitogorsk, 1989 (in Russian).
4. Sadovskiy M.A. *Geofizika i fizika vzryva. Izbrannye trudy* [Geophysics and physics of explosion. Selected Works]. Moscow, Nauka Publ., 1999 (in Russian).
 5. Sadovskiy M.A., Kostyuchenko V.N. O seysmicheskom deystvii podzemnykh vzryvov [On the seismic action of underground explosions]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR]. 1974, V. 25, I. 25 (in Russian).
 6. Orlenko L.P. *Fizika vzryva* [Explosion physics]. V. 1. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004 (in Russian).
 7. Tseytlin Ya.I., Smoliiy N.I. *Seysmicheskie i udarnye vozduzhnye volny promyshlennykh vzryvov* [Seismic and shock air waves of industrial explosions]. Moscow, Nedra Publ., 1981 (in Russian).
 8. Shteynberg V.V. *Metody otsenki seysmicheskikh vozdeystviy* [Methods for assessing seismic effects]. *Voprosy inzhenernoy seysmologii* [Problems of engineering seismology]. 1993, I. 34, pp. 5–94 (in Russian).

Large-Scale Blasts Seismic Load on Natural and Technical Objects

N.N. Grib, Deputy Director for Science, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Technical Institute (Branch) Of North-Eastern Federal University, Neryungry, Russia

G.V. Grib, Laboratory Chief, Ph.D. in Geological and Mineralogical Sciences, Technical Institute (Branch) of North-Eastern Federal University, Neryungry, Russia

A.A. Syasko, Chief Researcher, Ph.D. in Engineering Sciences, Technical Institute (Branch) of North-Eastern Federal University, Neryungry, Russia

A.V. Kachaev, Laboratory Chief, Technical Institute (Branch) of North-Eastern Federal University, Neryungry, Russia

Seismic safety of large-scale blasts is one of the most important geocological aspects of open-cut mining. Seismic load of large-scale blasts which defines integrity of industrial and residential objects is of special interest. The work represents evaluation of negative seismic impact of large-scale blasts at «Neryungrinskiy» open-cut on the natural and technical systems located in the blasting zone. The main characteristic of evaluated seismic load of explosion wave damaging natural and technical constructions is the maximal value of vectorial velocity of earth movement during large-scale blasts. Determination of permissible speed fluctuation included its frequency content, as waves of different frequency with equal values of drift velocity are dangerous to various extents. Peculiarities of vibrational frequency of the constructions caused by seismic load of the blasts and self-induced vibrations were taken into account while evaluating seismic load. Considering spectral content of the vibrations caused by the blasts and self-induced vibrations values of gas containers and constructions of compressor station, it's necessary to point out that the frequencies differ for 1,5–2 times and this is the favourable factor because of impossibility of resonant phenomena occurrence. Determination of permissible velocity included swinging of the building. Swinging is understood as ratio of maximal shift of the measured at the top points of the constructions to maximal shift of the foundation ground. According to the results of direct measurement, swinging does not exceed 1,5 times that's why it is possible to found on prevailing values of ratios, calculated by means of experimental way as statistically explained. The permissible velocity should be accepted as $U_{perm} = 1,25$ cm/s. for the objects. By "swing" we understand the correlation of maximum offset measured on top of construction to maximum offset of subfoundation. According to direct measurements offset rate stays below 1,5, therefore we can rely on prevailing experimentally obtained value of correlations and set allowable speed to $U_{al} = 1,25$ sm/s.

Keywords: large-scale blasts, seismic load, maximal vectorial velocity, natural and technical objects.

В Финляндии начали промышленный выпуск бионефти

Первый в мире производитель бионефти на основе древесины — финская компания UPM, владеющая заводом в г. Лаппенранта, начала промышленный выпуск жидкого биотоплива под названием бионефть в начале 2015 года.

Инвестиции в завод составили 175 млн евро. Технология производства инновационного продукта базируется на разработках самой финской компании. Биозавод расположен на площадке целлюлозно-бумажного предприятия Kaukas. Ежегодный выпуск бионефти достигает 120 млн литров или 100 тыс т возобновляемого биодизеля.

Бренд нового топлива от UPM получил название BioVerno. Бионефть производится из талового масла — остатков целлюлозно-бумажного производства. Большая часть сырья поступает с заводов группы UPM в Финляндии.

Использование нового биодизеля снижает выбросы парниковых газов на 80% по сравнению с традиционным дизелем. Дистрибьютором финского биотоплива выступает НЕОТ североевропейский нефтяной трейдер.

Строительство биотопливного предприятия в Лаппенранте началось в ноябре 2012 г.

Источник: сайт GreenEvolution.ru

О роли средств индивидуальной защиты органа слуха от вредного воздействия производственного шума при специальной оценке условий труда*

Я.Г. Готлиб, канд. техн. наук, доцент¹

Н.П. Алимов, начальник отдела, канд. техн. наук²

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

²ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда Минтруда России»

e-mail: gotlib39@mail.ru, vcot-anp@mail.ru

Ключевые слова:

средства индивидуальной защиты органов слуха, класс условий труда по шуму, эффективность противозумных наушников.

Средства индивидуальной защиты органов слуха являются простым и эффективным средством улучшения условий труда работников при воздействии на них повышенного уровня шума. Защитные свойства противозумных наушников и вкладышей должны учитываться при установлении классов условий труда наравне со всеми известными техническими, строительными и организационными методами снижения шума. При этом в методиках по применению средств индивидуальной защиты от шума необходимо ориентироваться на реально достигнутые значения эффективности этих изделий, устанавливаемые современными стандартизованными методами испытаний.

1. Введение в проблему

Шум как производственный фактор является одним из важнейших показателей условий труда. Проблема снижения шума остается актуальной уже многие годы в разных странах. В России важность борьбы с производственным шумом подтверждает статистика Росстата за 2013 г. [1], в соответствии с которой из 32,2% работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, 17,8% находятся под воздействием шума, ультразвука и инфразвука.

Для снижения производственного шума создают и используют различные технические, технологические и строительные методы и средства защиты: звукоизоляцию и звукопоглощение, кожухи и специальные кабины, глушители шума и акустические экраны, акустическую обработку помещений и архитектурно-строительные приемы. Несмотря на значительные достижения в этой области, одни

шумозащитные средства оказываются не очень эффективными и не приводят к желаемому результату, другие обеспечивают достаточную эффективность, но могут быть осуществлены только на стадии проектирования и строительства. И практически все упомянутые методы и средства защиты характеризуются значительными экономическими и трудовыми затратами на их создание. Поэтому во многих случаях единственно возможное решение для создания безопасных условий труда по шуму — применить средства индивидуальной защиты органа слуха (СИЗ ОС). СИЗ ОС представляют собой противозумные наушники (в том числе крепящиеся на каску) и вкладыши различной конфигурации, вводимые в слуховой канал уха. Обеспечивая значительное снижение шума, воздействующего на работника, СИЗ ОС становятся не только конкурентными по сравнению с другими средствами защиты от шума по экономическим и эксплуатационным

* Применение СИЗ в ряде случаев выступает необходимым методом обеспечения безопасных условия труда и позволяет снизить класс (подкласс) вредности, если другими современными техническим средствами нельзя исключить их применение, а также для действующих производств, когда их реконструкция требует больших затрат. В статье излагается авторская позиция, которая носит дискуссионный характер. (Редакция).

показателям, но во многих случаях (особенно в условиях уже действующего производства и технологии) единственными реальными средствами обеспечить безопасные условия труда по шумовому фактору. Поэтому при обеспечении безопасных условий труда необходимо рассматривать СИЗ ОС в одном ряду со всем арсеналом средств защиты от шума и включить их в качестве равноправного технического устройства при установлении класса условий труда.

2. Обоснования применения СИЗ ОС для оценки условий труда

Применения СИЗ для установления класса условий труда зафиксировано в п. 6 ст. 14 Федерального закона (ФЗ) «О специальной оценке условий труда» № 426-ФЗ от 28.12.2013 [2]. Там сказано: «В случае применения работниками, занятыми на рабочих местах с вредными условиями труда, эффективных средств индивидуальной защиты, прошедших обязательную сертификацию в порядке, установленном соответствующим техническим регламентом, класс (подкласс) условий труда может быть снижен комиссией на основании заключения эксперта организации, проводящей специальную оценку условий труда, на одну степень в соответствии с методикой, утвержденной федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда, по согласованию с федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по организации и осуществлению федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора, и с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений». Как следует из этого текста, вопрос о снижении класса условий труда за счет применения СИЗ не может быть практически решен при отсутствии соответствующей утвержденной методики.

На момент написания данной статьи в Интернете опубликован проект методики снижения класса (подкласса) условий труда при применении средств индивидуальной защиты» [3]. Указанная «Методика» должна применяться «в целях установления возможности снижения на один класс (подкласс) установленного по результатам специальной оценки условий труда класса (подкласса) условий труда на рабочем месте работника, занятого на работах с вредными условиями труда, на основе оценки эффективности применяемых им средств индивидуальной защиты», в том числе и в отношении шума, действующего на рабочем месте [3].

Наличие п. 6 в указанном ФЗ и содержание проекта необходимой «Методики» [3] должны однозначно решить вопрос о признании СИЗ в качестве официального и достаточного средства создания и обеспечения безопасных условий труда. Эффективные, сертифицированные и обязательные к применению СИЗ (в том числе и органа слуха) должны быть поставлены в один ряд со всеми другими техническими, организационными и профилактическими мерами и средствами снижения вредного воздействия производственных факторов на здоровье работников.

Однако вызывает серьезные возражения подход к роли СИЗ в обеспечении безопасных условий труда, предусматривающий в п. 6 указанного ФЗ и воспроизведенный вслед за ним в проекте «Методики» [3] возможность снижения подкласса вредных условий труда только на одну степень независимо от эффективности СИЗ, обеспечивающей реальное и достоверное снижение действующего производственного фактора на работающего, применяющего СИЗ. Такой ограничительный подход к СИЗ явно дискриминационный по обеспечению безопасных условий труда. Разработка СИЗ ОС в нашей стране и за рубежом, совершенствование их эксплуатационных качеств, повышение эффективности снижения шума, действующего на работающих, стандартизация и внедрение современных достоверных методов и способов контроля их всесторонних показателей (особенно защитных свойств) позволяют признать такие СИЗ ОС в качестве официального и равноправного по своей роли и возможностям средства создания и обеспечения безопасных условий труда.

Дискриминация СИЗ ОС усугубляется еще и тем, что в нашей стране в течение уже более 25 лет сложился общий избыточно жесткий подход к гигиеническому (санитарному) нормированию безопасных условий труда на производстве при воздействии шума на работников. Так, в действующих Санитарных нормах СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» принят предельно допустимый уровень звука 80 дБА [4]. Этот более 20-летней давности уровень шума без каких бы то ни было новых исследований и оценок включен в проект новых норм «Гигиенические требования к физическим факторам производственной и окружающей среды» [5]. Как показано в [6], имеются серьезные основания принять в качестве верхнего предела для безопасных условий труда уровень звука 85 дБА, который во всем мире считается безопасным для слуха работающих.

На практике выявлены реальные трудности технической достижимости установленных в настоящее время шумовых показателей для многих видов машин, оборудования, устройств и приспособлений и технологических процессов. В результате такая избыточная норма чаще всего приводит к её игнорированию, сокрытию фактической шумовой ситуации на рабочих местах, недостоверному представлению её контроля при аттестации рабочих мест по шумовым условиям труда (раньше), или при специальной оценке условий труда (СОУТ) теперь.

Процедура учета роли СИЗ ОС при установлении класса (подкласса) условий труда для шумового фактора по «Методике» [3] предусматривает выбор соответствующих СИЗ главным образом по значению защитных свойств (акустической эффективности или величине, на которую внешний шум снижается при передаче в орган слуха). При этом показатель защитных свойств (для СИЗ ОС — акустическая эффективность, дБА) берется из информации в паспорте СИЗ или иных официальных документах производителя. Затем по Приложению 2 к «Методике» определяется соответствие значения показателя защитных свойств СИЗ (столбец 5) классу условий труда для фактора (столбец 6). В табл. 1 приведено извлечение из Приложения 2 к «Методике» [3] для фактора шума и СИЗ ОС. Структура, представленная в табл. 1 «Методики», означает следующее: если по полученным в результате СОУТ фактическим (измеренным) уровням действующего шума устанавливается класс (подкласс) условий труда, указанный в столбце 6 (указан в скобках), то для обеспечения безопасных

условий труда, соответствующих допустимому классу 2, должны быть применены (использованы) СИЗ ОС с показателями акустической эффективности (и эксплуатационными характеристиками), указанными в столбце 6. Анализ приведенных в табл. 1 материалов и численных значений показывает, что в предлагаемом виде эти данные не могут быть рекомендованы для применения на практике по разным причинам.

Отметим два момента, не самые важные, но требующие обязательной корректировки. Из приведенных в столбце 3 табл. 1 показателей, учитываемых при выборе СИЗ ОС, должны быть указаны только два: акустическая эффективность и усилие прижатия. Усилие прижатия — обобщенный технический и эксплуатационный показатель, обеспечивающий удобство ношения и реализации акустической эффективности наушников. Все остальные показатели усилий и давления, указанные в столбце 3 для СИЗ ОС, синонимы, или вариации, связанные со спецификой контроля соответствующих величин для разных конструкций наушников — с оголовьем или с каской. Необходимые требования по усилию прижатия наушников с оголовьем и с касками установлены в ГОСТ Р 12.4.255-2011[7], введенном вместо отмененного ГОСТ 12.4.209-99.

3. Учет эффективности СИЗ ОС при установлении классов условий труда по шуму

Более существенны и, к сожалению, совершенно неприемлемы установленные в столбце 5 табл. 1 численные значения и градации показателей акустической эффективности. По этому поводу нужно ска-

Таблица 1

Категории средств индивидуальной защиты органа слуха
(извлечение из Приложения № 2 к проекту «Методики» [3], касающееся СИЗ ОС)

СИЗ	Фактор производственной среды	Показатели, учитываемые при выборе СИЗ	Показатель, определяющий категорию СИЗ	Значение показателя	Обозначение категории СИЗ (класс условий труда для фактора)
1	2	3	4	5	6
Средства индивидуальной защиты органа слуха	Шум (эквивалентный уровень звука, дБА)	• акустическая эффективность;	Акустическая эффективность	не менее 20 дБА	1 (3.1)
		• усилие прижатия наушников к голове вокруг уха;		не менее 30 дБА	2 (3.2)
		• давление уплотнительных прокладок наушников;		не менее 40 дБА	3 (3.3)
		• среднее значение усилия прижатия эквивалента оголовья при использовании наушников, совмещенных с каской;		не менее 50 дБА	4 (3.4)
		• давление амортизатора наушников, совмещенных с каской	более 50 дБА	5 (4)	
			Характеристики СИЗ	Коэффициент поглощения Возможность общения с другими работниками через СИЗ (при необходимости)	В соответствии с ГОСТ Р 12.4.209-99

зять, что верхние значения показателей акустической эффективности на уровне не менее 50 дБА для класса условий труда 3.4 и более 50 дБА для класса условий 4 просто нереальны и принципиально недостижимы для противошумных наушников, вкладышей и их комбинаций друг с другом и вместе со специальными касками, шлемами и даже костюмами.

Предел эффективности противошумных наушников и вкладышей, указанный в различных литературных источниках, анализируемых одним из авторов [8], даже на частоте 1000 Гц не превышает 40 дБ. Если обратиться к данным испытаний и к техническим характеристикам СИЗ ОС, то максимальное снижение эквивалентного уровня звука не превышает 37 дБА (это максимальный показатель шумоподавления по SNR¹ для противошумных вкладышей некоторых фирм — см. ниже табл. 4). В связи этим в настоящее время нельзя рассматривать в нормативном документе [3] показатели не менее 40 дБА и выше (вплоть до значений выше 50 дБА).

Однако самые большие проблемы возникают в отношении приведенных в столбце 5 табл. 1 численных значений показателей эффективности СИЗ органов слуха и их интерпретации, в соответствии с которой предлагается снижение класса (подкласса) условий труда по шуму. При решении данного вопроса необходимо учитывать отнесение условий труда на рабочем месте к классам (подклассам) условий труда при воздействии шума, установленное в Приложении № 11 к «Методике проведения специальной оценки условий труда» [10] (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что зона показателей шума в подклассе 3.1 составляет от более 80 дБА до 85 дБА. Это значит, что шаг перехода от допустимого класса 2 к вредному подклассу 3.1 составляет 5 дБА. Тогда при уровне действующего шума не более 85 дБА, который по табл. 2 требует отнесения условий труда к вредному подклассу 3.1, применение (обязательное

ношение) СИЗ ОС с эффективностью не менее 5 дБА обеспечит воздействие шума на ухо работающего (в канале слухового органа) не более $85 - 5 = 80$ дБА. Значит, в рассматриваемой ситуации класс условий труда при действующем на организм работающего уровне звука не более 80 дБА должен быть установлен как допустимый 2.

Из табл. 2 следует, что переход от подкласса 3.1 к следующему подклассу 3.2, а затем от 3.2 к следующему подклассу 3.3 и далее от 3.3 к 3.4 предусматривается с шагом 10 дБА. Таким образом, в любом из подклассов 3.2, 3.3 и 3.4 применение для обязательного ношения СИЗ ОС с эффективностью не менее 10 дБА позволяет перейти от данного подкласса шумности как минимум к предыдущему подклассу. Например, при действии шума не более 115 дБА условия труда соответствуют подклассу 3.4. В этом случае СИЗ ОС с эффективностью не менее 10 дБА даст возможность установить подкласс 3.3, с большей эффективностью — еще более низкие подклассы (с эффективностью не менее 20 дБА — подкласс 3.2, не менее 30 дБА — подкласс 3.1). Следующим значением эффективности, приводящей действующий уровень 115 дБА к допустимому классу 2, должна быть величина $115 - 80 = 35$ дБА. Формально о такой эффективности СИЗ ОС можно говорить, поскольку, как было сказано выше, для вкладышей типа Макс фирмы Howard Leight декларирован показатель защиты 37 дБА. Однако такие показатели требуют специального исследования, проверки и обоснования.

4. Реальная эффективность СИЗ ОС

Обсуждая принципиально возможную эффективность СИЗ ОС в качестве некоторых границ и диапазонов, которые следует применять в нормативно-методических документах типа «Методики» [3], необходимо учитывать реально (фактически) достигнутую эффективность конкретных изделий.

Таблица 2

Отнесение условий труда на рабочем месте по классам (подклассам) условий труда при воздействии шума [8]

Наименование показателя, единица измерения	Класс (подкласс) условий труда					
	Допустимый	Вредный			Опасный	
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Шум, эквивалентный уровень звука, дБА	≤80	>80–85	>85–95	>95–105	>105–115	>115

¹ Аббревиатура SNR (Single Number Rating) определена в ГОСТ Р 12.4.212-99 [7] следующим (весьма неудачным) образом: «Одиночный параметр поглощения шума SNR_x» — для заданной эффективности защиты x и конкретного средства защиты — это значение, которое вычитают из измеренного значения C — скорректированного уровня звукового давления (L_c), чтобы определить действующий A — скорректированный уровень звукового давления (L_{Ax}). В контексте ГОСТ Р 12.4.212-99 [9] SNR следует понимать как одночисловой показатель (параметр) эффективности (снижения шума) средств защиты органа слуха, измеряемого в дБА.

В целом не следует закладывать в нормативные документы слишком высокую эффективность СИЗ СО и соответственно ориентироваться на нее при проведении СОУТ и отнесении условий труда к классам и подклассам.

С этой точки зрения очень важен диапазон эффективности не менее 5 дБА. В подавляющем большинстве производств наблюдается превышение уровней звука в пределах 1–5 дБ (т.е. выше 80 дБА). Подтверждают такую оценку данные Департамента труда США, типичные и для многих других стран [11]: 19,3% рабочих, занятых на производстве и в коммунальной сфере, в среднем ежедневно подвергаются воздействию шума 90 дБА и выше, 34% — свыше 85 дБА и 54,1% — свыше 80 дБА.

Ориентиром для акустической эффективности (защитных свойств) должен служить ГОСТ Р 12.4.255-2011 [7], в котором приведены значения минимального (наименьшего показателя защиты) поглощения шума для двух групп наушников (табл. 3).

Этим требованиям отвечают практически все создаваемые и ныне производимые виды и конструкции СИЗ ОС: вкладыши, наушники, каски и т.д. Эти выводы подтверждены в многолетних исследованиях Н.П.Алимова [8], в работах Э.И. Денисова с соавт. [12], в многочисленных отечественных и зарубежных каталогах.

Фактически СИЗ ОС любого типа и конструкции при правильном применении обеспечивают минимальную эффективность 5 дБА, а их постоянное ношение позволяет достоверно и обоснованно принимать решение об отнесении фактических уровней звука до 85 дБА к допустимому классу 2 условий труда. Оценка эффективности СИЗ ОС в настоящее время хорошо обеспечена применением при их контроле современных методов, измерительных и испытательных средств, регламентированных отечественным (и международным) стандартом ГОСТ Р 12.4.212-99 (ИСО 4869-2-94) [9] и предусмотренных Техническим регламентом ТР ТС 019/2011 [13].

Важным эксплуатационным показателем, определяющим не только удобство ношения, но и обеспеченность декларируемой эффективности, является усилие прижатия наушников с помощью оголовья

или специальных устройств на касках. Этот аспект обеспечения, в том числе и акустической эффективности наушников, теперь методически реализован действием отечественного (и международного) стандарта ГОСТ Р 12.4.255-2011 (ЕН 13819-1:2002) [7]. Усилие прижатия наушников, от которого существенно зависит акустическая эффективность наушников, теперь четко установлено на уровне не более 14 Н и методически обеспечено при контроле в отечественном (и международном) стандарте ГОСТ Р 12.4.255-2011 (ЕН 13819-1:2002) [7]. В Техническом регламенте ТР ТС 019/2011 [13] указано, что нижний предел усилия прижатия должен быть не менее 8 Н.

Действующие уже в течение многих лет международные и отечественные стандарты сегодня позволяют с достаточной уверенностью принимать указываемые в технической документации и приводимые в каталогах значения эффективности СИЗ ОС [7, 9]. Обзор этих документов позволяет привести выборочно в табл. 4 наиболее важные и интересные показатели акустической эффективности некоторых наиболее распространенных типов и конструкций СИЗ ОС.

В настоящее время имеются причины сомневаться в достигнутых показателях эффективности СИЗ ОС, особенно высказанных в [12]. Целесообразно ввести дополнительный запас (не менее 5 дБА) к декларируемому в технической документации, протоколах и каталогах показателям эффективности СИЗ ОС, позволяющей привести фактический класс (подкласс) условий труда по шуму к допустимому классу 2.

На основании приведенных данных и соображений в «Методике» [3] в столбцах 5 и 6 (см. табл.1) для приведения условий труда к допустимому классу 2 должны быть указаны граничные показатели эффективности СИЗ ОС, установленные исходя из приведенных ниже соображений.

С одной стороны, для снижения за счет применения СИЗ ОС класса условий труда по шуму до уровня допустимых значений класса 2 необходимо, чтобы используемые противошумные наушники или вкладыши имели указываемый в их технической документации и каталогах достаточный нижний (минимальный) показатель эффективности (в дБА), обеспечивающий требуемый запас к достоверности его определения при испытаниях. Чтобы условия труда по шуму, которые при СОУТ были зафиксированы как подкласс 3.1, могли быть переквалифицированы в допустимый класс 2, применяемые при этом работником СИЗ ОС должны иметь нижнюю границу показателя эффективности не менее 10 дБА. Переквалифицировать в допустимый класс 2 фактически установленный подкласс 3.2 можно при примене-

Таблица 3
Минимальное поглощение шума наушниками
(по ГОСТ Р 12.4.255-2011 [5])

Группа наушников	Значение минимального поглощения шума, дБ, при частоте, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
А	5	8	10	12	12	12	12
Б	–	5	7	9	9	9	9

нии СИЗ ОС с показателем эффективности не менее 20 дБА, соответственно для подкласса 3.3 — с показателем не менее 30 дБА, для подкласса 3.4 — не менее 35 и для класса 4 — более 35 дБА.

С другой стороны, такие предлагаемые показатели эффективности соответствуют предельной (верхней) возможности их получения при современном уровне техники и технологии проектирования, изготовления и контроля СИЗ ОС.

По итогам приведенных в этой работе соображений и рекомендаций о роли СИЗ ОС от вредного действия шума при СОУТ, необходимо сделать следующие важные замечания. Применение СИЗ (не только для органа слуха) и их эффективность не влияют на внешние для работника условия труда, формируемые всей совокупностью факторов, всех технических,

строительных и организационных производственных средств, которые обычно объединяются понятием «коллективные средства защиты». Однако за счет применения носимых СИЗ ОС реальное и фактическое снижение ими уровней звука, воздействующих на слуховой аппарат и организм конкретного работника, создает дополнительную защиту. Очевидно, что в этом случае безопасность работника по фактору шума повышается. Применять СИЗ ОС с меньшей граничной эффективностью, предлагаемой нами в столбце 5 (см. табл. 1) «Методики» [1], целесообразно для снижения подкласса на промежуточный уровень (например, с подкласса 3.2 до 3.1 или с 3.4 до 3.3, 3.2 или 3.1).

Как указано выше, эффективность СИЗ ОС зависит от массы и усилия прижатия их к голове работника. Но некоторые работники по индивидуальным

Таблица 4

Уровень защиты (дБ) и акустическая эффективность (дБА) СИЗ ОС (по технической документации и каталогам)

Фирма-изготовитель	Тип СИЗ ОС	Акустическая эффективность (SNR), дБ, на частоте (Гц)							дБА
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
3M	Противошумные вкладыши								
	1100/1110	28,1	28,9	32,2	33,1	35,4	43,8	40,0	37
	3M Classic	18,1	20,9	21,5	22,6	30,9	38,1	34,0	28
	Наушники								
	3M H505B	8,8	9,7	21,3	21,1	31,8	36,3	34,9	24
Peltor	Наушники								
	Pro-Tak II	16,3	22,9	27,6	32,8	28,6	34,9	38,5	32
	Optime 111	14,8	21,7	32,6	38,2	37,8	42,5	40,6	34
	Наушники на каску								
	Optime 11	11,8	16,7	29,3	37,5	33,6	31,0	36,6	30,0
Howard Leight	Наушники								
	Thunder T3	18,3	26,3	31,6	38,1	34,9	39,7	36,7	36
	Наушники на каску								
	Thunder T2H	16,8	22,1	23,0	31,7	31,0	33,0	33,5	30
	Противошумные вкладыши								
	Max	32,6	33,1	35,1	34,7	33,9	43,8	37,6	37
	Laser Trak	29,4	30,9	33,5	29,9	32,9	39,6	39,9	35
	Matrix Blue	10,3	12,6	16,7	21,1	25,3	31,6	31,1	23
SmartFit	24,1	19,9	24,4	26,5	31,3	33,3	36,9	30	
Uvex	Противошумные вкладыши								
	uvex whisper	17,4	14,3	17,4	19,1	25,7	23,9	31,2	23
	uvex sV	32,1	34,0	35,3	33,4	33,5	42,0	40,5	37
	Наушники								
	uvex sV	10,7	13,5	23,0	29,7	30,4	31,8	30,7	27
	uvex 3V	14,9	18,9	30,5	34,1	31,9	33,3	35,8	31
	Наушники на каску								
	uvex 2H	13,5	16,8	22,8	29,2	28,1	30,9	27,6	28
uvex 3200H	14,6	19,6	28,3	36,0	34,1	35,7	35,1	32	

Примечание. В табл. 4 приведены выборочные данные по фирмам и типам СИЗ ОС. Аналогичную эффективность обеспечивают также СИЗ ОС фирм MSA SORDIN AB, Rörlägggarvägen 8, SE-33153 Värnamo, Vastgem Development Limited, Honeywell safety Products, Long Dar Plastic Co. Ltd, EUROSIREL S.p.A. и др.

(субъективным) особенностям не смогут (или не захотят) пользоваться «тяжелыми» (массивными) наушниками и /или регулировать их при ношении на большее усилие прижатия, которое для обеспечения объявленной для них эффективности в соответствии с Техническим регламентом ТР ТС 019/2011 [9] должно быть не менее 8 и не более 14 Н. Естественно, что при использовании более легких наушников или рекомендуемых марок, но с установленным работником более низким значением прижатия, эффективность этих изделий будет ниже, чем определяемая при испытаниях и указываемая в их технической документации (каталогах). Например, наушники, рассчитанные на применение с усилием прижатия 14 Н и обеспечивающие при этом эффективность 20–30 дБА, при отрегулировании их пользователем на усилие прижатия 8 Н, для него субъективно более комфортное (переносимое), будут обеспечивать эффективность не более 10 дБА. Тем не менее, такую ситуацию использования наушников следует приветствовать, всячески рекомендовать и внедрять на производстве. Ведь в этом случае всё равно работник будет защищен от внешнего шума, на его организм будет действовать более низкий уровень звука, а условия его труда будут улучшены. Практически во всех рассматриваемых случаях, как указано выше, можно быть уверенным, что при фактическом подклассе условий труда 3.1 применение СИЗ ОС более легкого класса или с меньшим усилием прижатия обеспечит допустимый класс 2 условий труда, а при фиксации более высоких подклассов вредности (3.2, 3.3 и 3.4) снизить их на один-два подкласса.

5. Заключение

СИЗ ОС должны использоваться для снижения класса (подкласса) условий труда, для которых они

применяются, в соответствии с их защитными свойствами (акустической эффективностью), уменьшающими передачу воздействующего шума через уши на организм работающего. Отнесение условий труда на рабочем месте при воздействии шума и установление соответствующего класса (подкласса) условий труда должно определяться по разности действующего уровня звука и декларированной эффективности применяемых для постоянного ношения СИЗ ОС в виде наушников и вкладышей, в соответствии с указаниями по этому вопросу в Приложении 11 к «Методике проведения специальной оценки условий труда» [10].

Необходимо исключить из нормативных документов существующее ограничение по возможности снижения класса (подкласса) условий труда (по крайней мере, для фактора шума) только на одну ступень. Необходимо иметь в виду, что условия труда, относящиеся по действующему шуму на рабочем месте к вредному подклассу 3.1, при применении любых сертифицированных СИЗ ОС (имеющих защитные показатели акустической эффективности не менее 5 дБА) должны быть отнесены к допустимому классу 2. Использовать в разрабатываемой «Методике снижения класса (подкласса) условий труда при применении средств индивидуальной защиты» [3] реальные достигнутые защитные свойства СИЗ ОС по шуму, с одной стороны, не закладывая чрезмерно высоких показателей, а с другой — учитывая современные достижения в создании СИЗ ОС. Для установления подклассов условий труда при СОУТ в «Методике» [3] необходимо снизить указанные в проекте показатели акустической эффективности СИЗ ОС для подклассов 3.1, 3.2, 3.3 на 10 дБА, а для подкласса 3.4 установить значение не менее 35 дБА, для класса 4 — более 35 дБА.

Литература

1. О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2013 году / Доклад Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации. М., 2014.
2. О специальной оценке условий труда / Федеральный закон от 28.12.2013, № 426-ФЗ.
3. Методика снижения класса (подкласса) условий труда при применении средств индивидуальной защиты/ Проект Минтруда РФ. URL: <http://dogma.su/normdoc/zakon-ohran/atest-rab-mest/detail.php?ID=39109> (дата обращения — 15.04.2015 г.).
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
5. Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил и норм СанПиН 2.2.4/2.1.8.-14 «Гигиенические требования к физическим факторам производственной и окружающей среды» / Проект постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации. URL: <http://regulation.gov.ru/project/3242.html>.
6. Готлиб Я.Г., Алимов Н.П., Азаров В.Н. Вопросы ограничения шума для оценки условий труда // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2013. №13. С. 70–83.
7. ГОСТ Р 12.4.255-2011 (ЕН 13819-1:2002) ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Механические методы испытаний.

8. Алимов Н.П. Совершенствование средств индивидуальной защиты от шума на предприятиях строительной индустрии /Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: Волгоград, 2010.
9. ГОСТ Р 12.4.212-99 (ИСО 4869-2-94) ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Оценка результирующего значения А-корректированных уровней звукового давления при использовании средств индивидуальной защиты от шума.
10. Энциклопедия по охране и безопасности труда. /Том II. Раздел VI. «Вредные факторы общего характера». Глава 47 «Шум». МОТ, 1994.
11. Денисов Э.И., Морозова Т.В., Аденинская Е.Е., Курьев Н.Н. Проблема реальной эффективности индивидуальной защиты и привносимый риск для здоровья работников // Медицина труда и экология. 2013. — № 4.
12. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 019/2011/ Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 878.

References

1. About realization of the state policy in the field of environment and labor protection in the Russian Federation in 2013. Report of the Ministry of labor and social protection of the Russian Federation — Moscow: 2014 (in Russian).
2. About the special assessment of working conditions. Federal law of 28.12.2013, No. 426-FZ (in Russian).
3. Methods of reducing class (subclass) of working conditions in the application of personal protective equipment. Project of the Ministry of labor of the Russian Federation. Available at: <http://dogma.su/normdoc/zakon-ohran/atest-rab-mest/detail.php?ID=39109> (in Russian)
4. SN 2.2.4/2.1.8.562-96 Noise in the workplaces in residential and public buildings and residential areas (in Russian).
5. About approval of sanitary-epidemiological rules and norms SanPiN 2.2.4/2.1.8-14 "Hygienic requirements to the physical factors of production and environment" / the Draft resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation. Available at: <http://regulation.gov.ru/project/3242.html> (in Russian)
6. Gotlib Ya.G., Alimov N.P., Azarov V.N. Issues of noise reduction to evaluate labor conditions. International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE). 2013, I. 13 (135), pp. 70–83 (in Russian).
7. GOST R 12.4.255-2011 (EN 13819-1:2002) Occupational safety standards system. Personal hearing protective equipment. General technical requirements. Mechanical test methods (in Russian).
8. Alimov N. P. Improvement of personal hearing protection at the enterprises of the construction industry. The dissertation on competition of a scientific degree of Ph.D. of Engineering. Volgograd, 2010. 20 p (in Russian).
9. GOST R 12.4.212-99 (ISO 4869-2-92) Occupational safety standards system. Hearing protectors. Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn (in Russian).
10. Encyclopaedia of occupational health and safety. Volume II. Section VI. "Hazards of a general nature" — Chapter 47 "Noise"— International Labor Office, The Ministry of Labor and Social Development, Moscow, 2001 (in Russian).
11. Denisov E. I., Morozova T.V., . Adeninskaya E.E., Kur'ev N.N. The problem of the real effectiveness of personal protective equipment and introduction of risk to the health of workers. *Meditsina truda i ehkologiya* [Labour Medicine and ecology]. 2013, I. 4 (in Russian).
12. Technical Regulations of the Customs Union TR TC 019 / 2011/ approved by the Decision of the Commission of the Customs Union on December 9, 2011, No. 878 (in Russian).

About the Role of Personal Hearing Protection from Harmful Effects of Industrial Noise in Special Assessment of Working Conditions

Ya.G. Gotlib, Associate Professor, Ph.D. of Engineering, Bauman Moscow State Technical University

N.P. Alimov, Head of the Department, Ph.D. of Engineering, FGBU «All-Russian Scientific Research Institute of Protection and Work Economy», Moscow

Personal hearing protection is a simple and effective way to improve labour conditions of workers when exposed to high noise levels. Protective properties of earmuffs and earplugs should be considered when establishing classes of working conditions equally to all known technical, construction and organizational methods of noise reduction. In this case, procedures for the usage of personal noise protective equipment should be based on actually achieved efficiencies of these products, established by the modern standardized test methods.

Keywords: personal hearing protection, class of working conditions for noise, earmuffs efficiency.

Распределение напряжения вдоль отключенной и заземленной линии, наведенного электрическим полем параллельной линии

А.Ю. Токарский, рук. группы¹, ведущий эксперт², доцент, д-р. техн. наук

Н.Б. Рубцова, зав. отделом, профессор, д-р. биолог. наук¹

¹ ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда», Москва

² ОАО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы», Москва

e-mail: tokar48@mail.ru

Ключевые слова:

однопроводная линия электропередачи, электрическое поле, частичные емкости, собственные и взаимные сопротивления, наведенные напряжения и токи, распределение напряжения вдоль линии, безопасность работы, электрические сети/

Представлен алгоритм расчета токов и напряжений, наведенных электрическим полем работающей воздушной линии (ВЛ) электропередачи вдоль отключенной и заземленной параллельной ВЛ. Показано совпадение результатов расчета при использовании параметров ВЛ, полученных вне «мертвой зоны» по методу Карсона и методу h_{eqv} не имеющему «мертвой зоны».

1. Введение

Линейный персонал, проводящий работы на отключенной и заземленной воздушной линии (ВЛ) электропередачи, подвергается воздействию напряжения, которое наведено магнитным и электрическим полями (МП и ЭП), создаваемыми проходящими рядом работающими ВЛ. Напряжения, наводимые МП, превышают значения напряжений, наводимых ЭП, но если воздействующая линия не нагружена и ток в ней отсутствует, то отсутствует и создаваемое этим током МП. В этом случае напряжения, наведенные на отключенной ВЛ ЭП воздействующей линии, становятся определяющими и для обеспечения безопасности персонала значения этих напряжений должны быть рассчитаны.

2. Параметры заземленной линии по методу Карсона и методу h_{eqv}

Удельные собственное индуктивное сопротивление $Z_{ii}^{(Kap)}$ однопроводной (однофазной) воздушной линии i и взаимное индуктивное сопротивление $Z_{ik}^{(Kap)}$ между параллельными однопроводными ВЛ i и k по методу Карсона определяются выражениями [1, 2]:

$$Z_{ii}^{(Kap)} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{\sqrt{2}\delta_s}{r_i} - j\frac{\pi}{4} + \frac{4}{3} \frac{h_i}{\delta_s} (1+j) - 0,0772 \right), \text{ Ом/м} \quad (1)$$

$$Z_{ik}^{(Kap)} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{\sqrt{2}\delta_s}{r_{ik}} - j\frac{\pi}{4} + \frac{2}{3} \frac{h_i + h_k}{\delta_s} (1+j) - 0,0772 \right), \text{ Ом/м} \quad (2)$$

где μ_0 — магнитная постоянная;

h_i и h_k — высота расположения над землей проводов i и k ;

r_i — радиус провода i ;

r_{ik} — расстояние между проводами i и k ;

$\delta_s = \sqrt{2\rho_s / (\omega\mu_0)}$ — глубина проникновения в зем-

лю, т.е. глубина, проникнув на которую электромагнитная волна затухает в $e = 2,72$ раза;

ρ_s — удельное сопротивление земли.

Расчет индуктивного сопротивления по выражению (2) имеет так называемую «мертвую зону», при

параметре r больше 0,25 и меньше 5, в которой рассчитанное значение $Z_{ik}^{(Kap)}_0$ во много раз превышает истинное [1, 3, 4]. Для устранения «мертвой зоны» предложен метод h_{equ} , в котором магнитное поле (МП) линии состоит из МП, создаваемого непосредственно током линии, МП, создаваемого наведенными в земле токами, и МП, создаваемого обратным током в земле [3, 4]. Метод h_{equ} не содержит «мертвых зон», а вне этих зон результаты расчетов практически полностью совпадают с результатами по методу Карсона.

Собственное сопротивление однопроводной линии i протяженностью l_i по методу h_{equ} содержит удельное собственное индуктивное сопротивление, определяемое током линии [3, 4]:

$$jX_{L_i} = j \frac{\omega \mu_0 l_i}{2\pi} \ln \frac{h_i + h_{equ}}{r_i}, \text{ Ом}, \quad (3)$$

сопротивление, определяемое наведенными в земле токами:

$$Z_{L_{\eta}} = \frac{\omega^2 \mu_0^2 l_i}{8\pi^2 \rho_3} \int_{-h_i}^{h_{equ}} \int_{y^-}^{y^+} \int_0^{2h_{equ}} \frac{(X-x) \ln \frac{y^2 + (h_1 + h_{equ})^2}{y^2 + (h_1 + x)^2}}{(X-x)^2 + y^2} dx dy dX, \quad (4)$$

Ом,

а также сопротивление участка земли длиной l_i между заземляющими устройствами (ЗУ), установленными в конце и в начале линии i , в котором протекает обратный ток линии:

$$R_3 = \frac{1}{\int_{y^-}^{y^+} \int_{x^-}^{x^+} \frac{1}{\rho_3 (l_i + 2\sqrt{x^2 + y^2})} dx dy}, \text{ Ом}. \quad (5)$$

3. Отключенная линия заземлена на одном конце

Рассмотрим две однопроводные параллельные ВЛ i и k длиной l_i и l_k , причем $l_k \geq l_i$. Обе линии выполнены проводом радиусом $r_i = 0,014$ м и расположены над землей на высоте $h_i = 17,5$ м и $h_k = 19,0$ м. Расстояние по земле между линиями равно a . ВЛ k находится в режиме холостого хода с напряжением $\dot{U}_k = 127$ кВ, а линия i , в которой электрическим полем (ЭП) ВЛ k наводится напряжение, отключена и заземлена на одном конце. Линия i имеет протяженность $l_i = 100$ км.

При расчете для $r \leq 0,25$ параметров линии i на 1000 м с $\rho_3 = 100$ Ом·м получим следующие значения, которые будем считать удельными, отнесенными к 1 км ее длины: $\text{Re}[Z_{ii}^{(Kap)}] = 0,0473$ Ом/км; $\text{Im}[Z_{ii}^{(Kap)}] = j0,716$ Ом/км; $Z_{L_{\eta}} = 0,0414$ Ом/км;

$R_{30} = 0,0006$ Ом/км и $X_{L_i} = 0,715$ Ом/км. Удельное сопротивление провода $R_{\Lambda 0} = 0,074$ Ом/км, удельная емкость C_{ki0} между проводами линий k и i для расстояния $a = 50$ м составляет $C_{ki0} = 1,918 \times 10^{-10}$ Ф/км, а для $a = 5$ м $C_{ki0} = 1,870 \times 10^{-9}$ Ф/км.

Введем следующие обозначения:

- удельная емкостная проводимость между линиями k и i $Y_{C0} = j\omega C_{ki0}$;
- удельное сопротивление линии i по методу Карсона $Z_{\Lambda 0} = R_{\Lambda 0} + j\text{Im}[Z_{ii}^{(Kap)}]$, по методу h_{equ} $Z_{\Lambda 0} = R_{\Lambda 0} + jX_{L_i}$;
- сопротивление земли на 1 км по методу Карсона $Z_{30} = \text{Re}[Z_{ii}^{(Kap)}]$ по методу h_{equ} $Z_{30} = R_{30} + Z_{L_{\eta}}$.

Электрическая схема параллельных ВЛ i и k показана на рис. 1.

На рис. 1: R_{ki} — сопротивление между ЗУ последней опоры линии i и ЗУ источника линии k , включая величину сопротивления ЗУ источника.

Величину тока в линии i можно определить по закону Ома:

$$\dot{I}_{Om}(l) = \frac{\dot{E}_k}{Z_{\Lambda 0}(l_i - l) + \frac{1}{Y_{C0}}(l_i - l) + R_{3Y} + Z_{30}l_i + R_{ki}}. \quad (6)$$

Изменение модуля и аргумента тока $\dot{I}_{Om}(l)$ вдоль линии i для расстояния между линиями $a = 50$ м показано на рис. 2. При $l = 0$ $I_{Om}(0) = 0,764$ А.

Элементарный ток $d\dot{I} = Y_{C0} \dot{E}_k dl$, проходящий через очень малую проводимость $Y_{C0} dl$, может быть рассмотрен как элементарный источник тока, тогда схема на рис. 1 преобразуется в схему на рис. 3.

В этом случае ток в линии i определяется по выражению $\dot{I}(l) = Y_{C0} \dot{E}_k (l_i - l)$, кривые изменение его модуля и аргумента, показанные на рис. 2, практически полностью совпадают с аналогичными кривыми для тока $\dot{I}_{Om}(l)$.

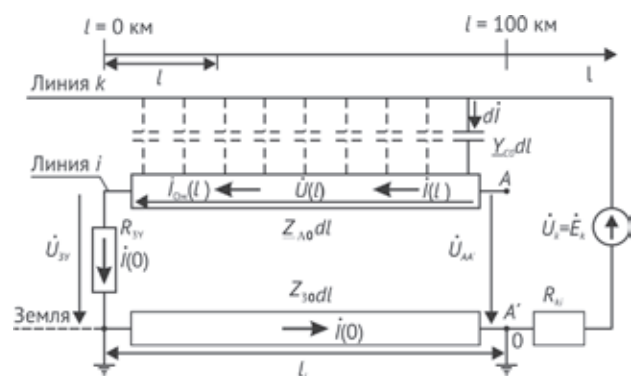


Рис. 1. Параллельные ВЛ: работающая k и отключенная и заземленная на одном, удаленном от подстанции конце, линия i

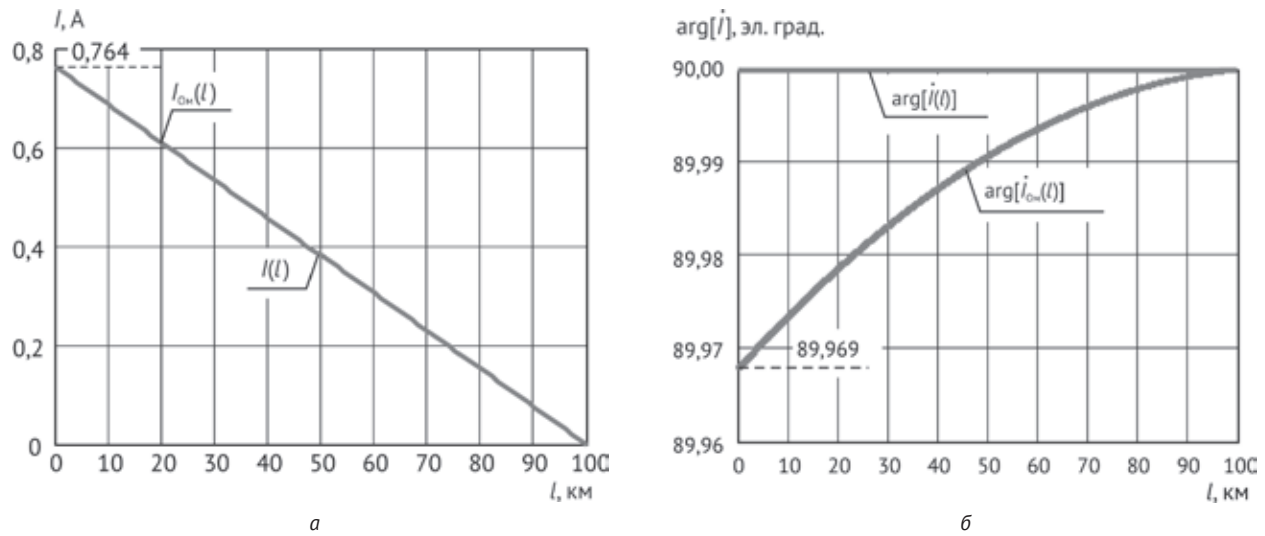


Рис. 2. Распределение модулей (а) и аргументов (б) токов $i_{ov}(l)$ и $i(l)$ вдоль провода заземленной с удаленного от подстанции конца линии i

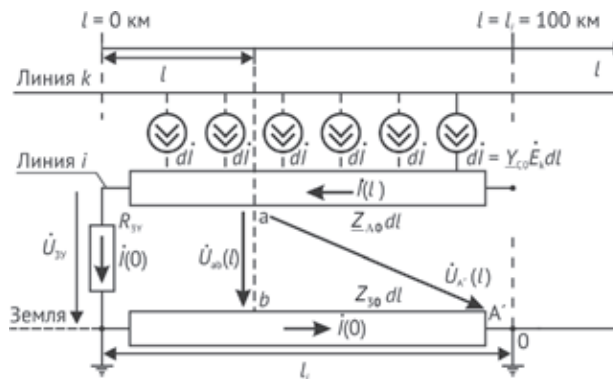


Рис. 3. Параллельные ВЛ с элементарными источниками тока между ними

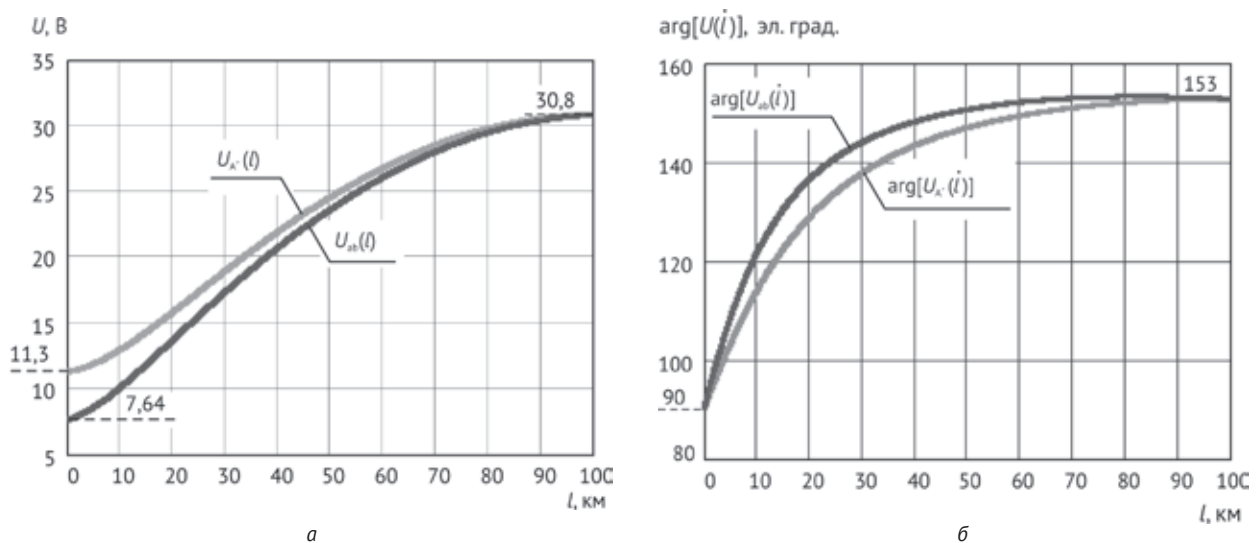


Рис. 4. Распределение модуля (а) и аргумента (б) напряжений $\dot{U}_{\sigma}(l)$ и $\dot{U}_{\lambda}(l)$ вдоль линии i при изменении l от 0 до $l_i = 100$ км

Напряжение $\dot{U}_{ab}(l)$ при движении вдоль ВЛ i описывается выражением:

$$\dot{U}_{ab}(l) = \int_0^l \dot{I}(l) Z_{\Lambda 0} dl + \dot{I}(0) (R_{3Y} + Z_{30} l).$$

Подставляя в последнее выражение $\dot{I}(l) = \underline{Y}_{C0} \dot{E}_k (l_i - l)$ и $\dot{I}(0) = \underline{Y}_{C0} \dot{E}_k l_i$, получим

$$\dot{U}_{ab}(l) = \underline{Y}_{C0} \dot{E}_k \left[Z_{\Lambda 0} \left(l_i l - \frac{1}{2} l^2 \right) + (R_{3Y} + Z_{30} l) l_i \right]. \quad (6)$$

Кривые изменения модуля и аргумента напряжения $\dot{U}_{ab}(l)$ показаны на рис. 4, где также представлены аналогичные кривые напряжения $\dot{U}_{A'}(l)$ между точкой a и узлом A' , потенциал последнего принят равным нулю:

$$\dot{U}_{A'}(l) = \dot{I}(0) (R_{3Y} + Z_{30} l) + \underline{Y}_{C0} \dot{E}_k Z_{\Lambda 0} \left(l_i l - \frac{l^2}{2} \right).$$

4. Отключенная линия заземлена по обоим концам

Рассмотрим вариант, когда линия i заземлена по двум концам с помощью ЗУ1 и ЗУ2, как показано на рис. 5.

При $l = l_0$ ток $\dot{I}(l)$ меняет направление: для $l > l_0$ он направлен к ЗУ2, а для $l < l_0$ — к ЗУ1. Расстояние l_0 определяется по выражению:

$$l_0 = \frac{R_{3Y2} + \frac{1}{2} Z_{\Lambda 0} l_i}{R_{3Y1} + R_{3Y2} + Z_{30} l_i + Z_{\Lambda 0} l_i} l_i. \quad (7)$$

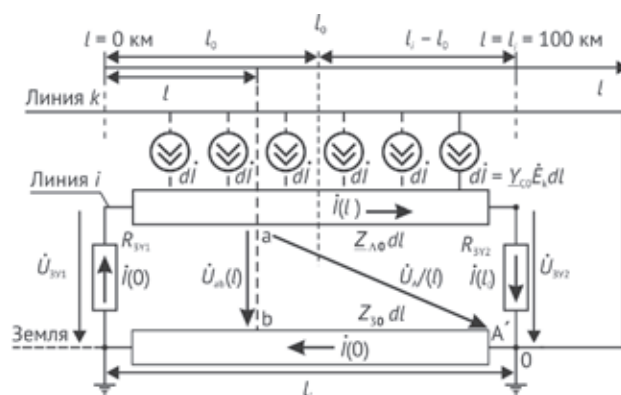
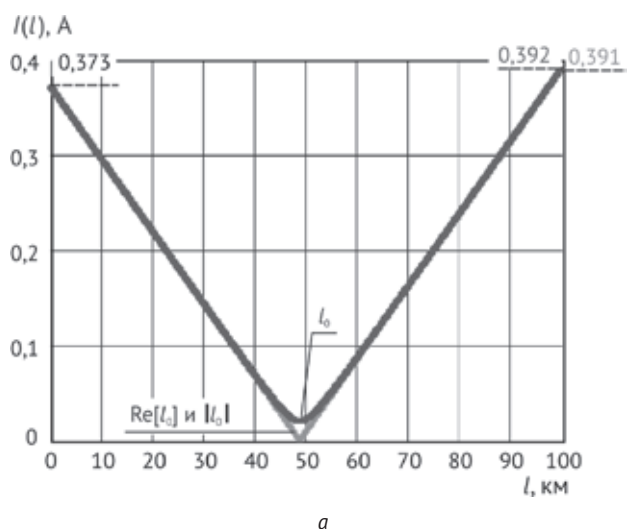


Рис. 5. Схема заземления линии i по двум концам с помощью ЗУ1 и ЗУ2

Следует отметить, что l_0 является комплексной величиной.

Ток $\dot{I}(l)$ в линии определяется выражением:

$$\dot{I}(l) = \underline{Y}_{C0} \dot{E}_k (l - l_0). \quad (8)$$

Распределение модуля и аргумента тока $\dot{I}(l)$ вдоль линии i при $a = 50$ м, $R_{3Y1} = R_{3Y2} = 10$ Ом, для $l_0 = 48,8 + j2,6$ км, $\text{Re}[l_0] = 48,8$ км и $|l_0| = 48,9$ км показано на рис. 6.

Распределение напряжений $\dot{U}_{ab}(l)$ и $\dot{U}_{A'}(l)$ описывается выражениями (9) и показано на рис. 7.

$$\dot{U}_{ab}(l) = \underline{Y}_{C0} \dot{E}_k \left[(R_{3Y1} + Z_{30} l) l_0 - Z_{\Lambda 0} \left(\frac{l^2}{2} - l_0 l \right) \right], \quad (9)$$

$$\dot{U}_{A'}(l) = \underline{Y}_{C0} \dot{E}_k \left[(R_{3Y1} + Z_{30} l) l_0 - Z_{\Lambda 0} \left(\frac{l^2}{2} - l_0 l \right) \right].$$

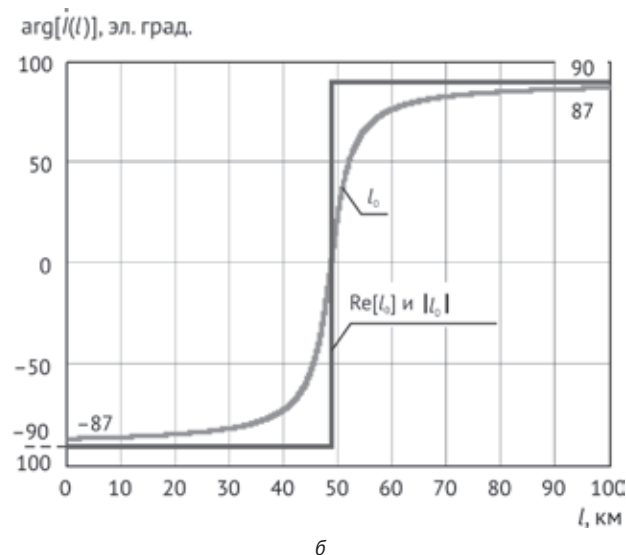


Рис. 6. Распределение модуля (а) и аргумента (б) тока $\dot{I}(l)$ вдоль линии i с $a = 50$ м, $R_{3Y1} = R_{3Y2} = 10$ Ом, для l_0 , $\text{Re}[l_0]$ и $|l_0|$ при изменении l от 0 до $l_i = 100$ км

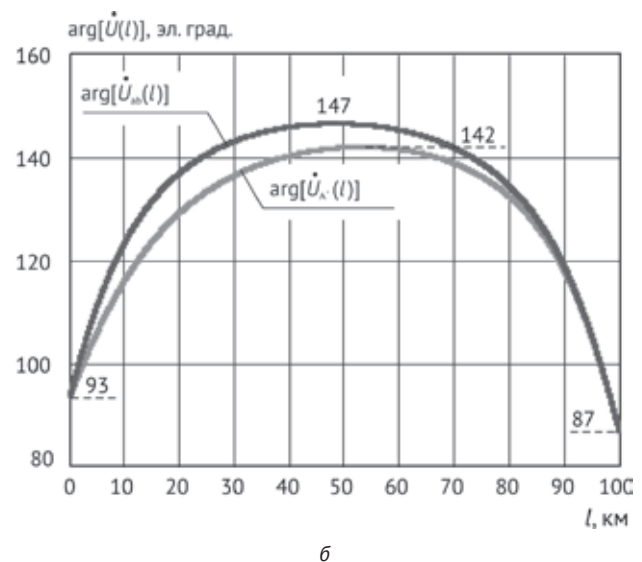
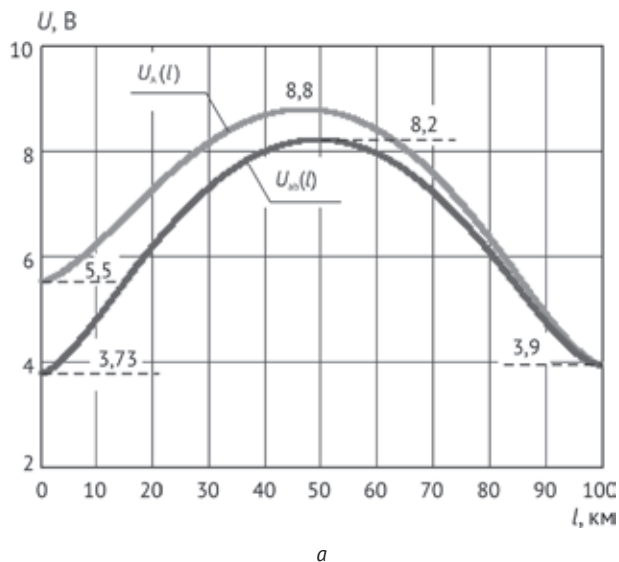


Рис. 7. Распределение модуля (а) и аргумента (б) напряжений $\dot{U}_{ob}(l)$ и $\dot{U}_k(l)$ вдоль заземленной по концам линии i для $R_{3Y1} = R_{3Y2} = 10$ Ом и изменении l от 0 до $l_i = 100$ км и $a = 50$ м

Рассмотрим те же однопроводные параллельные линии i и k , но расположенные на расстоянии друг от друга $a = 5$ м. В этом случае частичная емкость между линиями составит $C_{ki0} = 1,870 \times 10^{-9}$ Ф/км. $R_{3Y1} = R_{3Y2} = 10$ Ом. Величина l_0 при этом не изменится $l_0 = 48,8 + j2,6$ км. На рис. 8 показано распределение значений модуля и аргумента тока $\dot{I}(l)$ вдоль линии i для значений l_0 , $\text{Re}[l_0]$ и $|l_0|$.

Распределения модуля и аргумента напряжения $\dot{U}_k(l)$ показано на рис. 9.

Уменьшение расстояния между линиями в 10 раз привело к увеличению почти на порядок частичной емкости C_{ki0} , что дало увеличение почти в 10 раз модулей токов и напряжений вдоль линии i .

Кривые распределения токов и напряжений, полученные при $r < 0,25$ для параметров линии, рассчитанных как по методу Карсона, так и по методу h_{equ} , практически полностью совпадают.

5. Участок в середине линии заземлен по двум концам

Алгоритмы, использующие уравнения (1)–(9), позволяют определить распределение тока и напряжения вдоль линии i с более сложной схемой заземления. На рис. 10 показана схема двух параллельных ВЛ i и k , расположенных на расстоянии по земле $a = 5$ м друг от друга. Участок 2 линии i протяженностью 1 км заземлен по концам ЗУ с сопротивлениями

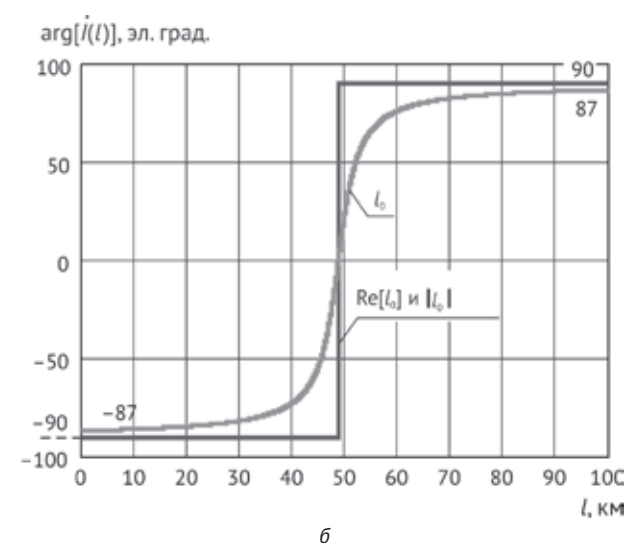
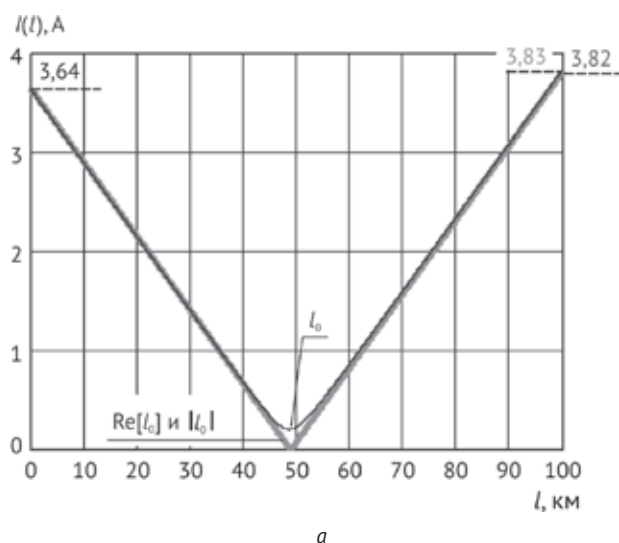


Рис. 8. Распределение модуля (а) и аргумента (б) тока $\dot{I}(l)$ вдоль линии i при $a = 5$ м и изменении l от 0 до $l_i = 100$ км

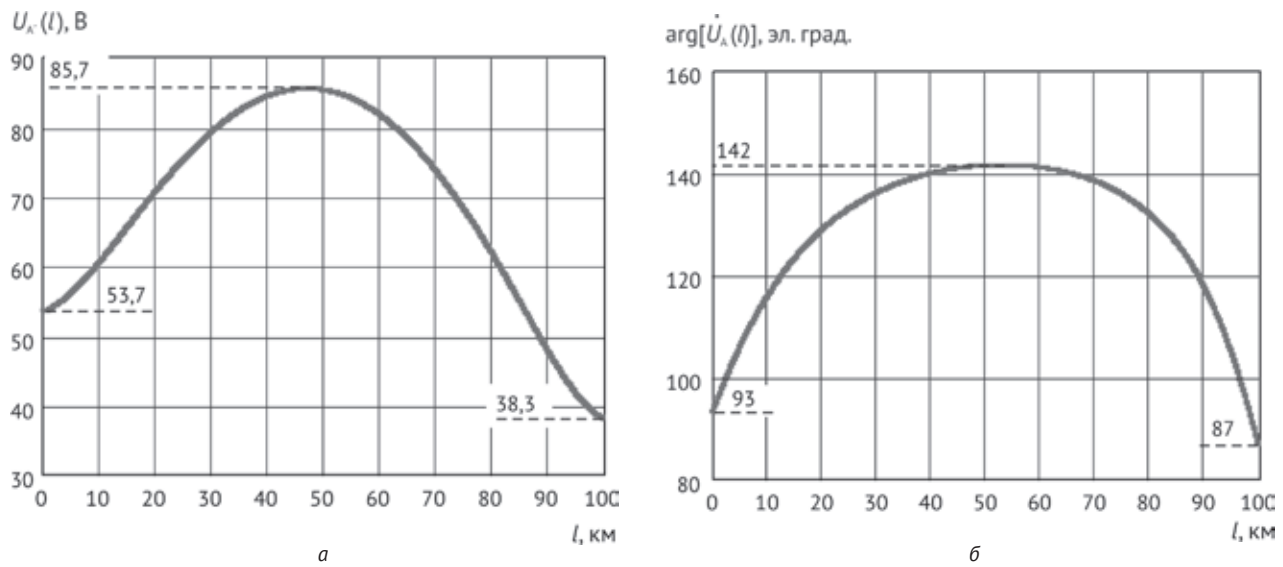


Рис. 9. Распределение модуля (а) и аргумента (б) напряжения $\dot{U}_{A'}(l)$ вдоль линии i при $a = 5$ м и изменении l от 0 до $l_i = 100$ км

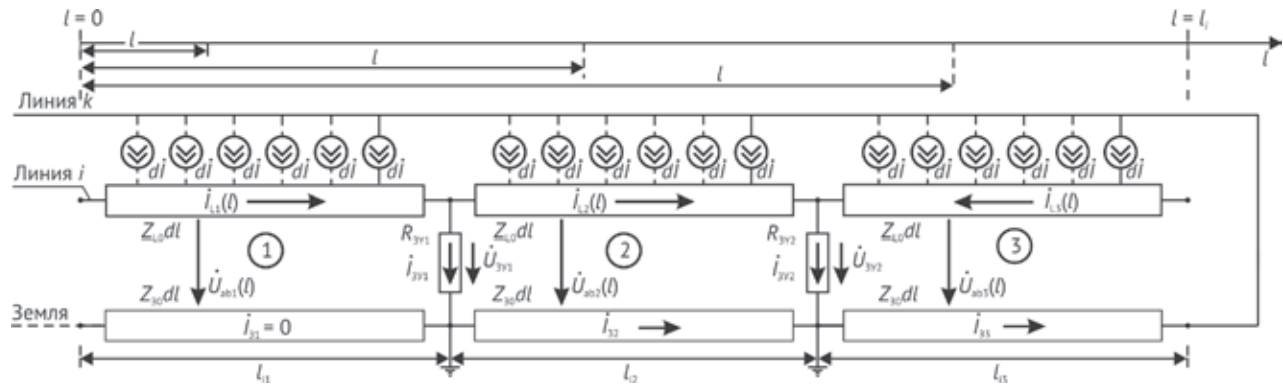


Рис. 10. Схема двух параллельных ВЛ i и k с заземлением участка линии i двумя ЗУ

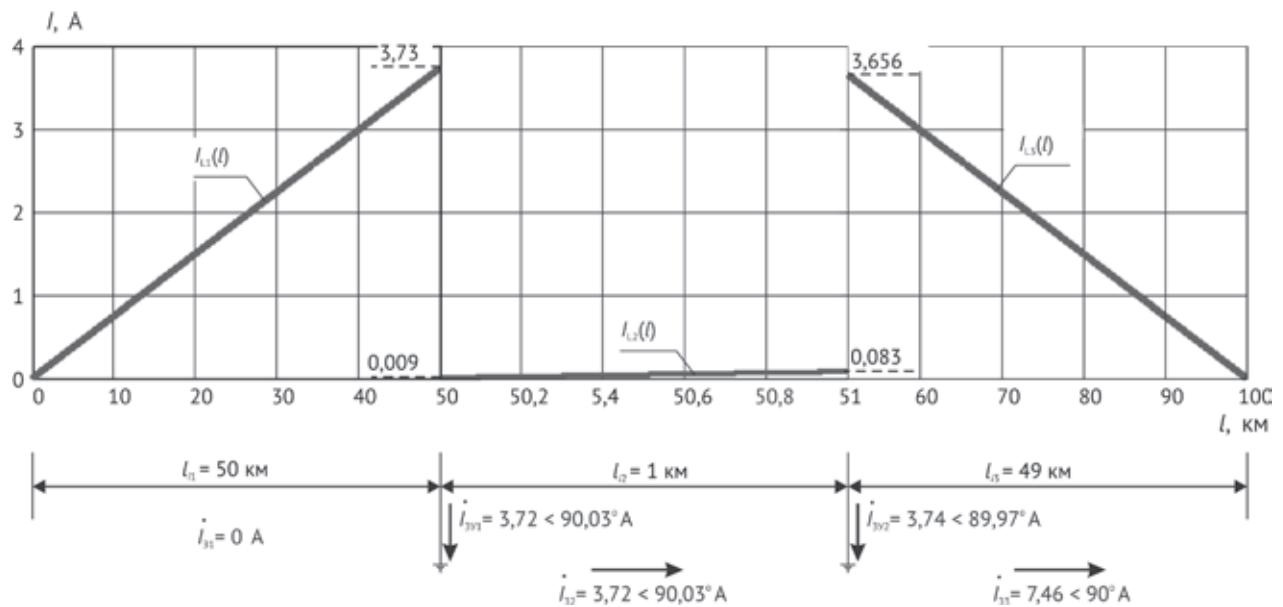


Рис. 11. Распределение модулей токов вдоль линии i

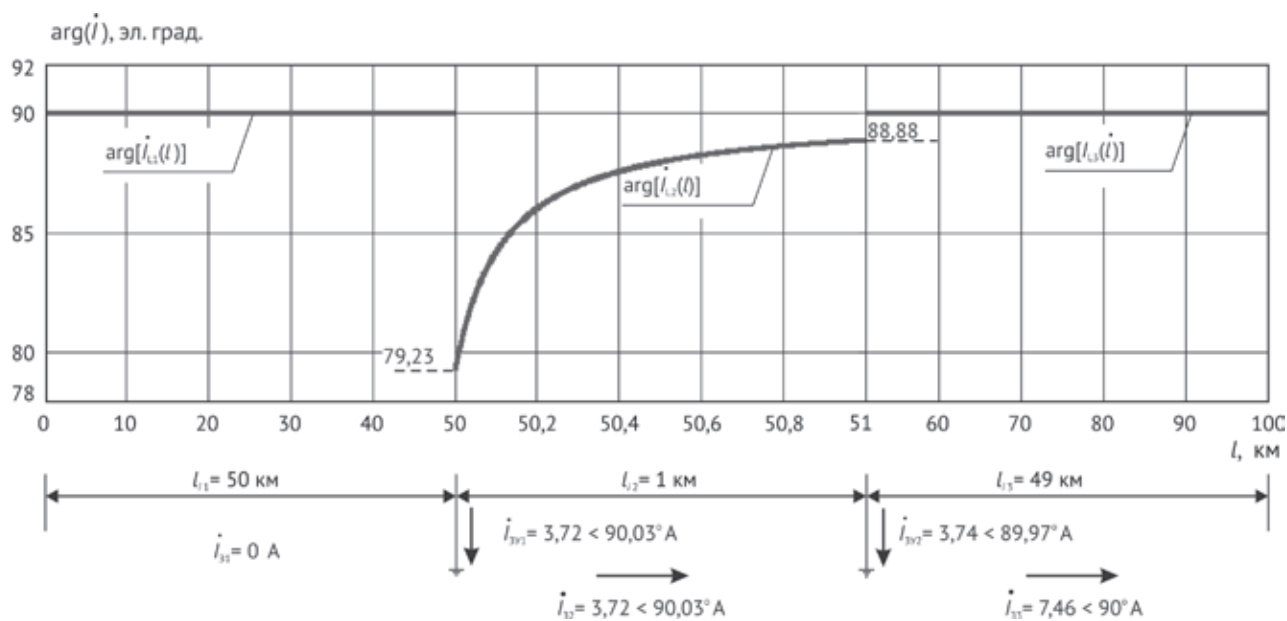


Рис. 12. Распределение аргументов токов вдоль линии i

$R_{3Y1} = R_{3Y2} = 10$ Ом и делит ВЛ на три участка протяженностью $l_{11} = 50$ км, $l_{12} = 1$ км и $l_{13} = 49$ км.

На рис. 11 дано распределение модулей, а на рис. 12 — аргументов токов вдоль линии i .

На рис. 13 дано распределение модуля, а на рис. 14 — аргумента напряжения $\dot{U}_{ab}(l)$ вдоль линии i .

6. Заключение

Результаты расчета напряжения, наведенного ЭП на отключенной и заземленной ВЛ, которые получены с использованием параметров ВЛ, определенных

по методу h_{equ} , вне «мертвой зоны», практически полностью совпадают с результатами, полученными по методу Карсона. Представленный алгоритм дает возможность рассчитать распределение напряжения вдоль отключенной и заземленной ВЛ, а использование метода суперпозиции (наложения) позволит применить его для трехфазных параллельных воздействующих линий. Это позволяет точнее оценивать безопасность проведения работ в электрических сетях.

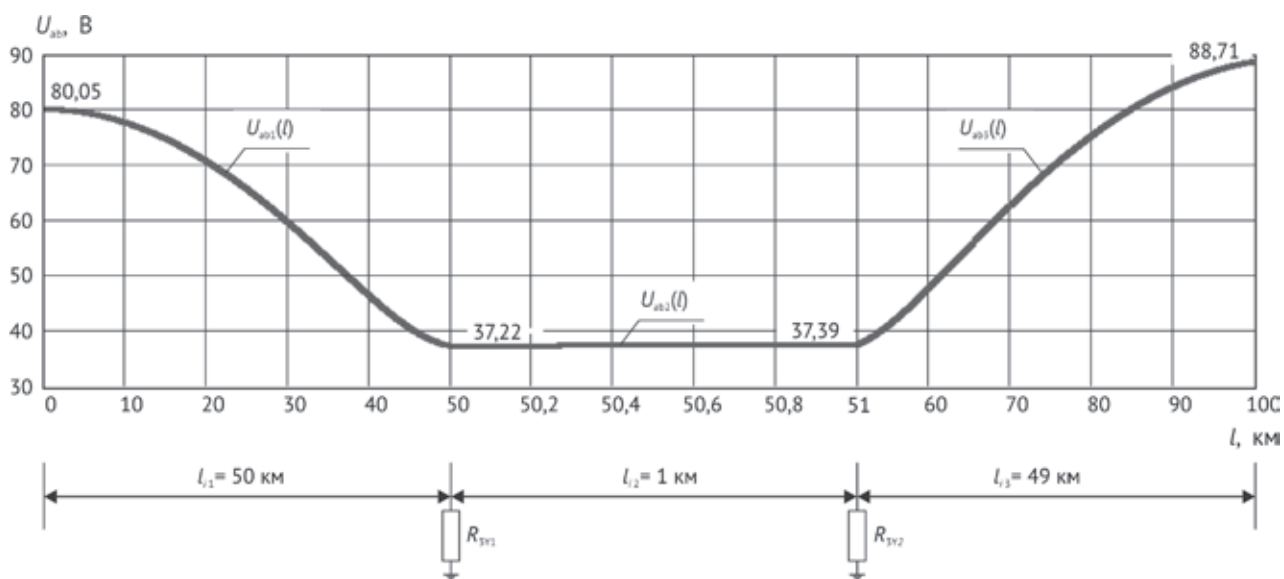


Рис. 13. Распределение модуля напряжения $\dot{U}_{ab}(l)$ вдоль линии i

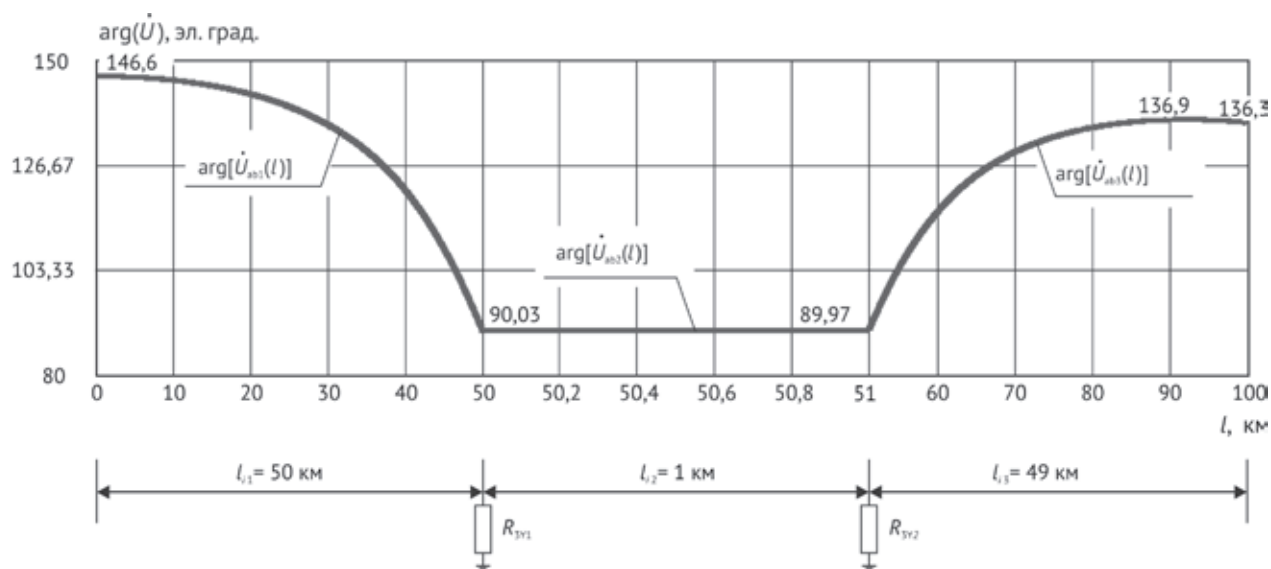


Рис. 14. Распределение аргумента напряжения $\dot{U}_{об}(l)$ вдоль линии i

Литература

1. Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. — М.: Энергия, 1973.
2. Цицикян Г.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. — СПб.: Элмор, 2007.
3. Мисриханов М.Ш., Токарский А.Ю. Учет проводимости земли при определении ЭДС, наведенных в параллель-

ных воздушных линиях электропередачи // ЭЛЕКТРО. 2010. № 3. — С. 13–18.

4. Rubtsova N.B., Misrikhanov M.Sh., Murzin S.G., Tokarskiy A.Yu. Longitudinal voltages, induced by parallel overhead transmission lines magnetic fields // PIERS Proceeding, Stockholm, Sweden, Aug. 12–15, 2013, p. 305–309.

References

1. Kostenko M.V., Perelman L.S., Shkarin Yu. P. Wave processes and electrical interference in a multi-wire high voltage lines. Moscow, Energia Publ., 1973. 272 p (in Russian).
2. Tsitsikjan G.N. Electromagnetic compatibility in electric power industry. St. Petersburg, ELMOR Publ., 2007. 184 p (in Russian).
3. Misrikhanov M.Sh., Tokarskiy A.Yu. Accounting for the ground conductivity under voltage induced in the parallel

overhead transmission lines determining. ELECTRO. 2010, I. 3, pp. 13–18 (in Russian).

4. Rubtsova N.B., Misrikhanov M.Sh., Murzin S.G., Tokarskiy A.Yu. Longitudinal voltages, induced by parallel overhead transmission lines magnetic fields. PIERS Proceeding, Stockholm, Sweden, Aug. 12–15. 2013. P. 305–309.

Distribution of Voltage Induced by Parallel Transmission Line Along Dead and Grounded Line

A.Yu. Tokarskiy, Team Manager, Leading Expert, Doctor of Technical Science, Associate Professor, FSBSI “Scientific Research Institute of Occupational Health”, Moscow, Russia, JSC “Scientific-Technical Center of United Energy System Federal Grid Company”, Moscow, Russia

N.B. Rubtsova, Head of the Scientific-Coordination Department, Doctor of Biological Science, Professor. FSBSI “Scientific Research Institute of Occupational Health”, Moscow, Russia

Calculation algorithm for currents and voltages induced by electric field of operating overhead transmission line (OTL) along dead and grounded parallel OTL is presented. The data indicates the coincidence of the results of calculation under OTL parameters outside the “dead zone” obtained by Carson’ method and calculation with h_{equ} method not having a “dead zone”.

Keywords: single-wire transmission line, electric field, own resistance, mutual own resistance, induced voltage and currents, voltage distribution along transmission line.

Применение наночастиц висмута для защиты текстильных материалов от СВЧ-излучения

А.С. Торшин, аспирант¹

В.В. Сафонов, заведующий кафедрой, профессор, д-р техн. наук¹

Е.Ю. Буслаева, ведущий научный сотрудник, д-р хим. наук²

С. П. Губин, заведующий лабораторией, д-р хим. наук²

¹Московский государственный университет дизайна и технологии

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук

e-mail: anton-torshin@yandex.ru

Ключевые слова:

наночастицы,
висмут,
материалы,
электромагнитное излучение,
радиозащитная одежда.

Проведен синтез наночастиц металла, который заключался в химическом восстановлении раствора нитрата висмута. Разработаны оптимальные параметры восстановления висмута до нуль-валентного металлического состояния и его нанесения на ткани. Рассчитаны параметры и разработана конструкция оборудования для воздействия на металлизированные текстильные материалы электромагнитного излучения сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона для действующей лабораторной полупромышленной установки. Проведена обработка образцов натуральных текстильных тканей наночастицами висмута и выполнены исследования распределения наночастиц в объеме ткани, их формы, размера, способа закрепления в объеме материала. СВЧ-воздействие на образец проводилось в камере со стоячей волной модульной конвейерной установки. Показано, что подвергаемая излучению модифицированная ткань позволяет снизить дозу облучения. После СВЧ-воздействия определялись прочностные свойства целлюлозных материалов. Ткани подвергались стирке бытовым порошком, после чего определялись физико-механические свойства – изменение линейных размеров после мокрой обработки, разрывная и раздирающая нагрузка, жесткость при изгибе, воздухопроницаемость, гигроскопичность, электрическое сопротивление, коэффициент ослабления ЭМИ. Материал может быть использован в радиозащитной одежде с усиленной парциальной защитой – комбинезон, шлем, перчатки и бахилы, изготовленные из радиоотражающих материалов.

1. Введение

Проблема защиты человека и техники от сверхвысокочастотного излучения (СВЧ-излучения) существует давно, так как использование наполнителей обычного размера для ослабления излучения может значительно ухудшить механическую целостность волокон. Металлизированные ткани обладают хорошим экранирующим эффектом, обеспечивают эффективную защиту от воздействия электромагнитных полей и излучения. Для нанесения покрытия используют алюминий, бронзу, серебро, сплавы титана, нержавеющей сталь и другие металлы [1, 2].

Нанотехнологии придают новый импульс появлению на рынках более экологически безопасных химикатов, используемых во многих продуктах и сферах применения [3]. В последнее время актуальным становится применение такого уникального металла, как висмут. Например, наночастицы Au, покрытые оболочкой Bi, с успехом использованы как затравочные катализаторы для выращивания CdSe нанопроволок [4]. Наночастицы оксида висмута в текстильном материале могут обеспечить защиту от СВЧ-излучения, незначительно воздействуя на механические свойства ткани [5]. В то же время противорадиационные свойства, которыми обладает висмут,

позволяют разработать новую технологию отделки текстильных материалов и расширить существующий ассортимент.

Использование технологии, предлагаемой нами, позволяет получить материал с высокими защитными характеристиками от электропроводных полей в широком диапазоне частот. Ткань отличается высокой отражательной способностью радиочастот широкого диапазона и высокой электропроводимостью, позволяющей использовать материал в конструкциях и изделиях, применяемых для устранения статического электричества. Процесс характеризуется высокой технологичностью.

2. Экспериментальные исследования

Способ синтеза наночастиц металла заключался в химическом восстановлении раствора $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ (концентрация 0,3 г/л) в течение 10 мин при температуре 100 °С и постоянном перемешивании раствора.

Для определения содержания висмута в растворе до восстановления точные навески раствора помещали во взвешенный фарфоровый тигель и сначала осторожно нагревали на малом огне, а после охлаждения взвешивали. Для определения количества восстановленного металла в таком же количестве раствора применялся способ получения мелкокристаллического порошкообразного висмута. Способ предполагает вытеснение воздуха из раствора аргоном, добавление к данным растворам органической смеси (состоит из циклогексана, метилметакрилата и 2-гидроксиэтилметакрилата), перемешивание водной и органической фаз в смесителе при рН 8, дестабилизирование коллоидной системы добавлением этилового спирта, отделение продукта центрифугированием, промывку его последовательно этанолом, дистиллированной водой и ацетоном, вакуумную сушку продукта и его отжиг в аргоне при температуре 240 °С в течение 2 ч. На

рис. 1 представлена электронная фотография наночастиц висмута. Определен средний размер наночастиц Bi , полученных химическим способом, который равен 30 ± 5 нм.

Обработка материалов осуществлялась по стандартной схеме, включающей замачивание в растворе, 100%-ный отжим, сушку при 100–110 °С в течение 10–15 минут и термообработку при 150°С в течение 5–7 минут. Условия и результаты опытов приведены в табл. 1.

На рис. 2 представлена микрофотография поверхности исходной ткани и материала, обработанного NaBH_4 . В результате воздействия данным реагентом целлюлозная ткань не подверглась никаким изменениям, что доказывает возможность использования боргидрида натрия в качестве восстановителя на хлопчатобумажном материале. Показана принципиальная возможность применения боргидрида для восстановления соли висмута на целлюлозном материале. Проведено восстановление соли висмута боргидридом натрия на целлюлозной ткани. На рис. 3 показана поверхность материала, в структуре которого находится висмут в форме наночастиц.

Проверена гипотеза о нетепловом воздействии СВЧ электромагнитных колебаний на хлопчатобумажные материалы [6]. СВЧ-воздействие на образец проводилось в камере со стоячей волной модульной конвейерной установки на частоте 2450 МГц при мощности 700 Вт. После СВЧ-воздействия определялись прочностные свойства целлюлозных материалов по ГОСТ 381-72 с помощью разрывной машины РМ-3-1 [7].

Исследования показали, что нетепловое воздействие СВЧ электромагнитных колебаний в среднем на 12–15% повышает относительную разрывную нагрузку хлопчатобумажных тканей по сравнению с необлученными в зависимости от времени обработки. Зависимости построены по средним значениям

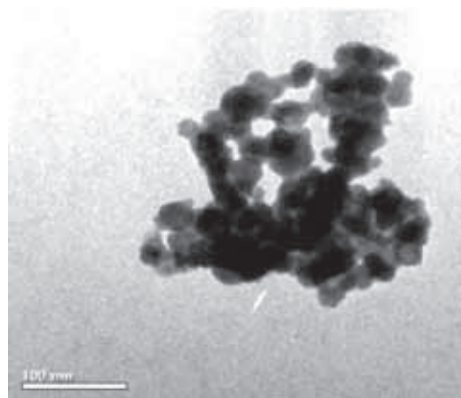


Рис. 1. Электронная фотография наночастиц висмута

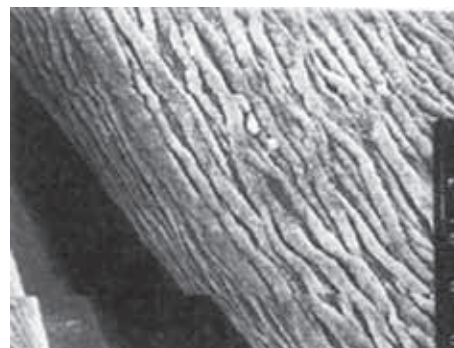


Рис. 2. Микрофотография поверхности хлопкового материала, обработанного боргидридом натрия

Таблица 1

Показатели восстановленного на ткани висмута
в форме наночастиц

№ опыта	pH при обработке ткани	Масса висмута в растворе $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, г	Масса висмута в восстановленном растворе, г	Содержание висмута на ткани, мг/г
1	1,2	1,0	0,8	3,390
2	1,2	0,9	0,7	5,610
3	1,2	1,2	1,0	7,300
4	1,2	1,1	0,8	2,500
5	1,2	1,3	1,1	5,100
6	1,2	0,7	0,65	3,640
7	0,9	1,0	0,8	2,260
8	1,0	0,8	0,7	3,530
9	1,5	1,2	1,0	2,470
10	1,9	1,1	0,9	3,070

Примечание.

- 1 – раствор $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaBH}_4$,
- 2 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4]$ (конц. 0,05:0,005 М),
- 3 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4]$ (конц. 0,001:0,005 М),
- 4 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{AgNO}_3$,
- 5 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{AgNO}_3 + \text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (р-р, 3 г/л),
- 6 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{AgNO}_3 + \text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{NO}_2$,
- 7 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (р-р, 2 г/л),
- 8 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaC}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2$,
- 9 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaC}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2 + \text{C}_7\text{H}_8\text{O}$ (р-р, 3 г/л),
- 10 – $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaC}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2 + \text{C}_7\text{H}_8\text{O}$ (р-р, 2 г/л).

измеренной величины при десятикратном повторении измерений в одинаковых условиях.

Через 7 и 30 дней с момента обработки целлюлозных тканей в СВЧ электромагнитном поле контролировалась стабильность их прочностных свойств. Установлена незначительная релаксация удельной относительной разрывной нагрузки на 3–6%.

При расположении хлопчатобумажной ткани в СВЧ электромагнитном поле параллельно вектору на-

пряженности разрывное удлинение увеличилось на 36,4–46,2% по сравнению с тканью, ориентированной перпендикулярно вектору напряженности, линейная плотность увеличилась на 4,2–12,7%, фактическая разрывная нагрузка — на 2,4–9,2%, уменьшилась удельная относительная разрывная нагрузка. Чтобы определить, насколько прочно наночастицы висмута закреплены в металлизированных тканях, были проведены следующие испытания: стирка (5 стирок) и химическая чистка. В табл. 2 приведены данные о содержании висмута в целлюлозной ткани после стирок.

После первой стирки вымывается около 35% висмута. Затем при последующих трех стирках металл практически не вымывается, а после пятой стирки потери висмута вновь значительно увеличиваются. После пятой стирки в ткани остается около 32% висмута. Таким образом, после первой стирки уходят наночастицы висмута, которые были закреплены механическим способом. Вымывание висмута после пятой стирки объясняется тем, что моющий раствор проникает на границу раздела между поверхностью наночастиц и материалом и постепенно разрушает их связь, стимулируя потерю металла при многократных стирках.

Метод металлизации с применением наночастиц висмута позволяет получить металлизированные текстильные материалы, представляющие собой структуры, насыщенные по объему проводящими металлическими частицами с плавно меняющейся концентрацией по толщине ткани. Средняя массовая доля висмута M_{Bi} в образце при одинаковом режиме обработки составила 2,73 мг/г.

Проводили исследование текстильных материалов, металлизированных наночастицами висмута, на стойкость к воздействию СВЧ-излучения. В табл. 3 представлены исходная, металлизированные и обработанные без металла ткани, которые испытывались на стойкость к СВЧ-излучению.

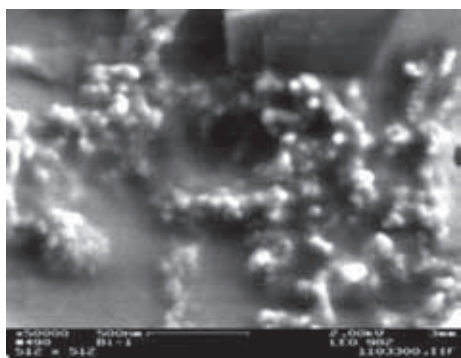


Рис. 3. Микрофотография поверхности материала, модифицированного наночастицами висмута

Таблица 2

Изменение содержания висмута
в хлопчатобумажной ткани при многократных стирках

Номер пробы (стирки)	Массовая доля висмута в ткани, мг/г					
	до стирки	Номер стирки				
		1	2	3	4	5
1	3,39	2,76	2,38	2,34	2,35	1,43
2	5,61	3,01	3,18	1,98	2,61	1,35
3	7,3	5,48	3,98	4,66	4,38	2,87
4	2,5	1,51	1,74	0,45	0,47	0,44
5	5,1	2,58	3,49	2,65	2,05	1,59
Среднее значение	4,78	3,07	2,95	2,42	2,37	1,54

Образец ткани 4 обеспечивает уровень ослабления ЭМИ, достаточный для обеспечения экранирования ЭМП при решении ряда задач обеспечения электромагнитной совместимости и других защитных задач в диапазоне частот до 109 Гц (30 дБ).

Для испытаний использованы образцы квадратной формы размером 50×50 мм. Измерения при частоте 1 ГГц проводились на лабораторном стенде на базе измерителя комплексных коэффициентов передачи «Обзор-804/1», сопряженного с компьютерной системой регистрации и обработки сигнала. Образцы помещались в коаксиальную измерительную ячейку сечением 16/6,95 мм, согласованную с коаксиальным измерительным трактом и включенную в режим измерения ослаблений. Перед проведением измерений проводилась калибровка пустой измерительной ячейки по амплитуде и фазе. Достоверность измерений амплитуды ослабленного сигнала проверялась включением набора фиксированных аттенюаторов соответствующего частотного диапазона (50 дБ).

Измерения на частоте 10 ГГц проводились в сечениях прямоугольных волноводов соответствующего сечения 23×10 мм и 16×8 мм на основной моде Н10 при нормальном падении электромагнитной волны на образец, полностью заполняющий сечение линии. Измерения выполнены на идентичных лабораторных установках, построенных на базе СВЧ-генераторов Г4-83 и Г4-108, измерительных волноводных линий, встроенных в тракт с вентиляемыми развязками, селективных нановольтметров типа «Upiran 235». Динамический диапазон составлял 80 дБ.

Таблица 3

Текстильные материалы,
исследованные на стойкость к СВЧ-излучению

Ткань	Номер образца	Содержание висмута, мг/г
Исходная	К	0
Bi(NO ₃) ₃ + NaBH ₄	1	3,390
Bi(NO ₃) ₃ + Na ₂ [Sn(OH) ₄] (конц. 0,05:0,005 М)	2	5,610
Bi(NO ₃) ₃ + Na ₂ [Sn(OH) ₄] (конц. 0,001:0,005 М)	3	7,300
Bi(NO ₃) ₃ + AgNO ₃	4	2,500
Bi(NO ₃) ₃ + AgNO ₃ + C ₁₀ H ₁₄ O ₈ N ₂ Na ₂ ·2H ₂ O (р-р, 3 г/л)	5	5,100
Bi(NO ₃) ₃ + AgNO ₃ + C ₁₈ H ₃₅ O ₂	6	3,640
Bi(NO ₃) ₃ + C ₁₀ H ₁₄ O ₈ N ₂ Na ₂ ·2H ₂ O (р-р, 2 г/л)	7	2,260
Bi(NO ₃) ₃ + NaC ₁₈ H ₃₅ O ₂	8	3,530
Bi(NO ₃) ₃ + NaC ₁₈ H ₃₅ O ₂ + C ₇ H ₈ O (р-р, 3 г/л)	9	2,470
Bi(NO ₃) ₃ + NaC ₁₈ H ₃₅ O ₂ + C ₇ H ₈ O (р-р, 2 г/л)	10	3,070

3. Результаты и их обсуждение

В табл. 4 представлены результаты испытания стойкости тканей, металлизированных наночастицами висмута, к воздействию СВЧ-излучения.

Наилучшей по коэффициенту ослабления электромагнитного излучения СВЧ является ткань 1, обработанная раствором Bi(NO₃)₃ + NaBH₄, а наихудшей — ткань 4, обработанная Bi(NO₃)₃ + AgNO₃. Ткани подвергались 50 стиркам бытовым порошком, после которых определялись такие физико-механи-

Таблица 4

Коэффициент ослабления ЭМИ тканей, дБ

Кол-во стирок	Ткань									
	4		6		1		8		5	
	1 ГГц	10 ГГц	1 ГГц	10 ГГц	1 ГГц	10 ГГц	1 ГГц	10 ГГц	1 ГГц	10 ГГц
0	-28,5	-27,9	-28,5	-13,8	-12,6	-7,3	-17,3	-8,5	-15,4	-9,5
1	-29,5	-29,4	-29,5	-14,5	-13,5	-8,5	-18,6	-9,8	-16,4	-11,5
5	-30,9	-30,5	-30,9	-15,3	-14,6	-9,3	-19,5	-10,2	-17,4	-12,4
10	-31,5	-31,8	-31,5	-16,7	-15,8	-10,5	-20,5	-11,8	-18,6	-13,1
25	-33,9	-32,8	-33,9	-17,8	-17,8	-11,7	-22,8	-12,6	-19,9	-13,9
50	-34,7	-33,7	-34,7	-18,8	-18,5	-12,6	-23,7	-13,5	-22,5	-14,5

Таблица 5

Изменение линейных размеров после мокрой обработки тканей для защиты от ЭМИ, %

Количество стирок	Ткань									
	4		6		1		8		5	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток
5	-2,5	-13,5	0	0	0	0	-1,4	0	-2,5	0
25	-10,1	-15,5	-1,2	-1,1	-0,5	0	-2,1	-1,1	-7,1	-2,2
50	-13,3	-24,5	-1,3	-1,3	-0,6	0	-2,2	-1,4	-7,4	-2,3

Таблица 6
Физико-механические показатели ткани 1, обработанной раствором $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaBH}_4$, для защиты от ЭМИ

Показатель	Образец			
	1	2	3	4
Разрывная нагрузка полоски ткани 50×50 мм, Н				
по основе	750	775	936	540
по утку	710	625	876	510
Раздирающая нагрузка, Н				
по основе	32	34	140	17
по утку	38	53	95	30
Стойкость к истиранию, циклы				
	5100	4800	6000	3500
Изменение линейных размеров после мокрой обработки (усадка), %				
по основе	2,4	2,0	2,5	5,0
по утку	1,2	1,3	0,8	2,0

Примечание. 1 – байка, 2 – фланель, 3 – бязь, 4 – ситец.

ческие свойства, как изменение линейных размеров после мокрых обработок, разрывная и раздирающая нагрузка, жесткость при изгибе, воздухопроницаемость, гигроскопичность, электрическое сопротивление, коэффициент ослабления ЭМИ. В табл. 5 приведено изменение линейных размеров после мокрых обработок тканей для защиты от ЭМИ. Видно, что ткань 1, обработанная нитратом висмута и боргидридом натрия, имеет наименьшую усадку, а ткань 4 — наибольшую.

Следует отметить, что наименьшие изменения наблюдаются для ткани 4, которая не разрушается в процессе стирок при механических воздействиях. При этом снижение защитных свойств происходит по логарифмическому закону.

Литература

1. Каргин Ю.Ф., Ивичева С.Н., Буслаева Е.Ю., Кувшинова Т.Б., Володин В.Д., Юрков Г.Ю. Получение наночастиц висмута в опаловой матрице восстановлением соединений висмута изопропанолом в сверхкритическом состоянии // Неорганические материалы. 2006. — Т. 42. — № 5. — С. 547–550.
2. Rabin O., Manuel Perez J., Grimm J., Wojtkiewicz G., Weissleder R. An X-ray computed tomography imaging agent based on long-circulating bismuth sulphide nanoparticles // NatMater. 2006. — Vol. 5. — P. 118–122.
3. Кобраков К.И., Дмитриева М.Б., Золина Л.И., Родионов В.И., Ручкина А.Г., Серенко О.А., Станкевич Г.С. Получение наномодифицированных биоцидных шерстяных материалов и исследование устойчивости их фунгицидных свойств к мокрым обработкам // Бутлеровские сообщения. 2014. — Т. 37. — № 2. — С. 53–59.
4. Губин С.П., Юрков Г.Ю., Катаева Н.А. Наночастицы благородных металлов и материалы на их основе / ИОНХ РАН. — М., 2006. — С. 18.
5. Юрков Г.Ю., Астафьев Д.А., Горковенко М.Ю., Буслаева Е.Ю., Каргин Ю.Ф., Губин С.П. Модификация состава висмутсодержащих наночастиц внутри полиэтиленовой матрицы // Журнал прикладной химии. 2005. — № 50(9). — С. 1402–1407.
6. Слепцова С.К., Лаврентьев В.А. Модификация волокнистого поликапроамида в СВЧ электромагнитном поле // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. — №4 (19). — С. 144–147.
7. Никифорова А.А., Давыдов А.Ф. Метод определения коэффициента ослабления тканей для защиты от электромагнитных излучений // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2012. — № 3 (339). — С. 16–18.

Проводился расчет характеристик надежности тканей для защиты от электромагнитного излучения по разрывной и раздирающей нагрузкам, электрическому сопротивлению и коэффициенту ослабления ЭМИ. Для этой цели изучали ткань 4 после многократных стирок. Интенсивность отказов коэффициента ослабления ЭМИ после 50 стирок возрастает почти в 1,5 раза.

В табл. 6 показано, что полученная ткань 1, обработанная раствором $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaBH}_4$, превосходит известные материалы по потребительским характеристикам. Увеличены разрывная и раздирающая нагрузки, стойкость к истиранию, значительно уменьшена усадка и при этом ткань обладает защитными свойствами от ЭМИ.

4. Заключение

Разработан способ получения и внедрения наночастиц висмута в текстильный материал, а также метод получения защитной одежды из радиоотражающих материалов. Эксперимент показал, что поглощающие свойства обработанного материала, содержащего наночастицы висмута, выше, чем у исходной ткани в диапазоне длин волн от 1 до 10 ГГц. Наилучшей по коэффициенту ослабления электромагнитного излучения СВЧ является ткань, обработанная растворами нитрата висмута и боргидрида натрия.

Проведены испытания металлизированных тканей на устойчивость к стирке и химической чистке. Полученный материал превосходит известные ткани по потребительским характеристикам. Увеличены разрывная нагрузка, раздирающая нагрузка, стойкость к истиранию, значительно уменьшена усадка.

References

1. Kargin Yu.F., Ivicheva S.N., Buslaeva E.Yu., Kuvshinova T.B., Volodin V.D., Yurkov G.Yu. Poluchenie nanochastits vismuta v opalovoy matritse vosstanovleniem soedineniy vismuta izopropanolom v sverkhkriticheskom sostoyanii [Obtaining nanoparticles of bismuth in an opal matrix recovery of bismuth compounds with isopropanol in a supercritical state]. *Neorganicheskie materialy* [Inorganic Materials], 2006, V.42, I. 5, pp. 547–550 (in Russian).
2. O. Rabin, J. Manuel Perez, J. Grimm, G. Wojtkiewicz, R. Weissleder. An X-ray computed tomography imaging agent based on long-circulating bismuth sulphide nanoparticles. *NatMater*. 2006. Vol. 5. P.118–122.
3. Kobrakov K.I., Dmitrieva M.B., Zolina L.I., Rodionov V.I., Ruchkina A.G., Serenko O.A., Stankevich G.S. Poluchenie nanomodifitsirovannykh biotsidnykh sherstyanykh materialov i issledovanie ustoychivosti ikh fungitsidnykh svoystv k mokrym obrabotkam [Getting nanomodified biocidal woolen materials and research the sustainability of their fungicidal properties to wet processing]. *Butlerovskie soobshcheniya* [Butlerov Communications]. 2014, V. 37, I. 2, pp. 53–59 (in Russian).
4. Gubin S.P., Yurkov G.Yu., Kataeva N.A. *Nanochastitsy blagorodnykh metallov i materialy na ikh osnove* [Nanoparticles of noble metals and materials on their basis]. Moscow, 2006, pp. 18 (in Russian).
5. Yurkov G.Yu., Astaf'ev D.A., Gorkovenko M.Yu., Buslaeva E.Yu., Kargin Yu.F., Gubin S.P. Modifikatsiya sostava vismutsoderzhashchikh nanochastits vnutri polietilenovoy matritsy [modification of the composition of bismuth nanoparticles in a polyethylene matrix]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of Applied Chemistry]. 2005, pp. 1402–1407 (in Russian).
6. Sleptsova S.K., Lavrent'ev V.A. Modifikatsiya voloknistogo polikaproamida v SVCh elektromagnitnom pole [Modification of fiber polycapraamide microwave electromagnetic field]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. 2006, I. 4 (19), pp.144–147.
7. Nikiforova A.A., Davydov A.F. Metod opredeleniya koefitsienta oslableniya tkaney dlya zashchity ot elektromagnitnykh izlucheniye [Method for the determination of the attenuation coefficient of tissue to protect against electromagnetic radiation]. *Izvestiya VUZov. «Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti»* [Proceedings of the universities. "Technology of textile industry"]. I. 3 (339), 2012.

Application of Bismuth Nanoparticles for Textile Materials Protection Against Microwave Radiation

A.S. Torshin, Post-Graduate Student, Moscow State University of Design and Technology

V.V. Safonov, Head of The Department, Professor, Moscow State University of Design And Technology

E.Yu. Buslaeva, Leading Researcher, Professor, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences

S.P. Gubin, Head of The Laboratory, Professor, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences

Synthesis of metal nanoparticles which consisted in chemical restoration of solution of bismuth nitrate is carried out. Optimum parameters of bismuth restoration to a zero-valent metal state and its drawing on fabric are developed. Parameters are calculated and the design of the equipment for impact on the metallized textile materials microwave ovens by radiation is developed for the operating laboratory semi-plant. Processing of samples of natural textile fabrics is carried out by bismuth nanoparticles and researches of distribution of nanoparticles in volume of fabric, forms of particles, their size, a way of fixing in volume of material are conducted. Impact on a sample was carried out by the microwave oven in the camera with a standing wave of modular conveyor installation. It is shown that the modified fabric subjected to radiation allows to lower a radiation dose. After the microwave influence strength properties of cellulose materials were defined. Fabrics were exposed to washings by domestic laundry powder after which such physicochemical properties as change of the linear sizes after wet processings, the explosive and tearing apart loading, rigidity were defined at a bend, air permeability, hygroscopicity, electric resistance, coefficient of weakening of electromagnetic radiation. Material can be used in radio protective clothes with the strengthened partial protection which includes overalls, a helmet, gloves and boot covers made from the radio reflecting materials.

Keywords: nanoparticles, bismuth, materials, radiation, radiation protective clothes.

Очистка сточных вод от стрептомицина адсорбционным методом

Л.Н. Григорьев, заведующий кафедрой, профессор, д-р техн. наук¹

О.А. Шанова, доцент, канд. техн. наук²

Л.Г. Веренцова, доцент, канд. хим. наук¹

¹Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия

²Санкт-Петербургский государственный университет растительных полимеров

e-mail: grig.lev@mail.ru

Ключевые слова:

адсорбция,
уравнения изотерм,
стрептомицин,
сточные воды,
очистка сточных вод.

Приведены данные об адсорбции стрептомицина из водного раствора в статических и динамических условиях на активном угле, полученном из растительных остатков фармацевтического производства. Показано, что расчет равновесной величины адсорбции и продолжительности процесса при концентрации стрептомицина менее 200 мг·дм⁻³ с достаточной точностью можно выполнить, используя уравнения, соответственно, Дубинина–Радушкевича и Дубинина–Николаева.

1. Введение в проблему

Фармацевтические предприятия характеризуются обычно сравнительно небольшими (за исключением биотехнологических производств) объемами сточных вод, которые, однако, представляют значительную опасность для водных объектов. Это обусловлено, прежде всего, разнообразием применяемых сырьевых материалов, получаемых субстанций и готовых форм, которые в виде потерь переходят в сточные воды и классифицируются как вещества 1–3-го классов опасности; для ряда загрязняющих веществ (ЗВ) сброс в водные объекты запрещен. В связи с этим задача надежного обеспечения практически полного улавливания отдельных ЗВ с последующей утилизацией без ущерба для окружающей среды представляется актуальной.

Для достижения такого результата предпочтительным и перспективным является адсорбционный метод, который может обеспечить практически полное извлечение ЗВ, достаточно прост в эксплуатации, исключает образование отходов непосредственно в процессе очистки стоков. После исчерпания ресурса адсорбента последний может быть реактивирован или использован в качестве топливной добавки (совместно с адсорбированными ЗВ). В качестве адсорбента обычно рекомендуются активные углеродные материалы.

Наибольшие преимущества метода проявляются при очистке низко концентрированных сточных вод

от растворенных органических соединений. При этом он может быть реализован самостоятельно или в качестве отдельной стадии выбранной системы очистки. Положительной характеристикой метода является возможность применять в качестве адсорбентов активные угли, полученные на основе отходов производства.

К наиболее характерным ЗВ сточных вод фармацевтических предприятий можно отнести растворимые в воде антибиотики, проблема контроля и удаления которых из сточных и природных вод становится в настоящее время все более актуальной. При этом важно получить данные, которые можно использовать в практических расчетах процессов адсорбционной очистки сточных вод от антибиотиков. К таким данным относятся, в частности, величина равновесной адсорбции и продолжительность адсорбции до появления на выходе из адсорбера допустимой проскоковой концентрации ЗВ при заданной высоте слоя (или высоты слоя, необходимой для проведения адсорбции в течение заданного времени). В литературе данных в этом отношении немного и они относятся, в основном, к исследованиям в области значений концентрации антибиотиков более 200 мг·дм⁻³. Достаточно подробно изучена адсорбция ряда антибиотиков из водных растворов на активных углях: в равновесных [1, 2] и динамических [2] условиях. Однако рекомендации по использованию

полученных результатов для инженерных расчетов процесса адсорбции отсутствуют.

Основная задача данной работы — выявить особенности адсорбции стрептомицина из водных растворов на активных углях в области малых концентраций, характерных обычно для сточных вод, и использовать их при расчете адсорберов и адсорбционного процесса.

2. Экспериментальное исследование

В качестве антибиотика использовали стрептомицин. В качестве активного угля был выбран уголь условной марки АУ-1. Активный уголь марки АУ-1 получали путем пиролиза растительных остатков (щрота), образующихся после экстракционной обработки корневища и корня элеутерококка колючего. Исходный сырьевой материал просеивали на сите для удаления крупных грубых включений, отбиралась фракция $(3,0-6,0) \times 10^{-3}$ м. Далее материал увлажняли до 55–60%, пластифицировали в лопастном смесителе и гранулировали на шнековом грануляторе через фильеры диаметром $5,5 \times 10^{-3}$ м; в качестве связующего в композицию добавляли гидролизный лигнин. Гранулы высушивали до воздушно-сухого состояния при температуре 373–378 К. Пиролиз и активацию осуществляли в вертикальной кварцевой реторте с внутренним диаметром 35×10^{-3} м, помещенной в трубчатую муфельную печь. Объем загрузки составлял $0,5 \times 10^{-3}$ м³. Пиролиз проводили практически без доступа воздуха в атмосфере продуктов реакции при температуре 773–823 К в течение 1 часа; активирование осуществляли в среде баллонного диоксида углерода при температуре 1100 К до потери массы угля 55–60% от его исходного количества. Объемы пор определяли по методикам, изложенным в [3]; функциональные группы анализировали с учетом рекомендаций [4]. Характеристика угля приведена в табл. 1.

Водные растворы стрептомицина готовили на основе готовой лекарственной формы — стрептомицина сульфата $(C_{21}H_{39}N_7O_{12})_2 \cdot 3H_2SO_4$ — в диапазоне концентрации 5,0–200,0 мг·дм⁻³ (в пересчете на стрептомицин).

Одним из основных адсорбционных показателей, используемых в инженерной практике при определении необходимой массы адсорбента и продолжительности его работы, является величина равновесной адсорбции, которая принимается на основе экспериментальной изотермы адсорбции или расчетным

Таблица 1
Характеристика активного угля АУ-1

Марка угля	Удельный объем пор, см ³ ·г ⁻¹			Концентрация кислородсодержащих групп, мг-экв·г ⁻¹			
	V _{ми}	V _{пп}	V _{ма}	фенольных	карбоксильных	альдегидных	основных
АУ-1	0,35	0,11	0,35	0,069	0,097	0,076	0,174

методом. Исходные данные для построения изотермы адсорбции стрептомицина получали ампульным способом в статических условиях по общепринятой методике [5]; для каждой точки на изотерме проводилось два, иногда три параллельных опыта. Аналитическое определение концентрации стрептомицина проводили по методике [6]. В предварительных опытах было определено время установления адсорбционного равновесия, которое составило 26 часов.

Изучение адсорбции стрептомицина в динамических условиях проводили на типовой проточной установке.

3. Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлена изотерма адсорбции стрептомицина при температуре 291 ± 2 К.

Из рис. 1 видно, что в изученном диапазоне концентрации (С) стрептомицина активный уголь АУ-1 является достаточно активным адсорбентом. По форме изотерма в представленном интервале концентрации может быть отнесена к первому типу по классификации, предложенной в [7]. Из этого следует, что адсорбция стрептомицина протекает, вероятнее всего, по механизму физической адсорбции. Однако построение изотермы по экспериментальным данным в координатах линейной формы уравнений Ленгмюра и Брунауэра–Эммета–Теллера (БЭТ) (рис. 2а и 2б) (соот-

ветственно: $(C/a) - C$ и $\frac{C}{a(C_s - C)} - \frac{C}{C_s}$, где C , C_s —

концентрация адсорбтива (стрептомицина) и его растворимость, мг·дм⁻³; a — величина адсорбции, мг·г⁻¹) показывает, что линейная зависимость нарушается и тем в большей степени, чем меньше концентрация стрептомицина. На наш взгляд, это обусловлено проявлением хемосорбционного эффекта [8], не сказывающегося, в данном случае, заметно на форме изотермы адсорбции.

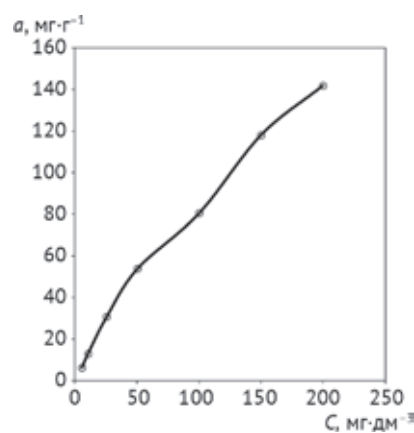


Рис. 1. Изотерма адсорбции стрептомицина ($T = 291$ К): a — величина адсорбции, мг·г⁻¹, C — концентрация адсорбтива, мг·дм⁻³

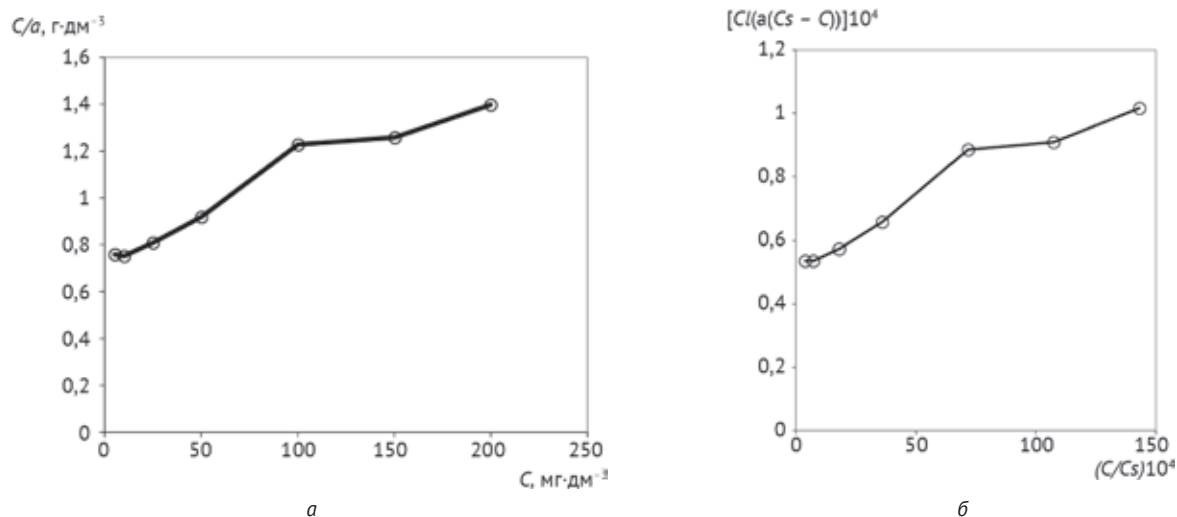


Рис. 2. Изотермы адсорбции стрептомицина: а) в координатах уравнения Ленгмюра; б) в координатах уравнения БЭТ

Наименьшие отклонения от прямолинейной зависимости наблюдаются при оценке равновесной адсорбции стрептомицина с помощью уравнения Дубинина–Радушкевича (ДР) (рис. 3):

$$a = \frac{W}{\nu} \exp \left[-B \left(\frac{T}{\beta} \lg \frac{C_s}{C} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где: a — величина адсорбции, мг·г⁻¹;

W — предельный объем адсорбционного пространства, см³·г⁻¹;

ν — мольный объем, см³·моль⁻¹;

B — структурная константа, град⁻²;

β — коэффициент подобия, безразмерный;

T — температура адсорбции, К;

C_s — растворимость адсорбтива, мг·дм⁻³;

C — концентрация адсорбтива, мг·дм⁻³.

На основе рис. 3 определены константы уравнения ДР: $W = 0,41$ см³·г⁻¹; $B = 23,9 \cdot 10^{-6}$ град⁻². По спо-

собу Бенсона [9] рассчитан мольный объем стрептомицина, $\nu = 531,4$ см³·моль⁻¹; коэффициент подобия определен из соотношения мольных объемов стрептомицина и бензола.

Сопоставление расчетных данных с экспериментальными (табл. 2) показывает, что значение относительной погрешности среднего между ними составляет приемлемую для инженерных расчетов величину. При этом следует отметить, что наибольшие значения погрешности приходятся (в большей степени) на расчеты для малых концентраций, со снижением которых менее 5,0 мг·дм⁻³ уравнение ДР может оказаться не адекватным.

Для определения динамических характеристик адсорбции стрептомицина были сняты выходные кривые для двух высот слоя угля (h): $h = 0,045$ м и $h = 0,075$ м. Исходные данные для построения выходной кривой приведены в табл. 3.

На рис. 4 приведена выходная кривая адсорбции стрептомицина в полулогарифмических координатах.

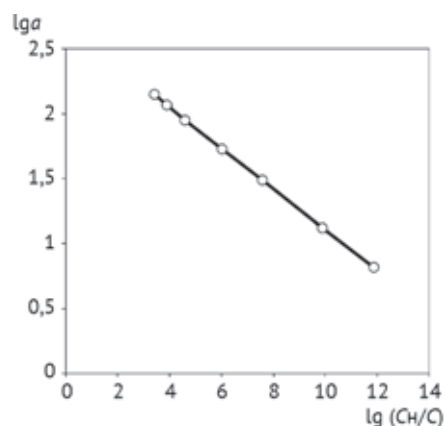


Рис. 3. Изотерма адсорбции стрептомицина в координатах уравнения ДР

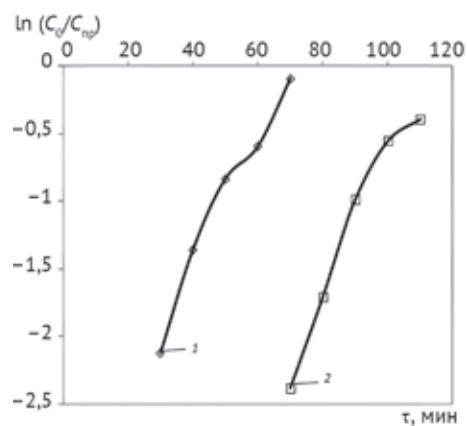


Рис. 4. Выходные кривые адсорбции стрептомицина 1 — высота слоя 0,045 м; 2 — высота слоя 0,075 м

Таблица 2
Погрешность расчета изотермы адсорбции стрептомицина

lg (C _{ср} /C _о)	Уголь АУ - 1		относительная погрешность среднего, %
	адсорбция, а (мг·г ⁻¹)		
	экспериментальная	расчетная	
3,44	6,65	7,87	11,88
3,14	13,31	13,54	1,21
2,75	31,00	27,43	8,64
2,45	54,29	47,22	9,85
2,14	81,04	82,75	1,47
1,97	118,64	112,57	3,71
1,84	142,39	142,43	0,02

Из рис. 4 можно видеть, что в области малых относительных значений проскоковой концентрации (C_{ср}/C_о) стрептомицина (до 0,26 при h = 0,045 м и до 0,29 при h = 0,075 м) наблюдается линейная зависимость, наклон которой с повышением проскоковой концентрации уменьшается. Это свидетельствует о том, что в области малых концентраций стрептомицина и, соответственно, малых его проскоковых концентрациях адсорбция протекает во внешнедиффузионной области [10] и основное сопротивление массопередаче сосредоточено в жидкой фазе. При более высоких проскоковых концентрациях и, следовательно, больших степенях заполнения поверхности угля, скорость перемещения стрептомицина в слое снижается, что обусловлено, вероятнее всего, проявлением внутридиффузионного сопротивления.

С учетом отмеченного представляется возможным определить продолжительность (τ_{ср}) адсорбции стрептомицина на угле АУ-1 в интервале концентрации меньше 50 мг·дм⁻³ и при заданной высоте (h) слоя загрузки, используя уравнение Дубинина–Николаева [10]:

$$\tau_{ср} = [h - w \cdot \ln(C_o/C_{ср})/K_m] \cdot (\alpha \cdot a) / (C_o \cdot w), \quad (2)$$

где w — фиктивная линейная скорость потока раствора, м·с⁻¹,

K_м — коэффициент массопередачи, с⁻¹;

C_о и C_{ср} — начальная и проскоковая концентрация адсорбтива, мг·дм⁻³; α — коэффициент, учитывающий отклонение времени, соответствующего точке пересечения продолжения линейного участка

Таблица 3
Результаты динамических опытов

τ, мин	C _{ср} /C _о	h, м	τ, мин	C _{ср} /C _о	h, м
25	0,09		70	0,09	
30	0,12		80	0,18	
40	0,26	0,045	90	0,37	0,075
50	0,43		100	0,57	
60	0,55		110	0,67	
70	0,90		—	—	—

выходной кривой с осью абсцисс от времени (рис. 3), определяющего положение половинной концентрации стрептомицина, безразмерный.

Коэффициент массопередачи рассчитывали из условия мгновенного проскока стрептомицина по формуле:

$$K_m = -(\ln C_{ср} / C_o) \cdot w / h. \quad (3)$$

Для высоты слоя угля АУ-1 h = 0,045 м значение K_м = 21,7 мин⁻¹, для высоты h = 0,075 м — значение K_м = 19,2 мин⁻¹. При среднем значении коэффициента массопередачи K_м = 20,4 мин⁻¹ относительная погрешность расчета продолжительности адсорбции не превышает 10,2%.

4. Заключение

Для расчета равновесной концентрации стрептомицина при концентрации в сточной воде 5–200 мг·дм⁻³, очищаемой адсорбционным методом с применением активного угля, целесообразно использовать уравнение Дубинина–Радушкевича. При необходимости достичь малой проскоковой концентрации стрептомицина в очищенной сточной воде следует учитывать, что основное сопротивление массопередаче сосредоточено в жидкой фазе.

Продолжительность адсорбции стрептомицина из сточных вод на активном угле при малой его начальной и проскоковой концентрации может быть рассчитана по уравнению Дубинина–Николаева.

Обозначения

- a — величина адсорбции, мг·г⁻¹;
- B — структурная константа, град⁻²;
- C — концентрация адсорбтива, мг·дм⁻³;
- C_с — растворимость адсорбтива, мг/дм³;
- C_о — начальная концентрации адсорбтива, мг·дм⁻³;
- C_{ср} — проскоковая концентрации адсорбтива, мг·дм⁻³;
- h — высота слоя угля, м;
- K_м — коэффициент массопередачи, с⁻¹;
- T — температура адсорбции, К;
- V_{ми} — удельный объем микропор, см³·г⁻¹;
- V_{пп} — удельный объем переходных пор, см³·г⁻¹;
- V_{ма} — удельный объем макропор, см³·г⁻¹;
- w — фиктивная линейная скорость потока раствора, м·с⁻¹;
- W — предельный объем адсорбционного пространства, см³·г⁻¹;
- α — коэффициент, учитывающий отклонение времени, соответствующего точке пересечения продолжения линейного участка выходной кривой с осью абсцисс от времени (рис. 3), определяющего положение половинной концентрации стрептомицина, безразмерный;
- β — коэффициент подобия, безразмерный;
- υ — мольный объем, см³·моль⁻¹.

Литература

1. Тимофеева А.В. Исследование процессов сорбции и десорбции антибиотиков разных групп на многослойных углеродных нанотрубках типа «Таунит» // Материалы межд. научн. конф. «Химия и химические технологии». Publishing House «Education and Science» s.r.o. Praha, 2013. — Т. 65. — С. 47–54.
2. Rivera-Utrilla J., Prados-Joya G., Sánchez-Polo M., Ferro-García M.A., Bautista-Toledo I. Removal of nitroimidazole antibiotics from aqueous solution by adsorption/bioadsorption on activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. — V. 170, — I. 1. — pp. 298–305.
3. Вяхирев Д.А., Шишунова А.Ф. Руководство по газовой хроматографии. — М.: Высшая школа, 1987.
4. Boehm H.P. Chemical identification of surface groups. *Advances in Catalysis*, 1966. — V. 16. — pp. 179–274.
5. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии / Под ред. Ю.С. Никитина, Р.С. Петровой. 2-е изд. — М.:Изд-во МГУ, 1990.
6. Коваленко Л.И., Родионова Г.М. Руководство к лабораторным занятиям по фармацевтической экологии / Под ред. А.П. Арзамасцева. — М.: Медицина, 2007.
7. Грег С., Синг К. Адсорбция. Удельная поверхность. Пористость. — М.: Мир, 1984.
8. Григорьев Л.Н., Александрова Т.А., Шанова О.А. Особенности адсорбции растворенных веществ в области низких концентраций // ЖПХ. 2011. — Т. 84, № 6. — С. 922–926.
9. Расчет физико-химических свойств жидкостей / Справочник. — Л.: Химия, 1976.
10. Николаев К.М., Дубинин М.М., Поляков Н.С. Кинетика и динамика физической адсорбции // Тр. III Всесоюз. конф. по теор. вопр. адсорбции. — М.: Наука, 1973. — С. 117–123.

References

1. Timofeeva A.V. *Issledovanie protsessov sorbtzii i desorbtzii antibiotikov raznykh grupp na mnogoslonykh uglerodnykh nanotrubkakh tipa "Taunit"* [Investigation of the processes of sorption and desorption of antibiotics of different groups on multiwalled carbon nanotubes such as 'TOWN']. *Materialy mezhd.nauchn.konf. "Khimiya i khimicheskie tekhnologii"* [Materials of international scientific conference "Chemistry and chemical technology"]. Publishing House "Education and Science" s.r.o. Praha, 2013, V. 65, pp. 47–54 (in Russian).
2. Rivera J., Prados G., Canches M. Removal of nitroimidazole antibiotics from aqueous solution by adsorption/bioadsorption on activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*. 2009, I. 170, p. 298–305.
3. Vyakhirev D.A., Shishunova A.F. *Rukovodstvo po gazovoy khromatografii* [Manual gas chromatography]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987. 335 p (in Russian).
4. Boehm H.P. Chemical identification of surface groups. *Adv. Catal. and Relat. Subj.*, 1966, V.16., pp. 179–274.
5. Nikitin Yu.S., Petrova R.S. *Eksperimental'nye metody v adsorbtsii i molekulyarnoy khromatografii* [Experimental methods in molecular adsorption chromatography]. Moscow, MGU Publ., 1990. 318 p (in Russian).
6. Kovalenko L.I., Rodionova G.M. *Rukovodstvo k laboratornym zanyatiyam po farmatsevticheskoy ekologii* [Guide to laboratory work on the ecology of the pharmaceutical]. Moscow, OAO "Izdatel'stvo "Meditsina" Publ., 2007. 176 p (in Russian).
7. Greg S., Sing K. *Adsorbtsiya. Udel'naya poverkhnost'. Poristost'* [Specific surface. Porosity]. Moscow, Mir Publ., 1984. 306 p (in Russian).
8. Grigor'ev L.N. Aleksandrova T.A., Shanova O.A. *ZhPKh* [Journal of Applied Chemistry]. 2011, V.84, I. 6, pp. 922–926 (in Russian).
9. Stolyarov E.A., Orlova N.G. *Raschet fiziko-khimicheskikh svoystv zhidkostey* [Calculation of the physico-chemical properties of liquids]. Leningrad, Khimiya Publ., 1976. 112 p (in Russian).
10. Nikolaev K.M., Dubinin M.M., Polyakov N.S. *Kinetika i dinamika fizicheskoy adsorbtsii. Tr. tret'ey Vsesoyuzn. konf. po teoreticheskim voprosam adsorbtsii* [Kinetics and dynamics of physical adsorption. Tr. Third All-Union. Conf. adsorption on theoretical issues]. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 117–123 (in Russian).

Wastewater Purification from Streptomycin Through Adsorption Method

L.N. Grigoriev, Head of Department, Doctor of Engineering, Professor, Saint-Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy

O.A. Shanova, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

L.G. Verentsova, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Saint-Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy

Data on adsorption from aqueous streptomycin solution in static and dynamic conditions for the activated carbon obtained from plant waste of pharmaceutical production is provided. It is displayed that the calculation of the equilibrium values of adsorption and the duration of the process at a concentration of streptomycin less than 200 mg·dm⁻³ can be performed with sufficient accuracy using equations of, respectively, Dubinin – Radushkevich and Dubinin – Nikolaev.

Keywords: adsorption, equation adsorption isotherms, streptomycin, waste water, wastewater decontamination..

Анализ экологических аспектов применения перспективных схем силовых установок ближне- и среднемагистральных самолетов

С.А. Бурцев, канд. техн. наук, доцент
М.Ю. Самойлов, старший преподаватель,
М.В. Симаков, ассистент

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

e-mail: burtsev@bmstu.ru, som60@mail.ru, simakov@bmstu.ru

Ключевые слова:

гражданская авиация, авиационный двигатель, гибридная силовая установка, топливная эффективность, альтернативное топливо, экологические требования.

Исследовано влияние схемных решений гибридной силовой установки ближне- и среднемагистральных самолетов на их топливную экономичность и экологические характеристики. Проанализированы пути совершенствования традиционных схем силовых установок самолетов на примере двигателя ПД-14. Показано, что использование двухконтурных турбореактивных двигателей традиционных схем, работающих на авиационном керосине, не позволит выполнить требования, выдвигаемые Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) к перспективному самолету 2025–2035 гг. Выполнен анализ трех схем гибридных силовых установок. Показано, что использование в представленных схемах альтернативного топлива может уменьшить выбросы CO₂ на 19–20% по сравнению с традиционными двухконтурными турбореактивными двигателями, работающими на керосине ТС-1. Показано, что при этом топливная экономичность возрастает на 2–3%, а суммарная масса силовой установки – на 6–16%.

1. Введение

В настоящее время в нашей стране идет проектирование перспективных турбовентиляторных двигателей семейства ПД-14 для ближне- и среднемагистральных самолетов (БМС) в диапазоне тяги на взлетном режиме (высота полета $H = 0$ м; число Маха полета $M = 0$) от 11 до 16 (в перспективе до 18) тс. Летные испытания базового варианта двигателя на летящей лаборатории Ил-76ЛЛ в ЛИИ им. Громова начнутся в 2015 г., тогда же планируется сертификация авиадвигателя ПД-14 по российским нормам летной годности. Сертификация по европейским нормам летной годности запланирована на 2017 г. [1].

ПД-14 — двухконтурный двухвальный двигатель, без смешения потоков наружного и внутреннего контуров, с реверсом и эффективной системой шумоглушения. По своим характеристикам он относится к

двигателям пятого поколения. По сравнению с лучшими российскими (совместными) турбореактивными двухконтурными двигателями (SaM146, ПС-90А2) и зарубежными аналогами (CFM56, V2500) был сделан качественный скачок в повышении основных параметров, обеспечивающий снижение удельного расхода топлива двигателя ПД-14 на 12–16% [2].

Для перспективных самолетов гражданской авиации к 2025–2035 гг. прогнозируемый ИКАО (Международная организация гражданской авиации — ICAO — International Civil Aviation Organization) уровень целевых показателей предполагает снижение расхода топлива на 60–70%, уменьшение на 50% уровня эмиссии по CO₂ и на 75–80% — по NO_x, снижение уровня шума в 2 раза и т.д. [3]. В то же время прогнозируется, что уменьшение удельного расхода топлива (а также уровня эмиссии CO₂) на пассажи-

ро-километр на 50% может быть достигнуто лишь при одновременном улучшении аэродинамических характеристик самолёта, повышении эффективности силовой установки и совершенствовании системы управления воздушным движением [4].

В настоящее время в семействе двигателей ПД-14 используются все современные технологии: полые широкохордные титановые лопатки, бесполочная конструкция вентилятора, моноколеса (блиски) и сварная секция в роторе компрессора высокого давления, малоэмиссионная камера сгорания из интерметаллидного сплава, монокристаллические лопатки турбины высокого давления с перспективной системой охлаждения, керамические покрытия на деталях горячей части, эффективная система шумоглушения, полые лопатки турбины низкого давления и композитная мотогондола [5]. Однако их использование, как и повышение качества обработки и покрытий элементов проточной части (см., например, [6]), позволяет только выйти на современный уровень двигателестроения, но не выполнить требования к перспективным двигателям 2025–2035 гг.

2. Пути повышения топливной эффективности двигателей и снижения выбросов CO₂

Существующие тенденции в развитии гражданской авиации и эволюция экологических требований к авиации рассмотрены в [7]. Основной упор сделан на снижение шума и уменьшение выбросов CO₂ и NO_x. Анализ развития норм ИКАО по шуму, перспективы введения новых требований и пути их выполнения представлены в [8]. Пути снижения вредных выбросов активно обсуждаются, но единого подхода к решению этого вопроса пока нет.

В качестве глобальной цели 37-я Ассамблея ИКАО наметила ежегодно повышать на 2% топлив-

ную эффективность авиаперевозок в мире вплоть до 2050 г. [3]. Для реализации этой цели необходимо резко повысить эффективность двигателей перспективного БСМС при одновременном снижении вредных выбросов, что возможно или за счет перехода на новые виды топлива [9, 10], или изменения схемных решений силовой установки самолета (см., например, [11]).

Использование альтернативных видов топлива объявлено одним из приоритетных направлений развития авиации. ИКАО провела Конференцию по авиации и альтернативным видам авиационного топлива (CAAF), на которой принята глобальная рамочная программа по альтернативным видам авиационного топлива (ГРПАТ — www.icao.int/AltFuels). Европейская комиссия настаивает, чтобы к 2020 г. в авиационной отрасли использовалось около 4% топлива, полученного из биологических источников. Экологичные смесевые альтернативные виды топлива, производимые из биомассы или возобновляемых масел, предоставляют возможность уменьшить жизненный цикл эмиссии парниковых газов и тем самым снизить воздействие авиации на глобальное изменение климата [9, 12].

На рис. 1 представлена динамика глобального потребления топлива в течение всего полета применительно к периоду 2006–2036 гг. Для 2006 г. представлены фактические данные, а для периода 2016–2036 — данные, смоделированные для различных сценариев развития технологий. Этими результатами охватываются как внутренние, так и международные перевозки (на базовый 2006 г. — суммарный объем потребления 187 млн т топлива, в том числе на долю внутренних перевозок приходилось примерно 38% общего количества, а на долю международных перевозок — 62%) [3].

Сценарии развития технологий производства воздушных судов и условий эксплуатации, отражающие потребление авиационного топлива в течение всего полета (по данным [3]):

- S1 — сценарий 1 базовый — отсутствие улучшения технологий производства воздушных судов и эксплуатационных улучшений;
- S3 — сценарий 3 — умеренные улучшения технологий производства воздушных судов и эксплуатационные улучшения, предусматривается уменьшение объема потребления топлива на 0,96% в год для всех воздушных судов, которые были введены в состав парка после 2006 г. и будут вводиться в состав парка до 2036 г.;
- S4 — сценарий 4 — продвинутое улучшение технологий производства воздушных судов

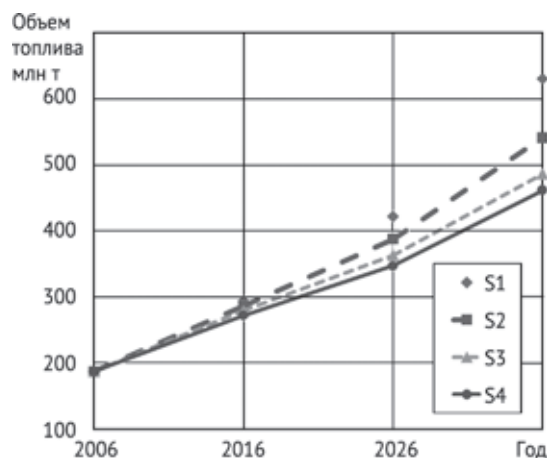


Рис. 1. Глобальное потребление авиационного топлива в течение всего полета при различных сценариях развития технологий

и эксплуатационные улучшения, в рамках которых предусматривается уменьшение потребления топлива на 1,16% в год для всех воздушных судов, которые были введены в состав парка после 2006 г. и будут вводиться до 2036 г.;

- S5 — сценарий 5 оптимистичный — улучшения технологий производства воздушных судов и продвинутые эксплуатационные улучшения, в рамках которых предусматривается оптимистичное уменьшение потребления топлива на 1,5% в год для всех воздушных судов, которые были введены в состав парка после 2006 г. и будут вводиться в состав парка до 2036 г. Этот сценарий выходит за рамки отраслевых рекомендаций, касающихся потенциальных усовершенствований.

По прогнозам ИКАО, объем пассажирских перевозок в период 2006–2036 гг. предположительно будет расти в среднем на 4,8% в год. За тот же период объем потребляемого авиационного топлива будет увеличиваться на 3,0–3,5% в год [3].

На рис. 2 представлена динамика среднего за полет показателя топливной эффективности коммерческих воздушных судов (CASFE) в период с 2006 по 2036 г. Для базового 2006 г. значение CASFE составляет 0,32 кг топлива на перевезенный тонно-километр (кг/т-км). Так же на рис. 2 пунктирной линией показан примерный расчет значений желаемой цели ИКАО в отношении выбросов CO₂.

Из приведенных данных видно, что даже при самом оптимистичном сценарии развития технологий темпы снижения среднего за полет показателя топливной эффективности коммерческих воздушных судов будут приблизительно в 1,5–2 раза мень-

ше, чем необходимо для достижения желаемой цели ИКАО в отношении выбросов CO₂. Для удовлетворения этого требования необходимо применять новые схемные решения силовой установки, которые позволят резко повысить эффективность и одновременно снизить выбросы CO₂.

3. Анализ гибридных схем двигателей при работе на альтернативном топливе

В настоящее время за рубежом созданы опытно-промышленные образцы синтетического реактивного топлива из природного газа, угля и биомассы, соответствующие требованиям спецификации ASTM D7566-09 на синтетическое жидкое топливо (СЖТ). США планируют к 2016 г. удовлетворить потребности ВВС в топливе за счет смесей топлива JP-8 с синтетическим топливом 50 : 50; компания Airbus планирует к 2020 г. 30% самолетов эксплуатировать на СЖТ [12]. Проведенный анализ показал, что переход на маловязкие смесевые альтернативные жидкие авиационные топлива возможен без серьезного изменения топливной системы [13], а использование «тяжелых» углеводородных фракций потребует значительной переделки системы.

Исследования выполнены по методике, аналогичной изложенной в [11]. Дополнительно принято, что работа гибридной силовой установки происходит на сжиженном природном газе (СПГ) или топливе с аналогичным химическим составом [9]. В [12] показано, что если силовые установки транспортных самолетов работают на СПГ (его аналоге), то абсолютная эмиссия CO₂ за полет на 17% ниже, чем у установок, работающих на авиационном керосине ТС-1 (за счет меньшего содержания углерода). Снижение для авиационного сконденсированного топлива (АСКТ) составит 4%, для синтетического жидкого углеводородного топлива из газа (СЖТ) — 3%.

Для дальнейшего анализа в качестве альтернативного топлива для гибридных схем принят сжиженный природный газ; для традиционной схемы — авиационный керосин ТС-1. Это условие не противоречит требованиям ИКАО [9].

Известно, что газотурбинные двигатели могут работать на различных видах топлива, поэтому первыми кандидатами на апробацию альтернативного горючего в авиации стали ближние магистральные (дальность полета от 1000 до 2500 км) и средние магистральные (дальность от 2500 до 6000 км) рейсы. В большинстве случаев на самолетах этих перевозчиков стоят двухконтурные двигатели с большой степенью двухконтурности. Использование схемы летательного аппарата с дополнительным хвостовым винтом в данном случае не нарушает общую концепцию самолета.

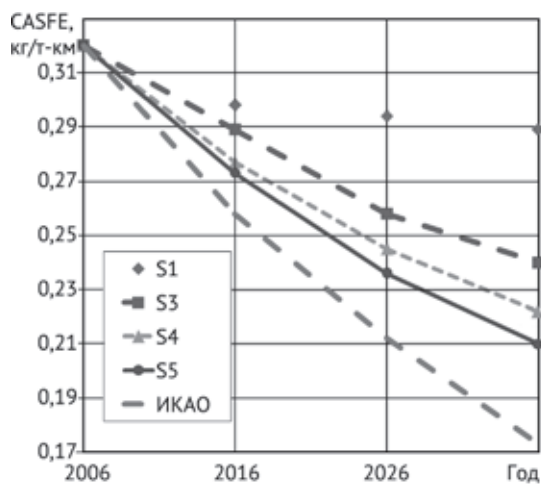


Рис. 2. Средний за полет показатель топливной эффективности коммерческих воздушных судов (CASFE) при различных сценариях развития технологий

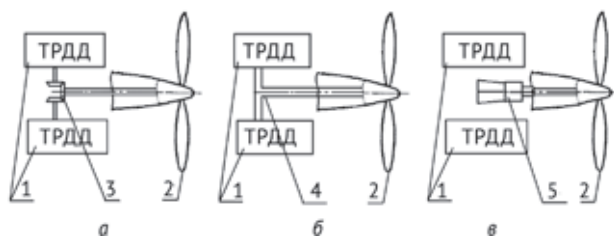


Рис. 3. Схемы гибридных силовых установок БСМС
а – с механической связью между ТРДД и хвостовым вентилятором (схема А); б – с электрической связью между ТРДД и хвостовым вентилятором (схема Б); в – с приводом хвостового вентилятора от батареи топливных элементов (схема В); 1 – маршевый ТРДД; 2 – хвостовой (выносной) винтовентилятор; 3 – механическая система привода выносного винтовентилятора; 4 – электрическая система привода выносного винтовентилятора; 5 – электрохимический генератор на основе топливных элементов для привода выносного винтовентилятора.

В [11] проанализированы пять схем силовых установок перспективного дальнемагистрального самолета. Из них для перспективного БСМС интерес могут представлять три схемы гибридных силовых установок (рис. 3) (схемы А, В и Е из [11]). Конкретная схема используемых маршевых ТРДД (турбовинтовые, винтовентиляторные и т.д.) в рамках данной работы не анализируется.

Схема А — схема гибридной силовой установки с механической связью между ТРДД и хвостовым (выносным) винтовентилятором (вентилятором). Отбор мощности для привода хвостового винтовентилятора производится от ротора газогенератора ТРДД.

Схема Б — схема гибридной силовой установки с электрической связью между ТРДД и хвостовым (выносным) винтовентилятором (вентилятором). Для электропривода винтовентилятора предполагается использовать регулируемый по частоте вращения электродвигатель постоянного тока. Механическую трансмиссию заменяет электрическая проводка. Отбор мощности для электрических генераторов осуществляется с вала маршевых ТРДД.

Схема В — схема гибридной силовой установки с приводом хвостового (выносного) винтовентилятора (вентилятора) от батареи топливных элементов. Маршевые ТРДД работают независимо от хвостового

винтовентилятора, для привода которого используется батарея топливных элементов. В качестве аналога топливных элементов использованы перспективные для дальнейшей разработки твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), предложенные ИЭ УрО РАН [14].

Анализ массогабаритных характеристик и КПД элементов перспективных ТРДД выполнен в соответствии с прогнозом развития ТРДД на период до 2025–2030 гг. [15]. При анализе принято условие, что при полете на крейсерском режиме хвостовой винтовентилятор должен обеспечить 20% суммарной тяги. Результаты сопоставления схем гибридных силовых установок представлены в таблице.

4. Заключение

Использование технологий, применяемых в настоящее время при создании двигателя пятого поколения для ближне- и среднемагистральных самолетов, позволяет выйти на современный уровень двигателестроения, но не выполнить требования к перспективным двигателям 2025–2035 гг. Для реализации глобальных целей, намеченных ИКАО в области топливной эффективности и снижения выбросов CO₂, необходимо переходить на альтернативные виды топлива и/или создавать новые схемные решения гибридной силовой установки самолета.

Переход на альтернативные виды топлива позволяет снизить выбросы CO₂ на 3–17% при сохранении топливной эффективности. Наиболее эффективным альтернативным топливом, позволяющим снизить выбросы CO₂ на 17%, является сжиженный природный газ.

По результатам проведенного анализа можно отметить, что влияние схемного решения силовой установки на топливную эффективность и объем выбросов CO₂ было незначительное: для рассмотренных трех схем гибридных силовых установок находилось в диапазоне от 2 до 3%. Дополнительно следует отметить, что если тенденции снижения веса электрического оборудования и топливных элементов не изменятся, то рост суммарной массы силовой установки составит от 6 до 16%, что в свою очередь приведет к дополнительным затратам топлива.

Таблица

Результаты сопоставления схем гибридных силовых установок перспективного БСМС с традиционной схемой

Параметр	Схема гибридной силовой установки		
	Схема А	Схема Б	Схема В
Повышение топливной эффективности по сравнению с традиционной схемой, %	2	2	3
Снижение выбросов CO ₂ при работе на СПГ, %	19	19	20
Увеличение суммарной массы силовой установки, %	6	8	16

Литература

1. Деловой Авиационный портал. Режим доступа: <http://www.ato.ru/content/> (дата обращения 11.03.2015).
2. Иноземцев А. Двигатель ПД-14 — будущее российско-го авиапрома // ВПК: военно-промышленный курьер. 2013. № 33 (501). Режим доступа: <http://vpk-news.ru/articles/17206> (дата обращения 11.03.2015).
3. Нынешние и будущие тенденции в области авиационного шума и эмиссии авиационных двигателей. Рабочий документ А37-WP/26. — Монреаль: ИКАО, 2010. — 10 с.
4. Эзрохи Ю.А., Каленский С.М., Полев А.С., Дрыгин А.С. Предварительное исследование характеристик гибридных турбореактивных двухконтурных двигателей различных схем для ближне- и среднемагистральных самолетов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. — № 3. — Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/381537.html> (дата обращения 16.01.2015).
5. Семейство перспективных двигателей ПД-14// ОАО «Авиадвигатель»: сайт. Режим доступа: <http://www.avid.ru/pd14/> (дата обращения 11.03.2015).
6. Галиев В.Э., Фаткуллина Д.З., Таминдаров Д.Р. О проблемах и перспективах изготовления прецизионных компрессорных лопаток // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. — № 4. — С. 10–25. DOI: 10.7463/0414.0705085.
7. Николайкин Н.И. Новые приоритеты в сфере защиты окружающей среды от воздействия гражданской авиации двигателями // Безопасность в техносфере. 2013. — Т. 2, — № 5. — С. 25–30.
8. Халецкий Ю.Д. ИКАО: новый стандарт на шум самолетов гражданской авиации // Двигатель. 2014. — № 2. — С. 8–11.
9. Авиация и альтернативные виды авиационного топлива. Рабочий документ А37-WP/23. — Монреаль: ИКАО, 2010. — 5 с.
10. Марков В.А., Девянин С.Н., Маркова В.В. Оценка экологической безопасности силовых установок с дизельными двигателями // Безопасность в техносфере. 2014. — Т. 3, — № 2. — С. 23–32.
11. Эзрохи Ю.А., Каленский С.М., Полев А.С., Дрыгин А.С., Рябов П.А. Сравнительный анализ параметров и характеристик различных схем силовой установки с дополнительным выносным винтовентилятором // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. — № 12. — С. 541–556. DOI: 10.7463/1212.0511469
12. Яновский Л.С., Разносчиков В.В. Эмиссия углекислого газа силовыми установками транспортных самолетов на альтернативных топливах // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. — № 4. — С. 32–37.
13. Шумилов И.С., Чурсова Л.В., Седова Л.С. Рабочие жидкости авиационных гидросистем, их свойства // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. — № 4. — С. 187–226. DOI: 10.7463/0414.0705577
14. Ярославцев А.Б., Никоненко В.В. Ионнообменные мембранные материалы: свойства, модификация и практическое применение // Российские нанотехнологии. 2009. — Т. 4, — № 3–4. — С. 33–53.
15. Ланшин А.И., Палкин В.В., Федякин В.Н. Анализ тенденций развития двигателей для самолётов гражданской авиации // Двигатель. 2010. — № 6. — С. 2–6.

References

1. *Delovoi Aviatsionnyi portal* [Aviation Business Portal]. Available at: <http://www.ato.ru/content/> (accessed 11 March 2015) (in Russian).
2. Inozemtsev A. The PD-14 engine is the future of Russian aviation industry. *VPK: voenno-promyshlenniy kur'er* [Military-Industrial Courier], 2013, I. 33 (501). Available at: <http://vpk-news.ru/articles/17206> (accessed 11 March 2015) (in Russian).
3. Present and Future Aircraft Noise and Emissions Trends. Working Paper A37-WP/26. ICAO, 2010. 9 p.
4. Ezrokhi Yu.A., Kalenskii S.M., Polev A.S., Drygin A.S. Preliminary research of characteristics of various implementations of hybrid turbofan engines for short- and medium-haul aircrafts. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education of the Bauman MSTU]. 2012, I. 3. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/381537.html> (accessed 16 January 2015) (in Russian).
5. Family of advanced engines PD-14. *JSC "Aviadvigatel"* [Aircraft Engine]: website. Available at: <http://www.avid.ru/pd14/> (accessed 11 March 2015) (in Russian).
6. Galiev V.E., Fatkullina D.Z., Tamindarov D.R. About the problems and perspectives of making precision compressor blades. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2014, I. 4, pp. 10–25. DOI: 10.7463/0414.0705085 (in Russian).
7. Nikolaikin N.I. New Priorities in the Environment Protection against Civil Aviation Influence. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere], 2013, V. 2, I. 5, pp. 25–30 (in Russian).
8. Khaletskii Yu.D. ICAO: a new standard for civil aircraft noise. *Dvigatel'*, 2014, I. 2, pp. 8–11 (in Russian).
9. Aviation and Alternative Fuels. Working Paper A37-WP/23. ICAO, 2010. 5 p.
10. Markov V.A., Devyanin S.N., Markova V.V. Assessment of Ecological Safety of Power Plants with Diesel Engines. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere], 2014, V. 3, I. 2, pp. 23–32 (in Russian).
11. Ezrokhi Yu.A., Kalenskii S.M., Polev A.S., Drygin A.S., Ryabov P.A. Comparative analysis of parameters and

- characteristics of different power plant schemes with an additional remote propfan. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2012, I. 12, pp. 541–556. DOI: 10.7463/1212.0511469 (in Russian).
12. Yanovskii L.S., Raznoschikov V.V. Carbon dioxide emission by power units of transport aircrafts on alternative fuels. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas industry], 2012, I. 4, pp. 32–37 (in Russian).
13. Shumilov I.S., Chursova L.V., Sedova L.S. Process fluids of aero-hydraulic systems and their properties. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2014, I. 4, pp. 187–226. DOI: 10.7463/0414.0705577 (in Russian).
14. Yaroslavtsev A.B., Nikonenko V.V. Ion-exchange membrane materials: Properties, modification, and practical application. *Rossiiskie nanotekhnologii*, 2009, V. 4, I. 3-4, pp. 33–53. (English translation: *Nanotechnologies in Russia*, 2009, vol. 4, no. 3–4, pp. 137–159. DOI: 10.1134/S199507800903001X).
15. Lanshin A.I., Palkin V.V., Fedyakin V.N. Analysis of development trends of engines for civil aircraft. *Dvigatel'*, 2010, I. 6, pp. 2–6 (in Russian).

Ecological Aspects of Implementing Prospective Propulsion Schemes of Short and Medium Haul Aircrafts

S.A. Burtsev, Ph.D. of Engineering, Bauman Moscow State Technical University

M.Yu. Samoylov, Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University

M.V. Simakov, Assistant, Bauman Moscow State Technical University

The influence of the circuitry of the hybrid power plant short and medium haul aircraft on their fuel efficiency and environmental characteristics have been investigated. Directions of improvement of traditional patterns of power plants of aircraft on the example of PD-14 engine were analyzed. It has been shown that the use of turbojet engines and traditional schemes operating on aviation kerosene, will not allow to fulfill the demands made by the International Civil Aviation Organization (ICAO) to perspective plane 2025–2035. The analysis of the three schemes hybrid propulsion systems has been performed. It has been shown that using the presented hybrid propulsion systems of alternative fuels can reduce CO₂ emissions by 19% to 20% compared with conventional turbojet engines, which run on kerosene TS-1. It has been shown that this fuel efficiency is increased by 2–3%, and the total mass of the power plant increases of 6 to 16%.

Keywords: civil aviation, aircraft engine, hybrid propulsion system, fuel efficiency, alternative fuel, environmental requirements.

О предоставлении списка кандидатов из числа аспирантов на назначение стипендий Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации

(письмо Минобрнауки России от 13 мая 2015 г. № АК-1277/05)

В соответствии с Положением о стипендиях Президента Российской Федерации, утвержденным распоряжением Президента Российской Федерации от 6 сентября 1993 г. № 613-рп, и Положением о стипендиях Правительства Российской Федерации для аспирантов и студентов государственных организаций, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 6 апреля 1995 г. № 309, приказом Минобрнауки России от 17 апреля 2015 г. № 408, государственными образовательными организациями установлены квоты на стипендии Президента Российской Федерации и стипендии Правительства Российской Федерации для аспирантов (адъюнктов) на 2015/16 учебный год.

Минобрнауки России обращается к государственным образовательным организациям в срок не позднее 1 августа 2015 года предоставить сведения о кандидатах на получение стипендий Президента Российской Федерации и стипендий Правительства Российской Федерации в соответствии с установленными квотами, заполнив списки кандидатов

Сведения необходимо предоставить в электронном виде через интернет-сайт www.asp.cbias.ru в раз-

деле «Стипендии Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации для аспирантов» /«Федеральные органы исполнительной власти, главные распорядители средств федерального бюджета», а также направить на бумажном носителе в установленном порядке в адрес Департамента государственной политики в сфере высшего образования Минобрнауки России.

Авторизация доступа для ввода информации на сайте осуществляется с вводом «имени» и «пароля». Прежние «имена» и «пароли» действуют. Для их получения вновь или восстановления необходимо до 1 июня 2015 года послать запрос по электронной почте на адрес rolotnovmm@mpei.ru (контактное лицо -Полотнов Михаил Михайлович, тел. (495) 362-70-06) с указанием фамилии, имени и отчества уполномоченного представителя, его служебного телефона и служебного адреса электронной почты.

Контактное лицо в Департаменте государственной политики в сфере высшего образования Минобрнауки России: Селихов Дмитрий Николаевич.

Тел.: (495) 629-17-03.

Методика прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций природного характера на сети автомобильных дорог

Ю.В. Трофименко, заведующий кафедрой, профессор, д-р техн. наук

А.Н. Якубович, профессор, д-р техн. наук

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

e-mail: ywtrofimenko@mail.ru, 54081@mail.ru

Ключевые слова:

планирование дорожной сети,
риски чрезвычайных ситуаций,
прогнозирование вреда,
геоинформационные технологии.

При описании чрезвычайной ситуации (ЧС) природного характера как случайного процесса главную трудность составляет большое число параметров, которые должны быть количественно оценены. Предложено рассматривать проявление ЧС как реализацию дискретной случайной величины; каждой возможной реализации соответствует определенный размер ожидаемого вреда для объектов транспортной инфраструктуры. На основе анализа результатов инженерно-экологических изысканий с использованием геоинформационных технологий определены ожидаемая вероятность возникновения и размеры ежегодного вреда для 10 видов ЧС на перспективной (до 2030 г.) сети автодорог ГК «Автодор».

1. Введение

Чрезвычайные ситуации (ЧС) природного и техногенного происхождения неизбежно связаны с нарушением нормального режима жизнедеятельности, разрушением инфраструктуры, нанесением вреда здоровью и созданием угрозы для жизни людей. Ежегодные расходы на ликвидацию только наиболее острых последствий ЧС составляют в России, по оценкам 2013 г., 224,4 млрд руб. [1].

В предлагаемых различными исследователями методах оценки и прогнозирования вреда от ЧС можно выделить два основных направления. Первое не предполагает формализованного описания процессов ЧС и основано на построении многоаспектных экономико-математических моделей, в которых прогнозирование вреда основывается на статистических данных о вреде за прошлые периоды [2–4]. При этом повышение точности прогноза достигается либо за счет использования статистических методов, наиболее эффективных при решении конкретных задач [5–7], либо в результате учета особенностей отдельных видов ЧС [8]. Вторая группа методов оценки и прогнозирования вреда основана на формальных вероятностных моделях, в которых в явном виде присутствуют параметры

риска (вероятности) возникновения ЧС [9, 10]. Подобный подход позволяет более адекватно описывать процессы неблагоприятных природных явлений, в том числе с учетом особенностей их отдельных видов. В то же время возникают дополнительные трудности по количественной оценке параметров, входящих в вероятностные модели. Особенно заметно эти трудности проявляются при рассмотрении больших территорий, в пределах которых характер проявления ЧС существенно различается, а значит, различны и значения параметров в их формализованном описании. Особенности определения вреда для линейных и пространственно-распределенных объектов рассмотрены, например в [11–14].

Планирование ресурсов (в том числе финансовых) для ликвидации последствий ЧС требует соответствующего научного обоснования, учитывающего их явно выраженный вероятностный характер. Создание финансовых и экономических инструментов, направленных на возмещение вреда, рассмотрено в [15–18]; при этом прогнозный вред определяется на региональном уровне, на основе укрупненных статистических данных и без разделения ЧС по отдельным видам.

В настоящей работе представлена методика, позволяющая количественно оценивать риски возникновения различных видов ЧС природного характера и прогнозировать наносимый ими вред объектам транспортной инфраструктуры, а также приведены результаты реализации этой методики применительно к перспективной сети дорог ГК «Автодор».

2. Теоретический анализ

Основополагающий принцип: все рассматриваемые природно-климатические явления и процессы, происходящие вблизи автомобильных дорог, носят явно выраженный случайный характер, с варьируемыми в весьма широких пределах масштабом и частотой проявления. Также принимается, что размер годового вреда дорожным объектам является по своей природе случайной величиной. Закон и параметры распределения этой случайной величины зависят как от параметров вызывающих вред случайных процессов, так и от относительно хорошо детерминированных инженерно-технологических факторов — конфигурации дорожной сети, конструкции дорожной одежды, инженерного устройства. Поэтому моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций основывается на методах математического описания случайных процессов. К основным параметрам, используемым для описания ЧС как случайного процесса, относятся:

- интервал времени Δt , в течение которого оценивается вероятность наступления ЧС с определенными характеристиками;
- вид ЧС, соответствующий определенному индексу k ;
- интенсивность события M_k (для каждого вида ЧС единицы измерения его интенсивности выбираются индивидуально и являются, в общем случае, независимыми, как и шкалы их представления — нормальная, логарифмическая и т.д.);
- количество событий N_k , наступление которых считается возможным за период Δt , и вероятность наступления которых оценивается.

Отказавшись от детального рассмотрения развития конкретного события во времени (ограничившись оценкой вероятности факта наступления такого события и используя для его характеристики максимальную интенсивность изменения определяющих показателей), для каждого вида ЧС получим двумерное пространство состояний (фазовое пространство), измерениями которого являются M_k и N_k . Это пространство состояний смешанного вида: вдоль измерения M_k оно непрерывное ($0 \leq M_k \leq \infty$), а вдоль N_k — дискретное ($N_k = 0, 1 \dots \infty$). Кроме того, случайные параметры M_k и N_k , очевидно, не являются независимыми. Следовательно, для описания их взаимодействия целесообразно использовать двумерную

случайную величину, характеризуемую функцией совместной плотности вероятностей $p_k(M_k, N_k)$.

С учетом вышесказанного, считая случайный процесс многомерным (по количеству учитываемых видов ЧС) и полагая $\Delta t = t - t_0$, можно представить общее формализованное описание процесса в виде:

$$V(t) = \{V_1(M_1, N_1, t), V_2(M_2, N_2, t), \dots, V_K(M_K, N_K, t)\}. \quad (1)$$

При использовании (1) вероятность возникновения ЧС определенного вида определяют с помощью сечений соответствующей функции $V_k(M_k, N_k, t)$ при зафиксированных значениях t . Поскольку каждое такое сечение есть плотность распределения двумерной случайной величины $p_{k,t}(M_k, N_k)$, вероятность возникновения события интенсивностью $x_{\min} \leq M_k \leq x_{\max}$ ровно z раз в течение промежутка времени $\Delta t = t - t_0$ составляет:

$$v_k(x_{\min}, x_{\max}, z, \Delta t) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} p_{k,t}(x, z) dx. \quad (2)$$

Главной трудностью, сдерживающей практическое использование выражения (1) при оценке вероятностей возникновения ЧС, является большое количество параметров в функциях $V_k(M_k, N_k, t)$. Например, широко используемое в аналогичных задачах нормальное распределение основано на количественном определении двух параметров (среднего значения $M_{k,N}$ и стандартного отклонения $\sigma_{k,N}$), соответственно, общее количество параметров для ЧС одного вида равно $2N_{k,\max}$ (где $N_{k,\max}$ — наибольшее количество событий, предполагаемых возможными в течение периода Δt). Очевидно, что с возрастанием рассматриваемого периода времени $N_{k,\max} \rightarrow \infty$ проблема количественной оценки параметров функции V_k становится трудноразрешимой. Кроме того, параметры V_k , очевидно, зависят от времени (например, среднее значение $M_{k,N}(t)$ является возрастающей функцией, поскольку с ростом Δt возрастает и вероятность проявления ЧС повышенной интенсивности). Это автоматически относит выражение (1) к классу нестационарных процессов и еще более усложняет процедуру количественного описания его параметров.

Существенно упростить вычислительную процедуру можно путем фиксации периода времени Δt , оценивая вероятность проявления единственного события ($N_k = 1$) и предполагая независимость событий. В этом случае параметры V_k перестают зависеть от времени (процесс становится стационарным) и кардинально сокращается их количество. Переход к периодам произвольной продолжительности Δt

($y = 1, 2, \dots, \infty$) и количеству событий z в течение этого периода осуществляется на основе:

$$P_{z,y} = \frac{y!}{z!(y-z)!} P_{1,1}^z (1 - P_{1,1})^{y-z}, \quad (3)$$

где $P_{1,1}$ — вероятность проявления события (ЧС определенного вида и интенсивности) в течение интервала времени Δt , определяется с помощью (2) при $z = 1$;

$P_{z,y}$ — вероятность проявления z событий в течение периода $y\Delta t$.

При определении величины возможного вреда от ЧС необходимо располагать данными о среднестатистических величинах вреда $C_k(M)$, имеющего место при возникновении события k -го вида с интенсивностью M_k . Тогда общий ожидаемый вред в течение прогнозного периода $y\Delta t$ (от всех учитываемых видов ЧС) будет равен:

$$U = \sum_{k=1}^K y \frac{\int_{-\infty}^{\infty} C_k(M) P_k(M) dM}{\int_{-\infty}^{\infty} C_k(M) dM}. \quad (4)$$

Поскольку представить функцию $C_k(M)$ в явном виде, пригодном для использования в (4), на практике затруднительно, целесообразно для каждого вида ЧС разбить весь возможный диапазон M_k на ограниченное количество интервалов B_k (4–6 интервалов), что будет означать переход от непрерывного описания процесса ЧС к дискретному. В результате такого преобразования каждое событие — проявление ЧС k -го вида в течение периода Δt — может быть формализованно представлено как матрица S_k :

$$S_k = \begin{pmatrix} M_{k,1} & M_{k,2} & \dots & M_{k,B_k} \\ P_{k,1} & P_{k,2} & \dots & P_{k,B_k} \\ C_{k,1} & C_{k,2} & \dots & C_{k,B_k} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $M_{k,i}$ — количественная характеристика для i -го интервала возможной интенсивности ЧС k -го вида; в качестве такой характеристики может использоваться максимальное, либо среднее значение интенсивности в данном интервале;

$P_{k,i}$ — вероятность проявления в течение периода Δt ЧС k -го вида с количественной характеристикой $M_{k,i}$;

$C_{k,i}$ — ожидаемый вред от проявления ЧС с характеристикой $M_{k,i}$.

Поскольку проявления ЧС с характеристиками $M_{k,1} - M_{k,B_k}$ можно рассматривать как отдельные события, несовместные и образующие полную группу (иными словами, для любого k справедливо условие $\sum P_{k,i} = 1$), общий ожидаемый вред от всех видов ЧС за период $y\Delta t$ можно определить по формуле:

$$U = \sum_{k=1}^K \left(y \sum_{i=1}^{B_k} P_{k,i} C_{k,i} \right) = y \sum_{k=1}^K U_k, \quad (6)$$

где U_k — средний прогнозируемый вред за период Δt от ЧС k -го вида, учитывающий все возможные его интенсивности и вероятности их проявления.

Зависимости (1)–(6) положены в основу методики количественной оценки рисков ЧС и прогнозируемых размеров вреда от их наступления. Практическая реализация методики применительно к сети дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги» (ГК Автодор) изложена далее.

Необходимо особо отметить, что получаемые в результате значения U являются оценкой усредненного значения вреда как случайной величины, понимаемая под периодом усреднения бесконечно большой период времени. При этом вполне возможна (а для редких явлений, таких, как землетрясения, и заранее предполагается) ситуация, когда в течение ограниченного планового периода определенное явление (и связанный с ним вред) не будут наблюдаться ни разу. Однако данное обстоятельство не может служить критерием некорректности полученных прогнозных результатов. В то же время имеется отличная от нуля вероятность превышения частот (и общего размера вреда) от отдельных природно-климатических явлений в течение того же планового периода. Подобная картина обусловлена особенностями проявления (реализации) случайных величин.

3. Практическая реализация

При использовании формулы (6) на территории размещения перспективной сети дорог ГК «Автодор» (Европейская часть Российской Федерации) предполагается наличие неизменных природно-климатических и инженерно-инфраструктурных условий в период до 2030 г., определяющих вероятность возникновения ЧС и вызываемый ими вред. В противном случае территорию необходимо разбивать на отдельные участки, для каждого из которых рассматриваются все возможные виды ЧС природного характера, а все элементы S_k считаются неизменными.

Перспективная сеть автодорог ГК «Автодор» отличается значительной протяженностью (до 18 тыс. км к 2030 г. по инновационному сценарию развития, на территории 42 субъектов Российской Федерации). Это делает целесообразным использование геоинформационных технологий и создание специализированной геоинформационной системы как инструмента практической реализации методики и получения количественных оценок уровней риска и ожидаемого вреда от ЧС природного характера. Эффективность применения многоаспектных информационных систем

для решения задач мониторинга и прогнозирования неблагоприятных природных явлений показана в [19–22]. Применительно к рассматриваемой задаче к наиболее важным и востребованным возможностям геоинформационных технологий относятся:

- наличие средств для обработки пространственно-координированных данных, что позволяет использовать большие массивы существующих картографических материалов, отражающих природно-климатические и инженерно-инфраструктурные особенности территории;
- возможность выполнения как базовых операций гео моделирования (агрегирование данных, геокодирование, определение буферных зон, оверлейные операции), так и построения на их основе многоэтапных процедур сетевого анализа дорожной сети, редактирования и формирования топологических и атрибутивных массивов пространственно-координированных данных, в том числе программным путем по заранее определенным алгоритмам;
- широкие возможности по визуализации полученных результатов, их отображению с максимальной информационной насыщенностью, с привязкой к конкретным участкам дорожной сети.

Некоторые общие вопросы типизации неблагоприятных природных явлений рассмотрены в [23,

24]. Виды ЧС, для которых был оценен риск проявления и определен прогнозный вред применительно к перспективной дорожной сети ГК «Автодор», приведены в табл. 1. Критериями для включения определенного вида ЧС в приведенный перечень были, во-первых, степень его опасности и распространенности, во-вторых, наличие необходимых картографических и статистических данных для количественной оценки риска возникновения ЧС.

Фактографической основой для формирования информационных слоев ГИС, используемых для оценки интенсивности отдельных видов ЧС на территории расположения дорожной сети ГК «Автодор», служили карты районирования территории России по уровням опасности различных видов ЧС, карты, схемы распространенности и статистические данные об отдельных видах опасных явлений, космические снимки территории и результаты их дешифрирования и другие материалы, обычно получаемые на стадии инженерно-экологических изысканий при проектировании линейных объектов. С использованием геоинформационных технологий выполнено разбиение перспективной сети ГК «Автодор» на участки в соответствии с уровнем средней прогнозной интенсивности ЧС природного характера. Результаты разбиения дорожной сети по уровням риска наводнений и возникновения придорожных пожаров показаны на рис. 1 и 2 соответственно (см. с. 3 обложки).

Многообразие параметров, необходимых для исчерпывающего формального описания исходных природно-климатических процессов, в сочетании с заведомой неполнотой фактической информации о количественных значениях этих параметров, не позволяют использовать выражения (2) и (4) для прогнозирования вероятности наступления и оценки разрушительных последствий таких процессов. Оценка предполагаемого вреда и, соответственно, базовых (экспертных) оценок вреда U_k для началь-

Таблица 1
Природные явления, приводящие к чрезвычайным ситуациям, для которых определены риски возникновения и размеры прогнозного вреда

k	Природное явление	Характеристика интенсивности	Количество интервалов B_k
1	Землетрясения	Расчетная интенсивность сейсмических воздействий согласно ОСР-97-А	6
2	Лесные пожары	Площадь придорожных территорий, на которой наблюдается данный вид ЧС за 1 среднестатистический год	6
3	Наводнения	Площадь придорожных территорий, на которой данные процессы наблюдались	4
4	Геокриологические процессы	Площадь придорожных территорий, на которой распространены породы, способствующие возникновению ЧС	6
5	Карстовые явления	Площадь придорожных территорий, на которой распространены породы, способствующие возникновению ЧС	4
6	Просадочные процессы	Площадь придорожных территорий, на которой распространены породы, способствующие возникновению ЧС	4
7	Оползни	Площадь придорожных территорий, на которой распространены породы, способствующие возникновению ЧС	6
8	Сели	Площадь придорожных территорий, на которой распространены породы, способствующие возникновению ЧС	4
9	Гололедно-изморозевые явления	Среднестатистическое количество явлений за 1 год	4
10	Осадки повышенной интенсивности	Среднестатистическое количество явлений за 1 год	4

Таблица 2
Базовые экспертные оценки вреда по отдельным видам ЧС, используемые в (6)

k	Вид ЧС	U_k , тыс. руб./км в год
1	Землетрясения	5
2	Лесные пожары	4
3	Наводнения	15
4	Геокриологические процессы	1
5	Карстовые явления	20
6	Просадочные процессы	10
7	Оползни	1
8	Сели	4
9	Гололедно-изморозевые явления	1
10	Осадки повышенной интенсивности	1

ного (нижнего) уровня опасности по каждому виду природно-климатического явления осуществляется по формуле (6), с одновременным построением для каждого вида явления своей шкалы соответствия между уровнем опасности и размером вреда. В настоящей работе использованы шкалы, основанные на геометрической прогрессии, со знаменателем 2 и базовой экспертной оценкой (табл. 2) в качестве основания.

4. Результаты и их обсуждение

Общая протяженность участков дорожной сети, находящихся в зонах риска возникновения ЧС, приведена в табл. 3. Наиболее распространенными видами ЧС, имеющими высокий риск возникновения (уровни с 4 по 6 при 6-диапазонной шкале, и уровни 3–4 при 4-диапазонной), являются *гололедно-изморозевые явления*, а также *наводнения и подтопления* дорожных объектов.

Таблица 3

Прогнозирование риска ЧС в процессе развития дорожной сети ГК «Автодор»

Вид и уровень риска	Протяженность автодорог в зонах риска ЧС по годам проекта, км					Вид и уровень риска	Протяженность автодорог в зонах риска ЧС по годам проекта, км				
	2015 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г., при сценарии			2015 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г., при сценарии	
				базовом	оптимистичном					базовом	оптимистичном
<i>Землетрясения</i>						Уровень 3	789	789	789	1 330	1 781
Уровень 1	37	37	843	1 263	1 324	Уровень 4	185	549	1 385	1 743	1 990
Уровень 2	185	185	398	469	594	<i>Просадочные процессы</i>					
Уровень 3	75	75	75	93	93	Уровень 1	808	1 081	1 690	2 918	4 298
Уровень 4	22	22	22	51	51	Уровень 2	428	428	2 084	3 814	5 169
Уровень 5	0	0	0	502	502	Уровень 3	443	443	586	1 565	1 797
Уровень 6	0	0	0	0	0	Уровень 4	339	339	339	610	610
<i>Лесные пожары</i>						<i>Оползни</i>					
Уровень 1	511	511	801	899	1 871	Уровень 1	668	824	1 262	2 935	5 061
Уровень 2	117	117	481	725	1 289	Уровень 2	303	390	1 023	1 880	2 996
Уровень 3	92	92	92	325	483	Уровень 3	1 606	1 727	2 907	5 388	7 331
Уровень 4	68	68	229	620	1 135	Уровень 4	177	177	268	926	1 192
Уровень 5	96	201	283	498	990	Уровень 5	45	45	510	934	1 118
Уровень 6	132	132	290	458	850	Уровень 6	0	0	0	0	0
<i>Наводнения</i>						<i>Сели</i>					
Уровень 1	193	193	604	1 506	1 506	Уровень 1	0	0	0	0	0
Уровень 2	867	1 094	2 621	3 573	6 524	Уровень 2	0	0	0	0	0
Уровень 3	1 508	1 645	2 087	6 196	8 346	Уровень 3	0	0	0	0	53
Уровень 4	230	230	659	788	1 323	Уровень 4	0	0	0	138	138
<i>Геокриологические процессы</i>						<i>Гололедно-изморозевые явления</i>					
Уровень 1	581	581	936	1 405	1 647	Уровень 1	0	0	0	0	0
Уровень 2	889	889	2 922	6 569	8 385	Уровень 2	532	532	2 193	5 039	8 266
Уровень 3	1 133	1 497	1 917	2 997	6 110	Уровень 3	2 267	2 630	3 778	7 024	9 432
Уровень 4	196	196	196	1 093	1 556	Уровень 4	0	0	0	0	0
Уровень 5	0	0	0	0	0	<i>Осадки повышенной интенсивности</i>					
Уровень 6	0	0	0	0	0	Уровень 1	0	0	1 100	2 401	3 693
<i>Карстовые явления</i>						Уровень 2	2 082	2 082	3 792	6 898	11 240
Уровень 1	43	43	43	430	430	Уровень 3	716	1 080	1 080	2 765	2 765
Уровень 2	681	681	744	1 489	2 466	Уровень 4	0	0	0	0	0

На рис. 3 (см. с. 3 обложки) показана нумерация участков дорожной сети ГК «Автодор», используемая при определении прогнозного вреда от отдельных видов природно-климатических явлений. Приведенная на рис. 3 дорожная сеть отражает результаты реализации инновационного сценария развития сети по состоянию на 2030 г.; инерционный сценарий развития к 2030 г. ограничен участками 2–17.

Прогнозируется, что к 2030 г. при реализации инерционного сценария в зоне высокого риска возникновения ЧС в результате гололедно-изморозевых явлений, а также наводнений и подтоплений будет находиться соответственно 58,2 и 57,9% дорожной сети.

Наименее распространенными видами аномальных природных явлений в прогнозный период будут образование селей (1,1% дорожной сети), разрушительные землетрясения (4,6%) и геокриологические процессы (9,1%). Для карстовых явлений наиболее уязвимы участки 8, 13 и 5, для которых ежегодный расчетный вред составляет 70 млн руб., 66 млн руб. и 58 млн руб. соответственно. В целом для дорожной сети средний ежегодный вред прогнозируется на уровне 550 млн руб. в ценах 2014 г.

Среднегодовой расчетный вред от *просадочных явлений* составляет 265 млн руб., что примерно в 2 раза ниже прогнозируемого вреда от *карстовых явлений*. Наибольший прогнозный вред получен для участков 10, 14 и 19 (56 млн руб., 39 млн руб. и 32 млн руб. соответственно). В то же время на двух участках (11 и 15) опасность просадки грунта и, соответственно, прогнозируемый вред отсутствуют; на участках 4 и 16 прогнозный вред составляет менее 1 млн руб. в год, а еще на 4 участках (1, 5, 21, 22) — менее 3 млн руб. Это свидетельствует о неравномерном распределении данного вида опасности по территории расположения дорожной сети и необходимости детально обследовать наиболее опасные участки сети при проведении инженерно-экологических изысканий с целью уточнения прогнозных значений вреда.

Опасность возникновения на дорожной сети аварийных ситуаций, обусловленных *геокриологическими процессами*, заметно ниже, чем от карстовых и просадочных явлений. Это связано с большим опытом строительства и эксплуатации различных объектов в криолитозоне, накопленном в России и позволяющем выбирать и реализовывать инженерно-технические решения, учитывающие геокриологические особенности территории и тем самым минимизирующие возможный вред от развития данных процессов. При этом имеет место неравномерное распределение прогнозируемого вида вреда по территории. Наибольший среднегодовой вред предполагается на участках 17 и 18 (свыше 8 млн руб. в

год), в то же время на сопоставимом с ними по длине участке 19 расчетный вред составляет менее 5,5 млн руб., а на участках 10 и 14 — около 3,5 млн руб.

Большая часть территории дорожной сети находится в зоне умеренного риска возникновения *оползней*, с отдельными участками повышенной и высокой опасности разрушения дорожных объектов. Общий ожидаемый ежегодный вред от данного природного явления для всей дорожной сети составляет 67,8 млн руб., что сопоставимо с вредом от геокриологических проявлений. Наиболее опасным является участок 10, где расчетный вред превышает 9 млн руб. в год. Также высокий вред (5–6 млн руб.) прогнозируется на участках 9, 14, 16, 18 и 19. Сравнительно низким риском возникновения оползней характеризуются участки 5 и 22, где вред составляет менее 1 млн руб. ежегодно.

С точки зрения опасности возникновения *селей*, в зоне риска находится около 10% территории расположения перспективной дорожной сети ГК «Автодор». Наиболее опасные участки расположены на Северном Кавказе. Для участка 16 среднегодовое значение данного вида вреда около 3,8 млн руб.; подверженные селевой опасности участки 21 и 10 характеризуются ожидаемыми значениями вреда 0,8 и 0,6 млн руб. в год. При этом данные затраты подразумевают не только восстановление поврежденного селями дорожного полотна, но и реализацию противоселевых мероприятий. Суммарный вред от возникновения селей по всей дорожной сети составляет 5,3 млн руб. ежегодно, что значительно ниже ожидаемого вреда от остальных природных явлений. Это объясняется малой долей селеопасных участков на сети ГК «Автодор».

Землетрясения являются одним из наиболее разрушительных видов природных катастроф с точки зрения размеров наносимого вреда. Одновременно необходимо учитывать, что разрушительные землетрясения на той или иной конкретной территории достаточно редки, вероятность их ежегодного возникновения значительно ниже 1. Это дает основания отнести удельный вред от возникновения землетрясений к уровню, промежуточному между вредом от часто наблюдаемых природных явлений (наводнения, просадки грунта, карст) и вредом от более редких и менее масштабных причин (геокриологические процессы, оползни, сели). Общая величина среднегодового вреда для всей дорожной сети составляет 56 млн руб., что сопоставимо с ожидаемым вредом от оползней и геокриологических процессов.

Природные явления, сопоставимые с землетрясениями по своим разрушительным последствиям, но отличающиеся значительно более частыми проявлениями, — это *наводнения и подтопления*. В силу

высокой разрушительной способности и частой повторяемости наводнения и подтопления вызывают среднегодовой вред, наибольший среди всех рассматриваемых природных явлений. Для дорожной сети этот расчетный вред составляет 887 млн руб. в год.

Ливни (сильные дожди) — метеорологическое явление, область распространения и частота возникновения которого значительно превосходят аналогичные показатели остальных природных явлений. Вред, наносимый ливневыми дождями, обусловлен как возрастанием вероятности дорожно-транспортных происшествий, так и возможным инициированием таких опасных процессов и явлений, как дождевые паводки и наводнения, эрозия речных берегов и русел вблизи мостов и т.д. В силу распространенности данного явления ему подвержены все участки, хотя и в разной степени: вред варьирует от 0,7 до 10,6 млн руб. (для участков 22 и 14 соответственно). Общий ежегодный вред по всей дорожной сети составляет 87 млн руб.

Гололедно-изморозевые явления приводят к вреду, связанному как с повышением частоты дорожно-транспортных происшествий (при отложении льда и изморози на дорожном покрытии), так и с увеличением вероятности выхода из строя конструкций инженерных сооружений (проводов, опор линий электропередач, мостовых опор и т.д.) при увеличении нагрузки на них вследствие ледяных отложений. В силу повсеместной распространенности рассматриваемого явления вызываемый им общий расчетный вред для всей дорожной сети составил 110 млн руб. в год. В целом, неблагоприятные метеорологические явления (ливни, гололед и изморозь) наносят ежегодно вред в размере 200 млн руб., что сопоставимо с вредом от просадки грунта.

Около 12% всех перспективных дорог ГК «Автодор» будет проходить по землям с высоким риском *придорожных пожаров*. Размер вреда, наносимого придорожными пожарами, зависит как от их масштабов, так и от типа преобладающей лесной растительности. Общий среднегодовой вред по всей дорожной сети оценивается в размере 278 млн руб., при этом более 30% общего вреда (88 млн руб.) ожидается в пределах участка 18, имеющего протяженность свыше 2 тыс. км и проходящего через большое количество лесных массивов. Также значительный систематический вред от придорожных лесных пожаров прогнозируется на участках 17 (53 млн руб.) и 4 (40 млн руб.). Участки, проходящие по безлесным территориям, отличаются незначительными размерами ожидаемого вреда (менее 1 млн руб. в год на участках 2, 3, 13, 14, 16, 22). В целом, размер данного вида вреда уступает только вреду от наводнений и карстовых явлений.

С учетом всех видов неблагоприятных природно-климатических явлений общий вред для дорожной сети ГК «Автодор» (инновационный сценарий развития по состоянию на 2030 г.) прогнозируется на уровне 2,38 млрд руб. в год. Наибольшие расчетные значения получены для участков 18 (277 млн руб.), 19 (216 млн руб.) и 10 (215 млн руб. в год). Максимальный удельный вред (на 1 км дороги) прогнозируется на участках 15 (240 тыс. руб., высокая пожароопасность и вероятность наводнений), 5 и 16 (249 и 253 тыс. руб. соответственно, распространены карстовые явления и высока вероятность наводнений). Наименее подвержены вреду от неблагоприятных природно-климатических явлений участки 11 (48 тыс. руб.) и 9 (85 тыс. руб. на 1 км в год).

С учетом планового развития дорожной сети приведена детальная погодная роспись оценок ожидаемого вреда от реализации рисков природно-климатических явлений, с учетом аннуитетной капитализации ожидаемого эффекта 2030 г. для учета рисков в постпрогнозный период (табл. 4).

Дисконтирование ожидаемых ежегодных оценок вреда от наступления природно-климатических явлений по хозяйственной ставке дисконтирования

Таблица 4

Ожидаемый вред от наступления неблагоприятных природно-климатических явлений за прогнозный период развития дорожной сети

Год	Недисконтированный вред в ценах 2014 г., млн руб./год, по сценарию		Дисконтированный вред при ставке 7%, млн руб./год, по сценарию	
	инерционному	инновационному	инерционному	инновационному
2015	386	386	361	361
2016	422	422	369	369
2017	440	440	359	359
2018	458	458	350	350
2019	477	477	340	340
2020	477	477	318	318
2021	637	711	397	443
2022	717	828	417	482
2023	797	945	434	514
2024	878	1 062	446	540
2025	878	1 062	417	505
2026	1 189	1 590	528	706
2027	1 345	1 853	558	769
2028	1 501	2 117	582	821
2029	1 656	2 381	600	863
2030	1 656	2 381	8 015 *	11 522 *
ВСЕГО ожидаемый вред от природно-климатических рисков			14 490	19 260

* Для получения указанных значений применялась процедура отсроченной аннуитетной капитализации без роста.

(7%) позволяет дать капитализированную оценку рассматриваемой группы природных рисков в 14,5–19,3 млрд руб. Статистически, сформированный резервный фонд такого объема, вложенный в инструменты с ежегодной (реальной) доходностью, соответствующей примененной ставке дисконтирования, может стать источником финансирования работ по ликвидации последствий рассмотренных групп природных рисков.

5. Заключение

Риски возникновения ЧС природного характера необходимо обязательно учитывать при прогнозировании развития дорожной сети России. Большое разнообразие природно-климатических условий и, как следствие, недостаточность многолетних статистических данных не позволяет непосредственно использовать строгие математические модели для количественной оценки рисков (определения вероятности возникновения ЧС различных видов и ин-

тенсивность их проявления). В связи с этим более рационально описать неблагоприятные природно-климатические явления в дискретной форме, как полные группы событий, с последующим определением (назначением экспертным путем) для каждого такого события величины ожидаемого вреда.

Управление природными рисками в соответствии с наилучшей международной практикой может осуществляться путем создания общих или целевых резервных фондов, аккумулирующих средства на предотвращение последствий реализации таких рисков. Среднее ожидание рисков (в денежной форме) может влиять на операционные показатели деятельности и выступать для эксплуатирующих организаций отрицательным коммерческим эффектом (затратами). Полученная в настоящей работе капитализированная оценка вреда от реализации природных рисков рассматривается как эффект, который в дальнейшем рекомендуется учитывать при проведении полного анализа «затраты–выгоды».

Литература

1. О результатах и основных направлениях деятельности МЧС России на 2014 год и плановый период 2015–2016 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.mchs.gov.ru/activities/results/Doklad_o_rezultatah_i_osnovnih_napravlen (дата обращения 21.04.2015).
2. *Авдоткин В.П., Дзыбов М.М., Самсонов К.П.* Оценка ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. — М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), — 2012.
3. *Самсонов К.П., Авдоткин В.П., Радецкий А.В. и др.* Методология оценки экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2010. — С. 414–420.
4. *Вакарев А.А.* Методические подходы к определению экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций для региональной экономики // Вестн. Волгоградского гос. ун-та, сер. 3. Экономика. Экология. 2011; 1: 54–60.
5. *Плющиков В.Г., Фатиев М.М.* Статистические методы оценки и прогнозирования экономического ущерба от природных чрезвычайных ситуаций // Вестн. Росс. ун-та дружбы народов. Сер. Агрономия и животноводство. 2012; 2: 5–15.
6. *Радаев Н.Н.* Повышение точности прогноза вероятности катастроф за счет учета неоднородных статистических данных по ущербу // Автоматика и телемеханика. 2000; 3: 183–189.
7. *Решетников В.А.* Прогнозирование экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций // Инновационное реформирование экономики и общества в условиях глобальной нестабильности. Саратов: ООО «Институт исследований и развития профессиональных компетенций», 2015. С. 187–190.
8. *Подрезов Ю.В.* Прогнозирование экономического и социально-экологического ущерба от чрезвычайных лесопожарных ситуаций // Проблемы правовых и экономических способов предупреждения и минимизации вреда, возникающего в условиях чрезвычайных ситуаций. — М.: ИИЦ ВНИИ ГОЧС, 2000. — С. 300–304.
9. *Александров А.А., Ларионов В.И., Суцев С.П.* Единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Вестн. Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2015; 1: 113–132.
10. *Черных Г.С.* Формирование результатов информационного обеспечения принятия решения на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций с использованием методов нечеткого моделирования // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2012; 1: 70–75.
11. *Шевченко А.И.* Оценка устойчивости перевозочного процесса // Мир транспорта. 2013; 5: 136–143.
12. *Шевченко А.И.* Предупреждение и оценка стихийных бедствий // Мир транспорта. 2013; 4: 138–145.
13. *Наумов И.С.* Методика обоснования оптимального состава ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций на пространственно распределенных объектах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011; 5: 145.
14. *Наумов И.С.* Поиск и управление оптимальным составом ресурсов на пространственно распределенных объектах при возникновении чрезвычайных ситуаций //

- Вестн. Поволжского гос. технологического ун-та. Сер. Экономика и управление. 2011; 2: 12–19.
15. Акимов В.А., Тимофеева Т.Б., Лесных В.В. Проблема выбора оптимальной структуры национальной системы возмещения ущерба от природных и техногенных чрезвычайных ситуаций // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2006; 6: 3–10.
 16. Лесных В.В., Тимофеева Т.Б. Национальная система возмещения ущерба, вызванного природными и техногенными ЧС: подходы, моделирование, оптимизация // Проблемы анализа риска. 2004; 1: 50–55.
 17. Рожков Р.С. Природный и техногенный риск: анализ, оценка, страхование от ущерба // Экономика и предпринимательство. 2013; 3: 398–401.
 18. Наумов И.С. Модель функционирования системы обеспечения ресурсами для ликвидации чрезвычайных ситуаций // Известия Тульского гос. ун-та. Технические науки. 2011; 1: 202–208.
 19. Волосухин Я.В. Геоинформационная система для обеспечения безопасности гидротехнических сооружений на уровне субъекта РФ // Мониторинг. Наука и безопасность. 2014; 2: 32–41.
 20. Аверченков В.И., Леонов Е.А., Шкаберин В.А. и др. Разработка аналитической системы мониторинга бассейнов открытых водоемов и противопаводкового предупреждения // Фундаментальные исследования. 2014; 12–1: 13–19.
 21. Горбунов В.С., Макиев Ю.Д., Малышев В.П. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. 2012; 1: 70–79.
 22. Фролов Д.С. Информационно-аналитический комплекс прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций как элемент единой системы поддержки принятия решений при управлении регионом // Информатизация и связь. 2011; 4: 69–71.
 23. Якубович И.А., Ерофеев Г.В. Потенциальные источники возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера // Вестн. Северо-Восточного гос. ун-та. 2006; 7–2: 131–135.
 24. Мухин В.И., Шимитило В.Л. Типизация источников чрезвычайных ситуаций гидрологического характера // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010; 2: 70–73.

References

1. O rezul'tatah i osnovnyh napravlenijah dejatel'nosti MChS Rossii na 2014 god i planovyyj period 2015–2016 gg. [On results and main directions of activities of EMERCOM of Russia for 2014 and the planning period of 2015–2016]. Available at: http://www.mchs.gov.ru/activities/results/Doklad_o_rezultatah_i_osnovnih_napravljen (accessed 21 April 2015) (in Russian).
2. Avdot'in V.P., Dzybov M.M., Samsonov K.P. *Ocenka ushherba ot chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tehnogenogo haraktera* [Assessment of damage from emergency situations of natural and technogenic character]. Moscow, FGBU VNII GOChS (FC) Publ., 2012. 468 p (in Russian).
3. Samsonov K.P., Avdot'in V.P., Radeckij A.V., Shirokov K.A., Avdot'ina Ju.S. The methodology for estimating the economic damage from emergency situations of natural and technogenic character. *Problemy zashhity naselenija i territorij ot chrezvychajnyh situacij* [Problems of protection of population and territories from emergency situations]. Moscow, FGU VNII GOChS (FC) Publ., 2010, pp. 414–420 (in Russian).
4. Vakarev A.A. Methodological approaches to the definition of economic damage from emergency situations to the regional economy. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomika. Jekologija* [Bulletin of Volgograd state University. Economy. Ecology], 2011, I.1, pp. 54–60 (in Russian).
5. Pljushchikov V.G., Fatiev M.M. Statistical methods for estimating and forecasting economic damages from natural disasters. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Agronomija i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Russian University of friendship of peoples. Agronomy and animal husbandry], 2012, I. 2, pp. 5–15 (in Russian).
6. Radaev N.N. Improving the accuracy of predicting the likelihood of accidents by taking into account heterogeneous statistical data on damage. *Avtomatika i telemehnika* [Automation and remote control], 2000, I.3, pp. 183–189 (in Russian).
7. Reshetnikov V.A. Forecasting economic damages from emergencies. *Innovacionnoe reformirovanieje ekonomiki i obshhestva v uslovijah global'noj nestabil'nosti* [The innovative reform of the economy and society in conditions of global instability]. Saratov, OOO «Institut issledovanij i razvitij professional'nyh kompetencij» Publ., 2015, pp. 187–190 (in Russian).
8. Podrezov Ju.V. Forecasting economic and socio-environmental damage caused by forest fire emergency situations. *Problemy pravovyh i jekonomicheskikh sposobov preduprezhdenija i minimizacii ushherba, vznikajushhego v uslovijah chrezvychajnyh situacij* [Problems of legal and economic methods of prevention and minimisation of damage arising in emergencies]. Moscow, IIC VNII GOChS Publ., 2000, pp. 300–304 (in Russian).
9. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P.A uniform methodology for risk analysis of emergency situations of technogenic and natural character. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. N. Je. Bauman. Estestvennye nauki* [Bulletin of Moscow state technical University. N. Uh. Bauman. Natural Sciences], 2015, I.1, pp. 113–132 (in Russian).
10. Chernyh G.S. Results formation of information support of the decision on liquidation of consequences of emergency situations using methods of fuzzy modeling. *Strategija grazhdan-*

- skoj zashhity: problem i issledovaniya* [The strategy of civilian protection: issues and research], 2012, I.1, pp. 70–75 (in Russian).
11. Shevchenko A.I. The assessment of the sustainability of the transportation process. *Mir transporta* [World transport], 2013, I.5, pp. 136–143 (in Russian)
 12. Shevchenko A.I. Warning and assessment of disasters. *Mir transporta* [World transport], 2013, I.4, pp. 138–145 (in Russian).
 13. Naumov I.S. Methodology to study the optimal composition of resources for liquidation of emergency situations at spatially distributed sites. *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki* [Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics], 2011, I.5, p. 145 (in Russian).
 14. Naumov I.S. Search and management of the optimum composition of resources in spatially distributed objects in emergency situations. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Jekonomika i upravlenie* [Bulletin of the Volga region state technological University. Economics and management], 2011, I.2, pp. 12–19 (in Russian).
 15. Akimov V.A., Timofeeva T.B., Lesnykh V.V. The problem of choosing the optimal structure of the national system of compensation of damage from natural and man-made emergencies. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij* [Security problems and emergencies], 2006, I.6, pp. 3–10 (in Russian).
 16. Lesnyh V.V., Timofeeva T.B. A national system of compensation of damage caused by natural and technogenic emergencies: approaches, modeling, optimization. *Problemy analiza riska* [Problems of risk analysis], 2004, I.1, pp. 50–55 (in Russian).
 17. Rozhkov R.S. Natural and technological risk: analysis, assessment, insurance. *Jekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2013, I.3, pp. 398–401 (in Russian).
 18. Naumov I.S. The operating model of providing resources for liquidation of emergency situations. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki* [Izvestiya of the Tula state University. Technical science]. 2011, I.1, pp. 202–208 (in Russian).
 19. Volosuhin Ja.V. Geographic information system for safety of hydraulic structures at the level of subject of the Russian Federation. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'* [Monitoring. Science and safety], 2014, I.2, pp. 32–41 (in Russian).
 20. Averchenkov V.I., Leonov E.A., Shkaberin V.A., Kryshnev Ju.V., Zaharenko L.A., Lepih Ja.I. Development of analytical system for monitoring pools of open water bodies and flood warnings. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2014, I.12–1, pp. 13–19 (in Russian).
 21. Gorbunov V.S., Makiev Ju.D., Malyshev V.P. Monitoring and forecasting of emergency situations of natural and technogenic character. *Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti* [Civil security technologies], 2012, I.1, pp. 70–79 (in Russian).
 22. Frolov D.S. Information-analytical complex forecasting of consequences of emergency situations as part of the unified system of decision support in the management region. *Informatizacija i svjaz'* [Informatization and communication], 2011, I.4, pp. 69–71 (in Russian).
 23. Jakubovich I.A., Erofeev G.V. Potential sources of emergency situations of natural character. *Vestnik Severo-Vostochnogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the northeastern state University], 2006, I.7–2, pp. 131–135 (in Russian)
 24. Mukhin V.I., Shimitilo V.L. Typification of the sources of emergencies hydrological character. *Nauchnye i obrazovatel'nye problem grazhdanskoj zashhity* [Scientific and educational problems of civil protection], 2010, I.2, pp. 70–73. (in Russian)

A Method of Predicting Risk of Natural Emergencies on Road Network

Yu.V. Trofimenko, Head of Department, Professor, Doctor of Technical Sciences, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University – MADI

A.N. Yakubovich, Professor, Doctor of Technical Sciences, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University – MADI

The main difficulty of describing natural emergency as a random process is the large number of parameters that must be quantified. Authors suggest threatening the onset of emergency as a discrete random variable; each possible implementation corresponds to the defined size of the expected damage to transportation infrastructure. The analysis of the engineering and environmental surveys via geo-information technologies identified expected probability of occurrence and scale of the annual damage for 10 types of emergency situations on long-term (up to 2030) for State Company Russian Highways road network.

Keywords: road network planning, emergencies risk, damage forecasting, GIS technology.

Информационные и коммуникационные технологии в образовательном процессе по направлению «Техносферная безопасность»

С.С. Тимофеева, заведующий кафедрой, д-р .техн. наук, профессор

С.С. Тимофеев, ст. преподаватель

Иркутский национальный исследовательский государственный технический университет (ИРНИТУ)

e-mail: samtim@mail.ru

Ключевые слова:

инновация,
информационные технологии,
самостоятельная работа студентов,
научно-исследовательская работа
студента,
научно-практическая конференция.

Раскрываются понятия инноваций в образовании. Рассматриваются вопросы применения информационных и коммуникационных технологий в образовательном процессе, представлены их методологические достоинства. Обобщен опыт применения информационных технологий при подготовке бакалавров и магистров направления «Техносферная безопасность». Описан опыт применения информационных технологий при изучении дисциплин «Ноксология», «Информационные технологии в БЖД», при организации и проведении научно-исследовательской работы студентов, научно-практических конференций и самостоятельной работы студента.

В последнее время возрастает значение качественной подготовки специалистов в сфере обеспечения безопасности [1]. С 2011 г. началась подготовка бакалавров по направлению «Техносферная безопасность», преподаватели высшей школы разрабатывают новые педагогические технологии, позволяющие создать условия для реализации компетентного подхода [2, 3]. Это требует применения новых инновационных подходов к организации образовательного процесса. Сегодня преподаватель высшей школы должен не только выполнять функцию транслятора научных знаний, но и уметь использовать современные образовательные технологии, создавать условия для творческого процесса, для самостоятельной работы [4]. Термин «инновация» происходит от латинского «novatio», что означает «обновление» (или «изменение»), и приставки «in», которая переводится с латинского как «в направлении», если переводить дословно «Innovatio» — «в направлении изменений» [5].

В чем собственно могут состоять изменения в процессе преподавания в современных условиях? Это, прежде всего, широкие возможности использования информационных технологий [6]. Под информационной технологией понимается совокупность методов и технических средств сбора, обработки и передачи информации для получения новых сведений об изучаемом объекте.

В современном понимании информационная технология обучения — это педагогическая технология, использующая специальные способы, программные и технические средства (кино-, аудио- и видеосредства, компьютеры, телекоммуникационные сети) для работы с информацией. Информационные технологии с точки зрения деятельности преподавателя — это создание новых возможностей передачи и проверки знаний, с точки зрения студента — восприятия знаний и всестороннего развития личности в ходе учебно-воспитательного процесса [7].

Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования по направлению «Техносферная безопасность» содержат следующее требование к результатам освоения основных образовательных программ: «Выпускник должен обладать способностью использования основных программных средств, умением пользоваться глобальными информационными ресурсами, владением современными средствами телекоммуникаций, способностью использовать навыки работы с информацией из различных источников для решения профессиональных и социальных задач» [8].

Современный педагог должен знать, какие существуют информационные ресурсы, обладать набором знаний, навыков и умений, позволяющих уверенно и безопасно

пользоваться ими, тем самым упрощая, дополняя и преобразовывая весь учебный процесс. К достоинствам информационных и коммуникационных образовательных технологий относятся:

- предоставление студентам и преподавателям необходимой информации в кратчайшие сроки, доступ к электронным библиотекам и справочникам;
- использование мультимедийных средств, что повышает наглядность и доступность обучения;
- повышение интенсивности учебных занятий за счет обеспечения автоматизированного сбора, обработки и доведения информации до студентов;
- активизация коллективной работы студентов на практических и самостоятельных занятиях в компьютерных классах [9].

В соответствии с ФГОС у выпускников направления «Техносферная безопасность» должна быть сформирована определенная система знаний об основных техносферных опасностях, их свойствах и характеристиках, характере воздействия вредных и опасных факторов на человека и природную среду, о методах защиты от них [8]. Приобретение этих знаний в соответствии с учебным планом начинается в рамках новой дисциплины «Ноксология». Эта дисциплина отражает и систематизирует научно-практические достижения в области человеко- и природоохранной деятельности, основывается на теоретических разработках отечественных и зарубежных ученых.

Известные знания о безопасности жизнедеятельности и защите природы объединены в рамках этого учения далеко неслучайно. Они имеют одну понятийную основу и неразрывно связаны с понятием «опасность», у них общее реальное содержание, обусловленное общностью источников опасностей, действующих, как правило, одновременно на человека, общество и природу, а также значительную общность средств защиты.

Возникновение в XXI в. науки ноксология неслучайно. Человечество на всех этапах своего существования постоянно искало и применяло защиту от опасностей, сохраняя здоровье, жизнь [10, 11, 12]. Ноксология изучает происхождение и совокупное действие опасностей, описывает опасные зоны и показатели их влияния на материальный мир, оценивает ущерб, наносимый опасностями человеку и природе. В задачи ноксологии входит также изучение принципов минимизации опасностей в источниках и основ защиты от них в пределах опасных зон. Изучение данной дисциплины построено на применении информационных и коммуникационных технологий, сети Интернет и активизации познавательной деятельности студента.

На кафедре «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» Иркутского государственного технического университета учебным планом предусмотрено изучение дисциплины в течение двух се-

местров, выполнение курсовой работы и практических работ. Первое знакомство студентов с дисциплиной начинается с получения информации о том, что такое профессиональный стандарт, какие требования к специалистам направления «Техносферная безопасность» предъявляют работодатели в части умения самостоятельно добывать информацию, осмысливать ее и излагать публично. Перед студентами ставится первая задача научиться самостоятельно подбирать информацию на заданную тему. Студентам предлагаются на выбор темы, касающиеся современных тенденций развития технологий и опасностей, которые они могут создавать. Например:

- современные нанотехнологии и наноматериалы и обеспечение их безопасности;
- геномодифицированные продукты и безопасность;
- «зеленые» технологии в энергетике, строительстве, промышленности;
- «зеленая» химия;
- волновая энергетика;
- биотехнологии в разных отраслях и т.д.

Тематика подбирается таким образом, чтобы увлечь студентов. Студентам указываются основные информационные ресурсы в Интернете, которые можно использовать для раскрытия темы, и предлагается подготовить аналитическую записку и презентацию по заданной тематике, а еще лучше подобрать учебный фильм или создать собственный. Проработав заданную тему, студент выступает перед группой, одноклассники оценивают работу в баллах от 0 до 10, сдавая карточку с оценкой преподавателю. Преподаватель суммирует баллы и объявляет победителя. Желание быть победителем стимулирует студентов более тщательно готовить свое выступление. Такая практика применяется нами уже давно, дает неплохие результаты и позволяет подготовить выпускников к публичной защите выпускной квалификационной работы [13].

Вторым важным элементом в освоении дисциплины «Ноксология» является проведение занятий в виде мозгового штурма и деловой игры по отработке методики идентификации опасностей. Студентам предлагаются ситуационные задачи с описанием конкретных технологических процессов и требуется выявить максимальное возможное количество опасностей. Предварительно студенты самостоятельно собирают видеинформацию по определенным технологическим процессам и сами пытаются идентифицировать опасности. Конечный результат работы — освоение методики идентификации и составление паспорта опасностей.

При выполнении таких заданий студент погружается в производственную среду, хотя и виртуально, но при этом получает представление об опасностях среды обитания. При ведении таких занятий можно использовать

большое количество видеофильмов о природных стихийных бедствиях и техногенных авариях.

В задачи ноксологии входит также знакомство с технологиями и методами защиты от опасностей, мониторинга опасностей (второй семестр). При изучении данного раздела студентам предлагается подобрать технологии защиты от опасностей. Студентам также предлагается выполнить аналитическую записку по известным технологиям защиты и выбрать наилучшую технологию с точки зрения студента, обосновать выбор. Свой выбор необходимо защитить перед группой и также получить ее оценку.

Кроме самостоятельной работы, студенты обязательно выполняют практические работы по практикуму [14]. В практикуме 18 практических работ, касающихся оценки опасностей и их мониторинга.

Завершается курс обучения по данной дисциплине созданием портфолио работ студента, которое может быть использовано при изучении других дисциплин и написании курсовых работ [15]. Студента преподаватель ориентирует на определенную отрасль промышленности, где предполагается производственная практика.

Как известно, эффективность учебного процесса зависит от взаимодействия мышления, действия, речи. При помощи языка закрепляется и развивается мысль. Речевое общение позволяет студенту осознавать окружающий мир, самого себя в нем. Поэтому необходимо постоянно побуждать учащихся к самостоятельной деятельности, поручая им готовить аналитические записки и публичные выступления на конференциях, семинарах, симпозиумах.

Постоянный тренинг публичных выступлений способствует познавательному развитию и интеллектуальному росту. Мотивация студентов к самостоятельной работе, поиску и подбору необходимых сведений из огромного количества информационных ресурсов позволяет научить их осмысленно и дифференцированно подходить к решению поставленных задач. Роль преподавателя заключается в выборе и рекомендации студентам наиболее интересных тем.

Существуют различные формы работы со студентами. Наш многолетний опыт показал, что большую роль в образовательном процессе студентов играет научно-исследовательская работа, которая способствует формированию компетенции студентов как творческих личностей, способных обоснованно и эффективно решать возникающие теоретические и прикладные профессиональные задачи. Особое внимание необходимо обратить на синтез теоретического и практического обучения в этой области с получением конкретных результатов, воплощенных в самостоятельные научные работы, статьи, исследования [4]. Поэтому на кафедре уже в течение 15 лет успешно работает студенческое конструкторское бюро «Риск и безопасность» и созданное четыре года на-

зад студенческое научное общество магистрантов «Технологии и средства обеспечения безопасности Байкала» («Техсредбез»). В рамках этих студенческих объединений ведется работа по обследованию условий труда на предприятиях региона, реализуются проекты по улучшению условий труда. Одним из интересных проектов, реализованных магистрантами, является проект по оценке неучтенной экологической нагрузки на атмосферу Иркутской области, создаваемой системой нефтепродуктообеспечения. Для основных поставщиков нефтепродуктов просчитаны потери нефтепродуктов и предложены конкретные решения по их снижению. Магистрантами реализован проект «Диагностика состояния внутренней среды в учреждениях социальной сферы г. Иркутска и разработка проектов фитомодулей для коррекции параметров микроклимата».

Особую роль в научно-исследовательской работе играют научно-практические конференции — это форма учебной и внеучебной деятельности, представления результатов учебно-исследовательской работы студентов. Кафедра «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» ИрГТУ уже 20 лет проводит Всероссийскую студенческую научно-практическую конференцию с международным участием «Проблемы безопасности современного мира» с изданием материалов конференции. Тематика конференции касается всех актуальных проблем современности: техносферной, экологической, энергетической, продовольственной безопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях, социально-экономических и правовых аспектов безопасности, методов и технологий минимизации опасностей. Наши студенты с первого курса принимают участие в конференциях и имеют возможность обмениваться информацией со студентами других вузов и других специальностей. К участию в конференции привлекается до 80% студентов кафедры. Следует заметить, что студенты-заочники с большим интересом готовят материалы на конференции, так как имеют фактический материал предприятий.

В настоящее время на кафедре проводится подготовительная работа по организации заочной научно-практической конференции магистрантов, аспирантов. Уже два раза мы проводили региональную конференцию «Техносферная безопасность в XXI веке», в работе которой приняли участие все магистранты, обучающиеся по программам «Народосбережение. Управление профессиональными, экологическими и аварийными рисками» и «Пожарная безопасность».

Одним из основных современных трендов является мобилизация пользователей информационных систем. Практически все обучающиеся имеют смартфоны и/или планшеты, что добавляет утилитарности и расширяет спектр возможностей для обучаемых [6].

Многие магистранты работают и, конечно, им нужна заочная видеоконференция как способ общения. Про-

анализировав возможности Интернета для организации видеоконференций, С.С Тимофеев установил, что такими возможностями располагают следующие.

Skype. Наиболее распространенный в мире мессенджер с закрытым протоколом. Предоставляет видеосвязь и видеоконференции до 10 человек. Позволяет звонить на обычные телефоны, принимать звонки. Есть версии для мобильных устройств.

GoToMeeting. Онлайн-сервис для веб-конференций. Позволяет проводить неограниченное число встреч за фиксированную месячную плату: рассылать приглашения, показывать презентацию и совместно работать над документами и приложениями, записывать и воспроизводить ход встречи. Есть встроенная HD видеосвязь на 6 человек. Интеграция с MS Office.

ooVoo. Бесплатный сервис для видео- и аудиоконференций. Позволяет организовывать многопользовательские конференции, записывать ход встречи, пересылать видеосообщения и файлы.

Conferendo. Приложение плюс сервис для видеосвязи. Позволяет организовывать бесплатные многоточечные видеоконференции 3-на-3 и вебинары до 20 участников

Tango. Сервис видеочата для iPhone, Android, планшетов. Работает через Wi-Fi и 3G. Есть Windows-клиент. Не требует регистрации, только ввода номера телефона.

Meetings.io. Простой сервис для видеовстреч на базе flash. Не требует установки ПО и регистрации. Предоставляет чат и блокнот. Бесплатный на 5 участников.

Mail.Ru. Агент Российский мессенджер с возможностями голосовой и видеосвязи, звонков на обычные телефоны, отправки SMS, обмена файлами. Поддерживает ICQ-протокол.

Литература

1. Девисилов В.А. Ноксологическая культура как фактор устойчивого развития в обществе риска // *Alma mater* (Вестник высшей школы). 2010. — № 11. — С. 25–29.
2. Девисилов В.А. Содержание и технология проектирования вузовских основных образовательных программ (на примере направления «Техносферная безопасность») // *Безопасность в техносфере*. 2010. — № 5. — С. 44–57.
3. Девисилов В.А. Принципы построения образовательных программ и технологии обучения по направлению «Техносферная безопасность» // *Безопасность в техносфере*. 2010. — № 6. — С. 54–62.
4. Девисилов В.А. Портфолио и метод проектов как педагогическая технология мотивации и личностно ориентированного обучения в высшей школе // *Высшее образование сегодня*. 2009. — № 2. — С. 29–34.
5. Активные и интерактивные образовательные технологии (формы проведения занятий) в высшей школе / Сост. Т.Г. Мухина. — Н.Новгород: ННГАСУ, 2013.
6. Куклев В.А. Опыт разработки электронных образовательных ресурсов: от компьютеризированных учебников через сетевые технологии к мобильному образованию // *Безопасность в техносфере*. 2006. — № 3. — С. 54–56.
7. Головки М.Е. Применение информационных и коммуникационных технологий ив процессе обучения студентов по направлению подготовки «Техносферная безопасность» // *Вестник НЦ БЖД*. 2013. — № 3 (17). — С. 6–9.
8. Александров А.А., Девисилов В.А., Симакова Е.Н. Проекты федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по направлению «Техносферная безопасность» // *Безопасность в техносфере*. 2013. — № 4 (43). — С. 49–70.
9. Тимофеева С.С., Тимофеев С.С. Инновационные подходы при подготовке бакалавров по направлению «Техносферная безопасность» // *Дальневосточная весна-2014. Материалы 12-й международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности* (г. Комсомольск-на-Амуре, Россия, 15 мая 2014 г.). — С. 56–59.
10. Девисилов В.А. Теоретические основы ноксологического образования // *Стандарты и мониторинг в образовании*. 2010. — № 3. — С. 16–21.

11. Кубрушко. П.Ф., Девисилов В.А. Концептуально-дидактические основания национальной системы ноколлогического образования // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Теория и методика профессионального образования. 2010. — № 3(42). — С. 11–15.
12. Девисилов В.А. Системное ноколлогическое образование как фактор обеспечения безопасности в обществе риска // Безопасность труда в промышленности. 2010. — № 5. — С. 55–61.
13. Девисилов В.А. Инструментарий квалиметрии компетенций и диагностики знаний (на примере ноколлогических компетенций и дисциплины «Безопасность жизнедеятельности») // Стандарты и мониторинг в образовании. 2011. — № 1. — С. 3–10.
14. Тимофеева С.С. Ноколлогия: Практикум. — М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2014.

References

1. Devisilov V. A. Noksologic Culture as the Sustainable Development Factor in a Risk Society. *Alma mater. Vestnik vysshey shkoly* [Bulletin of the higher school]. 2010, I. 11. pp. 25–29 (in Russian).
2. Devisilov V.A. Content and technology of planning main educational programs at higher school (by the example of .Safety in techno sphere.). *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2010, I. 5, pp. 44–57 (in Russian).
3. Devisilov V. A. The principles of educational programs and Teaching technologies for Safety in Technosphere. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2010, I. 6, pp. 54–62 (in Russian).
4. Devisilov V. A. Portfolio and method of projects as pedagogical technology of motivation and personally focused training at the higher school. *Vysshee obrazovanie segodnya* [The higher education today]. 2009, I. 2, pp. 29–34 (in Russian).
5. Aktivnyye i interaktivnyye obrazovatel'nye tekhnologii (formy provedeniya zanyatiy) v vysshey shkole: uchebnoe posobie [Active and interactive educational technologies (form of carrying out occupations) at the higher school: manual]. Nizhny Novgorod, NNGASU Publ., 2013. 97 p (in Russian).
6. Kuklev V. A. Experience of development of electronic educational resources: from the computerized textbooks through network technologies to mobile education. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2006, I. 3, pp. 54–56 (in Russian).
7. Golovko M.E. Application of information and communication technologies of willows process of training of students in the direction of preparation "Technosphere safety". *Vestnik NTs BZhD* [The NTs BZhD Bulletin]. 2013, I. 4 (43), pp. 49–70 (in Russian).
8. Aleksandrov A.A., Devisilov V.A., Simakova E.N Drafts of Federal State Educational Standards related to Higher Education in Technosphere Safety Direction. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2013, I. 3, pp. 54–56 (in Russian).
9. Timofeeva S.S., Timofeev S.S. Innovative approaches in training bachelors in the Technosphere safety direction. Far East spring - 2014. Materials of the 12th international scientific and practical conference on environmental problems and safety (Komsomolsk-on-Amur, Russia, May 15, 2014). pp. 56–59 (in Russian).
10. Devisilov V.A Theoretical principals of noxological education. *Standarty i monitoring v obrazovanii* [Standards and Monitoring in Education]. 2010, I. 3, pp. 16–21 (in Russian).
11. Kubrushko. P.F., Devisilov V.A Conceptually-didactic bases of national system of the noxological education. *Vestnik FGOU VPO MGAU. Teoriya i metodika professional'nogo obrazovaniya* [FGOU VPO MGAU bulletin. Theory and technique of professional education]. 2010, I. 3(42), pp. 11–15 (in Russian).
12. Devisilov V.A. System Noxological education as a safety factor in the society of risk. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Safety of work in the industry]. 2010, I. 5, pp. 55–61 (in Russian).
13. Devisilov V.A. Tools for qualimetry of competences and diagnostics of knowledge (By example of noxological competences and discipline "Life Safety"). *Standarty i monitoring v obrazovanii* [Standards and Monitoring in Education]. 2011, I. 1, pp. 3–10 (in Russian).
14. Timofeeva S.S. *Noksologiya* [Noksologiya] Moscow, FORUM; INFRA-M, 2014. 160 p (in Russian).

Information and Communication Technologies in the Educational Process of «Technosphere Safety» program

S.S. Timofeeva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Ecology and Life Safety,
S.S. Timofeev, Senior Lecturer, Department of Industrial Ecology and Life Safety

The notion of innovation in education is presented. The application of information and communication technologies in the educational process is reviewed and methodological qualities are given. Personal practice of information technology application in the preparation of bachelors and masters in "Technosphere safety" is summarized. The experience of the information technology application is exemplified on the curriculum of "Noxology" and «Information technology in Occupational Safety», students' research process, their independent work, and scientific conferences.

Keywords: innovation, information technology, independent work of students, scientific and research work of students, scientific-practical conference.

Итоги первой Всероссийской Недели охраны труда

Тематика Всероссийской недели охраны труда, организаторами которой выступили Министерство труда и социальной защиты РФ и Межрегиональная ассоциация содействия обеспечению безопасных условий труда «Эталон», затронула широкий круг вопросов, связанных с совершенствованием системы обеспечения безопасности труда на производстве и сохранения здоровья работников, а также повышением уровня культуры труда в России. В официальном открытии ВНОТ приняли участие Министр труда и социальной защиты РФ Максим Топилин, руководитель фонда социального страхования РФ Андрей Кигим и мэр Сочи Анатолий Пахомов. Международную делегацию возглавили заместитель Генерального директора по политическим вопросам Международной организации труда Сандра Поласки и генеральный секретарь международной ассоциации социального обеспечения Ханс Хорст Конколеwski.

В приветственной речи Министр труда и соцзащиты зачитал участникам Недели письмо от председателя Правительства РФ Дмитрия Медведева. Представители международной делегации Сандра Поласки и Ханс Хорст Конколеwski также выступили с приветственным словом и рассказали, каких результатов они ожидают от этого мероприятия.

Тематический форум международного масштаба собрал на одной площадке представителей исполнительной и законодательной власти, первых лиц профильных министерств и ведомств, представителей бизнеса и науки, ведущих специалистов в области охраны и безопасности труда, руководителей крупнейших государственных корпораций, производственных и промышленных предприятий, общественных и профессиональные объединения, объединения профсоюзов со всей страны. В общей сложности Неделю Труда в Сочи посетили около 23 000 человек. Около восьми тысяч — на площадках Медицентра и 15 000 человек в режиме интернет-трансляции. Всего за время проведения ВНОТ-2015 состоялось 50 деловых мероприятий (съезд, пленарные заседания, всероссийские совещания, семинары, международная конференция, выставка, круглые столы и др.). В семинарах и круглых столах приняли участие ведущие зарубежные специалисты по медицине труда, эксперты комиссии Европейского союза (ЕС), члены рабочей группы по разработке Списка профессиональных заболеваний ЕС: профессор Герт ван дер Лаан (Голландия, Корнельский университет Амстердама), профессор Маркку Сайнио (Финляндия, Финский Институт Медицины труда), профессор Роберто Луккини (Италия, Университет Брешии).

Среди ключевых мероприятий Недели состоялся крупнейший Всероссийский Съезд специалистов по охране труда. В его работе приняло участие 8512 руководителей и специалистов сферы охраны труда из 79 субъектов Российской Федерации, из них: 917 — в зале заседания, 7595 — в режиме он-лайн.

Более 100 федеральных, региональных и профессиональных СМИ освещали работу Первой Всероссийской не-

дели охраны труда. Ежедневно на сайте ВНОТ (<http://vssot.aetalon.ru>) посетители знакомились с дайджестом по итогам дня и анонсами текущих событий. На встрече с журналистами в рамках ВНОТ глава Минтруда назвал пять самых опасных видов деятельности, которые дают почти 70% погибших от общего числа: строительство, транспорт, сельское и лесное хозяйство, обрабатывающие производства, добыча полезных ископаемых. Ответственность за состояние здоровья работника несет компания-работодатель, а не государство. Компания обязана обеспечить надлежащие условия труда, особенно на вредном производстве, — заявил Максим Топилин. Представитель Международной организации труда Сандра Поласки подчеркнула важность превентивных мер на производстве и привела цифры: «Инвалидность и смертность работающих граждан при исполнении трудовых обязанностей остается сейчас одной из самых главных проблем во всем мире. Каждый день около 6 тысяч человек лишаются жизни из-за несчастных случаев на производстве, более 2,3 млн составляет число погибших каждый год. Из них около 350 тысяч становятся жертвами производственных аварий и более 2 млн умирают в результате профессиональных заболеваний. Генеральный секретарь МАСО Ханс Хорст Конколеwski заметил, что большую роль играет разъяснительная работа. Очень важно, чтобы сама компания была заинтересована в здоровье и качестве жизни своих подчиненных, а это, в том числе и комфортные условия труда. Здоровый человек может трудиться намного продуктивнее и гораздо большее количество лет, — отметил господин Конколеwski.

Всего в деловой программе приняли участие более 5 тысяч экспертов из разных стран. Среди них представители МОТ, Совета Федерации, Минтруда России, руководители департаментов по охране труда крупных компаний, главы регионов.

В рамках Недели состоялось совместное заседание Учебно-методического совета «Техносферная безопасность» и Научно-методического совета по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности», которое провел Владимир Девисилов. Состоялся Молодежный Форум, организованный Тольяттинским государственным университетом и Конференция студентов и аспирантов, подготовленная Российским химико-технологическим университетом им. Д.И. Менделеева. Эти мероприятия организованы и проведены совместно с Учебно-методическим советом «Техносферная безопасность».

По итогам недели будет подготовлена резолюция для законодателей. Как новые программы улучшат охрану труда, эксперты оценят в следующем году — также в Сочи. Медицентр олимпийской столицы теперь станет постоянной площадкой профессионального форума.

*Пресс-центр Первой Всероссийской
недели охраны труда*

*Руководитель Пресс-центра Светлана Мальцева
e-mail: press@aetalon.ru*