



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

8(128)
2011

Редакционный совет:

АКИМОВ В. А.
БАЛЫХИН Г. А.
БЕЛОВ С. В.
ГРИГОРЬЕВ С. Н.
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.
(председатель)
ПАВЛИХИН Г. П.
СОКОЛОВ Э. М.
СОРОКИН Ю. Г.
ТЕТЕРИН И. М.
ТИШКОВ К. Н.
УШАКОВ И. Б.
ФЕДОРОВ М. П.
ЧЕРЕШНЕВ В. А.
АНТОНОВ Б. И.
(директор издательства)

Главный редактор

РУСАК О. Н.

Зам. главного редактора

ПОЧТАРЕВА А. В.

Ответственный секретарь

ПРОНИН И. С.

Редакционная коллегия:

ИВАНОВ Н. И.
КАЛЕДИНА Н. О.
КАТАНОВ С. В.
КАЧУРИН Н. М.
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.
КСЕНОФОНТОВ Б. С.
КУКУШКИН Ю. А.
МАЛАЯН К. Р.
МАСТРЮКОВ Б. С.
МИНЬКО В. М.
ПАНАРИН В. М.
ПОЛАНДОВ Ю. Х.
ПОПОВ В. М.
СИДОРОВ А. И.
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.
ФРИДЛАНД С. В.
ХАБАРОВА Е. И.
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ТРУДА

- Козочкин М. П., Сабиров Ф. С. Обеспечение санитарных норм по вибрации на основе моделирования несущей системы машины 2
- Львов Е. Э., Пчелинцев В. А., Уткина Е. Н. Современные средства индивидуальной защиты персонала от воздействия термических и биологических факторов 6
- Лянг А. В. Разработка химических поглотителей и фильтров СИЗОД на их основе для обеспечения безопасности жизнедеятельности 12

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ

- Климентова Е. Г., Каменек Л. К., Купцова А. А. Влияние дельта-эндотоксинов *Bacillus thuringiensis* на развитие дисбактериоза в кишечнике теплокровных животных. 18

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Маркин А. В., Шварцбург Л. Э. Мультимедийное представление моделей безопасности технологической среды 21

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Бадалян Л. Х. Оптимизация характеристик транспортного потока на городской дорожной сети по минимальному экономическому ущербу экосистеме 24
- Нифонтова М. Г., Михеева Е. В. Сорбционно-активные биологические объекты как уникальные индикаторы радиоактивного загрязнения окружающей среды: оценка содержания долгоживущих искусственных радионуклидов в природных экосистемах 30
- Палагина И. А., Золотокопова С. В., Сеитова С. А., Литвинова З. Г. Совместная утилизация нефтесодержащих и полимерных отходов 33

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Завальцева О. А., Коновалова Л. В., Светухин В. В., Антонова Ж. А., Каршин М. В., Исаева Т. Н. Экологическое состояние почв парковых территорий в условиях городской среды на примере города Ульяновска 35
- Песков С. Н. Геоэкологическая проблема загрязнения окружающей среды твердыми бытовыми отходами на территории Пензенской области и их влияние на население 39

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

- Бызов А. П., Ефремов С. В. Моделирование процесса формирования полей потенциального риска при авариях на опасных производственных объектах с учетом дрейфа облака топливовоздушной смеси 43
- Грязнев Д. Ю. Аэровизуальный мониторинг технического состояния магистрального нефтепровода, подверженного воздействию экзогенных геологических процессов. 47
- Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Закиров Г. М., Чистов Ю. С., Осипова Л. Э. Опасность поражения человека при динамическом нагреве 50

Приложение. Андреева В. А., Ефремов С. В., Малаян К. Р., Монашков В. В. Примерная основная образовательная программа высшего профессионального образования для профиля подготовки бакалавров "Безопасность технологических процессов и производств" направления подготовки 280700 "Техносферная безопасность" по ФГОС ВПО. Выпуск 2.

Журнал входит в Перечень ведущих и рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук и включен в систему Российского индекса научного цитирования.

УДК 504.06:534.83

М. П. Козочкин, д-р техн. наук, проф., **Ф. С. Сабиров**, д-р техн. наук, проф.,
зав. кафедрой, МГТУ "Станкин"
E-mail: FANIRA5057@yandex.ru

Обеспечение санитарных норм по вибрации на основе моделирования несущей системы машины

На примере мини-трактора рассматривается технология определения причин повышенной виброактивности машины и поиска рациональных путей ее снижения. Технология предусматривает проведение экспериментальных исследований динамических характеристик упругой системы машины, моделирование и расчет различных вариантов модернизации с помощью метода конечных элементов, проверку выводов на натурных моделях.

Ключевые слова: санитарные нормы, вибрация, виброактивность, другая система, виброакустический сигнал, форма колебаний, динамическая жесткость, амплитудно-частотная характеристика

Kozochkin M. P., Sabirov F. S. Providing of vibration sanitary standards based on the modeling of the machine supporting system

In this article on an example of mini-tractor the technology of definition of the machine raised vibroactivity reasons and search of rational ways of its decrease are considered. The technology provides carrying out of experimental researches of dynamic characteristics of elastic system of the machine, modelling and calculation of various variants of modernisation by dint of a method of final elements, checking of conclusions with natural models.

Keywords: sanitary standards, vibration, vibroactivity, elastic system, vibroacoustic signal, vibration mode, dynamic stiffness, frequency-response characteristic

Проблема снижения вибраций в той или иной степени стоит перед конструкторами почти всех машин. В одних машинах, например станках, вибрации негативно влияют на точность и качество изделий, а в других, например транспортных средствах, вибрации могут превышать санитарные нормы или нарушать комфортность условий работы оператора [1].

В настоящей работе в качестве объекта исследований выступал мини-трактор (рис. 1), используемый обычно в качестве косилки на спортивных пло-

щадках и в парках. Небольшие размеры трактора и скромные функциональные задачи не позволяют применять в этой машине все существующие методы снижения вибраций [2]. Эти методы резко увеличивают себестоимость машины, делая ее неконкурентоспособной. В связи с этим встала задача поиска рациональных путей снижения вибраций без существенного увеличения себестоимости.

В качестве контрольных точек были взяты точки контакта водителя с рулем, подножками и сиденьем: точка 1 — левая сторона руля; 2 — правая сторона руля; 3 — левая площадка для ног; 4 — правая площадка для ног; 5 — сиденье.

Измерения вибраций проводили по трем осям: ось X совпадает с направлением движения трактора; ось Y соответствует поперечному направлению; ось Z определяет вертикаль.

На рис. 2 показаны уровни средних квадратических значений (СКЗ) вибраций в контрольных точках, измеренные в октавных полосах по осям X , Y и Z при работе трактора на холостом ходу на средних оборотах. Для сравнения на рис. 2 приведены санитарные нормы на локальные вибрации, действующие в России [3].

В табл. 1 показаны суммарные значения октавных спектров уровней виброускорения, полученные на подножке, руле трактора, сиденье и на са-



Рис. 1. Объект исследования — мини-трактор

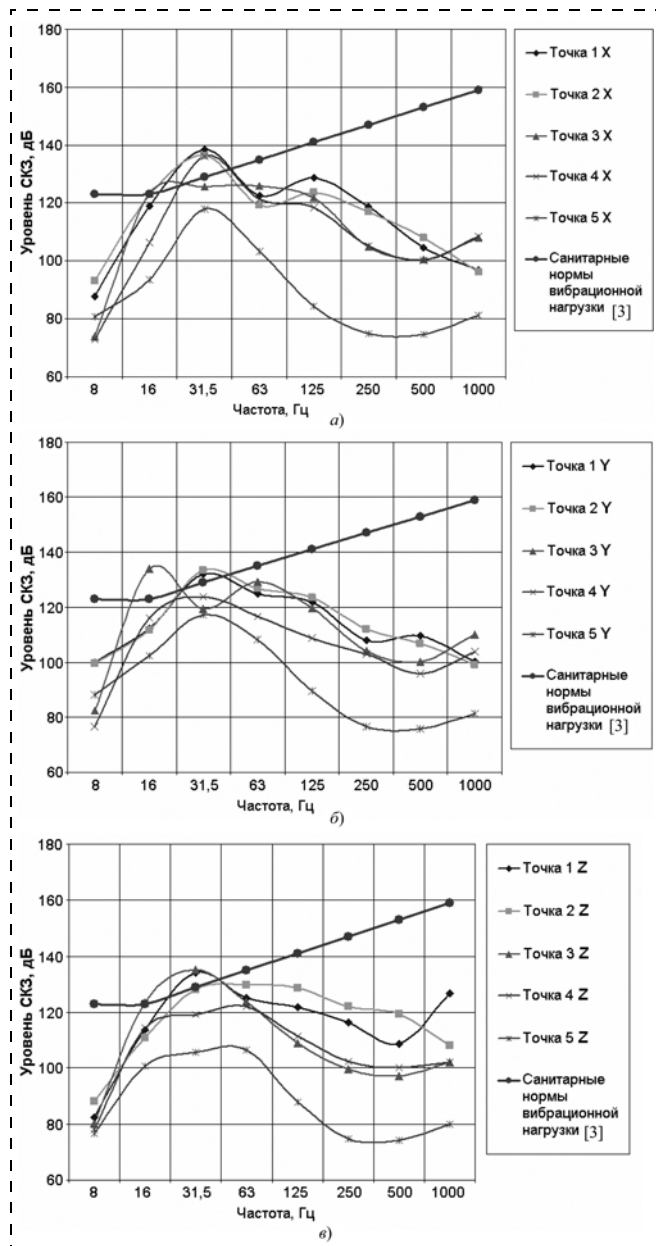


Рис. 2. Уровни вибраций несущей системы мини-трактора в октавных полосах по осям X (а), Y (б) и Z (в):

точки 1 и 2 — левая и правая стороны руля, точки 3 и 4 — левая и правая площадки для ног водителя, точка 5 — сиденье

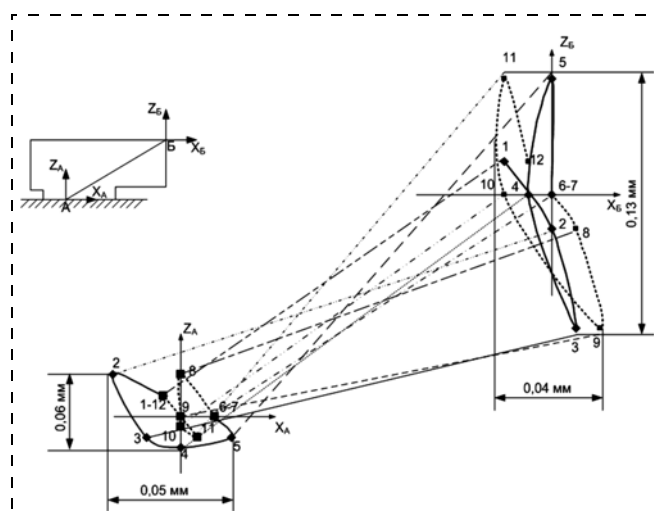


Рис. 3. Форма колебаний двигателя в плоскости XOZ . В правом верхнем углу траектория движения точки на клапанной крышке двигателя, внизу слева — траектория точки на опоре двигателя

мом двигателе. Видно, что колебания в контрольных точках и на двигателе либо превышают, либо близки к санитарным нормам. Указаны такие санитарные нормы, которые обеспечивают отсутствие вибрационной болезни у оператора при работе по 8 часов за смену. Превышения этих норм предполагает сокращение времени работы. Например, превышение этих норм на 9 дБ допускает работу только в течение часа за смену. В контрольных точках (площадка для ног, руль, сиденье) вибрации превышают санитарные нормы только в одной октаве. Но не надо забывать, что комфортный уровень в отдельных октавах находится на 30 дБ и более ниже [3, 4]. Практика показала, что и на холостом ходу, и при движении трактора его двигатель является единственным источником колебательной энергии в диапазоне оборотных частот, передача которой по упругой системе к контрольным точкам и приводит к повышенному вибрационному воздействию на руки и ноги оператора.

На рис. 3 показана форма колебаний двигателя в плоскости XOZ . При построении формы колеба-

Таблица 1

Уровень СКЗ вибраций (дБ) в контрольных точках на средних оборотах

Частота, Гц	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	W_n
Точка 1	93	122,9	136,4	119,3	123,6	116,8	107,9	96,1	129,1
Точка 3	72,8	106,4	136,1	121,4	118,5	105,1	100,3	108,5	128,3
Точка 5	80,8	93,7	117,9	103,4	84,4	74,9	74,5	81,4	110,1
Точка 6	82	97,2	125,1	137,2	135	145,8	155,5	146,4	131,3
Санитарные нормы вибрационной нагрузки в России [3]	123	123	129	135	141	147	153	159	126

Примечания:

1) W_n — уровень скорректированного значения вибраций (ИСО 5349-1—2001).

2) Точка 1 — на руле; точка 3 — на площадке для ног; точка 5 — на сиденье; точка 6 — на двигателе.



ний корпус двигателя был принят за абсолютно твердое тело. Это позволило изображать форму колебаний двигателя в виде последовательного положения в пространстве отрезка прямой линии, соединяющей точку крепления двигателя к раме (точка А на рис. 3) с точкой наибольшего удаления от точки крепления (точка Б на рис. 3). Одновременные положения точек А и Б на рис. 3 соединены линиями с одинаковыми номерами по концам. Траектории перемещения точек А и Б в пространстве на рисунке показаны за время двух оборотов вала двигателя, второй оборот показан пунктиром. Подобное представление формы колебаний позволяет более полно, по сравнению с традиционным представлением [5], показать изменения положения объекта в пространстве. Для полноты картины показанное изображение может быть дополнено аналогичными изображениями для других координатных плоскостей.

Анализ формы колебаний двигателя показал, что в упрощенном виде ее можно представить как крутильные колебания точки Б относительно опоры с оборотной частотой. Динамическая жесткость упругой системы, связывающей двигатель с контрольными точками, в этом частотном диапазоне и будет определять вибрации в контрольных точках на оборотной частоте. Динамическая жесткость определяется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) упругого канала, связывающего место приложения динамического усилия (ось цилиндра) с контрольной точкой. Для снижения виброактивности в контрольных точках необходимо изменить виброактивность самого двигателя, либо увеличить динамическую жесткость упругой системы в опасных частотных диапазонах. Приобретение "спокойного" двигателя сопряжено с дополнительными расходами и ростом себестоимости, поэтому в рамках настоящей работы не рассматривается. Соответственно ориентация на модернизацию упругой системы становится единственно возможной. Исследования упругой системы, определяющие передачу вибраций от двигателя к площадкам для ног и рулю, показали, что общей частью обоих каналов является рама, к которой крепятся площадки, рулевая колонка и все прочие элементы рассматриваемой машины. Таким образом, на следующем этапе необходимо рассмотреть форму колебаний рамы и рассмотреть варианты уменьшения амплитуды колебаний этой формы.

Для определения формы колебаний рамы было проведено моделирование с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в среде Solid Works, поскольку другие методы расчета систем виброзащиты [1, 6, 7], ориентированные на модели с сосредоточенными параметрами, в данном случае

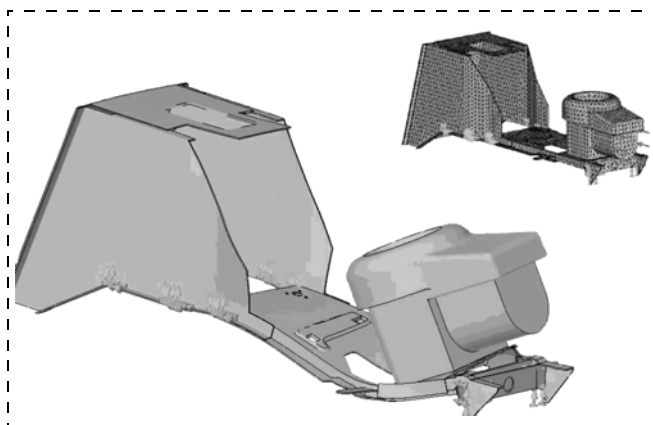


Рис. 4. Модель рамы с двигателем после разбиения на отдельные элементы и эпюра формы колебаний исходного варианта рамы

неприемлемы из-за их относительно невысокой точности расчета и невозможности моделирования отдельных конструктивных элементов.

На рис. 4 представлена модель рамы с двигателем после ее разбиения на конечные элементы и показана эпюра формы колебаний исходного варианта рамы. Из эпюры видно, что в процессе деформации передняя часть рамы перегибается по самому слабому сечению относительно задней части. Слабость этого сечения определяется тем, что в этом месте в горизонтальной части рамы сделан большой вырез для рычагов управления скоростью движения машины и торможения, и тем, что в этом же сечении ослабляется уголок, идущий по краю рамы. У уголка, идущего от этого сечения и далее по всей передней части рамы, отсутствует горизонтальное крыло. Это связано с тем, что при проектировании рамы не учитывалась форма ее изгибных колебаний.

В табл. 2 представлены различные варианты модернизации рамы, просчитанные с помощью МКЭ, там же указаны частоты резонанса для каждого варианта, где амплитуда колебаний была наибольшей. Амплитуда определялась при силовом гармоническом воздействии вдоль оси цилиндра с постоянной амплитудой и переменной частотой. В других столбцах табл. 2 указаны амплитуды в контрольных точках в долях от амплитуды для исходного варианта рамы, принятой за единицу. Там же в скобках указано изменение (– снижение, + рост) амплитуды в децибелах. Из таблицы видна асимметрия площадок для ног (цифры для левой и правой площадок разные). Это связано с несимметричным расположением выреза в раме под рычаги управления. Устранение выреза делает ситуацию симметричной.

Из представленных в табл. 2 вариантов модернизации можно обратить внимание на вариант 5, где цель достигается простым утолщением уголков, идущих вдоль рамы для повышения ее изгиб-

Изменение амплитуд колебаний в контрольных точках при разных вариантах модернизации упругой системы

Вариант модернизации	Описание варианта модернизации модели	Частота резонанса, Гц	Левая подножка	Правая подножка	Точка на двигателе
1	Исходная рама с толщиной стенок 4 мм	41	1,0	1,0	1,0
2	Рама после увеличения толщины всех стенок до 7 мм	54	0,2 (–13,7 дБ)	0,064 (–34 дБ)	0,51 (–5,8 дБ)
3	У рамы увеличена толщина только бокового уголка до 7 мм. Все остальное без изменений	46	0,6 (–4,4 дБ)	0,48 (–6,3 дБ)	0,7 (–3 дБ)
4	Боковые уголки рамы продлены на всю длину рамы. Толщина 4 мм	46	0,68 (–3,3 дБ)	0,7 (–3 дБ)	0,79 (–2 дБ)
5	Боковые уголки сделаны на всю длину рамы как и в варианте 4, но их толщина увеличена до 7 мм	53	0,2 (–13,7 дБ)	0,23 (–12,9 дБ)	0,53 (–5,5 дБ)
6	Уголки толщиной 7 мм сохранены по варианту 5. Толщина горизонтальной части рамы уменьшена до 2 мм	39	1,65 (+4,3 дБ)	1,18 (+1,4 дБ)	0,98 (–2,3 дБ)
7	Подобие варианту 6, но толщина горизонтальной части рамы увеличена до 3 мм	42,8	0,48 (–6,3 дБ)	0,48 (–6,3 дБ)	0,77 (–2,3 дБ)
8	Между двигателем и рамой установлена подмоторная рама толщиной 4 мм. Рама трактора в исходном состоянии	51	0,18 (–15 дБ)	0,24 (–12,5 дБ)	0,58 (–4,7 дБ)
9	Между подмоторной рамой и рамой трактора введена резиновая прокладка толщиной 1,5 мм	36	0,18 (–15 дБ)	0,43 (–7,3 дБ)	1,47 (+3,3 дБ)

ной жесткости, и продлить их горизонтальное крыло на всю длину корпуса машины.

Заслуживает внимания вариант 8, где между двигателем и основной рамой трактора устанавливается подмоторная рама, к которой и крепится двигатель. Ее введение позволяет разнести точки крепления двигателя на большее расстояние, уменьшив деформации в опорах, и перенести точки крепления с податливой горизонтальной части рамы на жесткие ребра. Как показано в варианте 9, введение прокладки несколько уменьшает эффект снижения вибраций на правой площадке, но вполне может рассматриваться как возможная альтернатива варианту 8. По результатам расчета можно сделать вывод, что одновременное применение вариантов 5 и 8 или 5 и 9 сможет снизить вибрации на подножках на 20...25 дБ. Эти цифры позволяют не только удовлетворить требования санитарных норм, но и приближают вибрационную обстановку в контрольных точках к комфортной.

На этапе моделирования ничего не говорится о контрольных точках на руле. Это связано с тем, что вибрации на руле в значительной степени определяются вибрациями рамы, к которой и крепится рулевая колонка. Уменьшив вибрации рамы, можно достичь и снижения вибраций на руле.

Следующим шагом излагаемой технологии была проверка выводов, сделанных на основании расчетов, с помощью испытаний физических моделей рамы, изготовленных в масштабе 1 : 2. Были изготовлены и испытаны варианты 5, 8 и 9. Испытание варианта 5 показало, что снижение вибраций на резонансных частотах может достигать 10 раз по сравнению с исходным вариантом. Введение подмоторной рамы (вариант 8) без прокладок дало

снижение вибраций на подножках в 6—10 раз. Введение резиновых прокладок по варианту 9 позволило уменьшить передачу вибраций в звуковом частотном диапазоне до 20 дБ.

Выводы. Представленная последовательность шагов, состоящая из исследований динамических характеристик и форм колебаний упругой системы машины, из моделирования и расчета вариантов возможной модернизации упругой системы, позволяющих уменьшить амплитуду наиболее критичной формы колебаний упругой системы, и испытаний лучших вариантов на физических моделях, позволила подобрать направление модернизации упругой системы, решающее проблему снижения вибраций без существенного повышения себестоимости изделия.

Список литературы

1. Кочетов О. С. Расчет виброзащитного сиденья оператора // Безопасность труда в промышленности. — 2009. — № 11. — С. 32—35.
2. Козочкин М. П., Юдин Е. Я., Борисов А. А., Горенштейн И. В. и др. Борьба с шумом на производстве: Справочник. — М.: Машиностроение, 1985. — 400 с.
3. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566—96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий".
4. ГОСТ Р 12.1.012—2004 "ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования".
5. Кочинев Н. А., Сабилов Ф. С. Квазистатический метод измерения баланса упругих перемещений несущей системы станков // Измерительная техника. — 2006. — № 6. — С. 32—35.
6. Кочетов О. С. Расчет пространственной системы виброзащиты // Безопасность труда в промышленности. — 2009. — № 8. — С. 32—37.
7. Дроздова Л. Ф., Кудаев А. В. Расчет и проектирование звукоизолирующих капотов для снижения шума энергетических установок // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 8. — С. 40—47.



УДК 629.7.047

Е. Э. Львов, ведущий специалист отдела новых технологий,
В. А. Пчелинцев, руководитель направления, **Е. Н. Уткина**, руководитель отдела,
ЗАО "Финансово-промышленная группа "Энергоконтракт"
E-mail: pressa@energocontract.ru

Современные средства индивидуальной защиты персонала от воздействия термических и биологических факторов

Описаны инновационные разработки специальных средств индивидуальной защиты персонала промышленных предприятий от воздействия термических и биологических факторов.

Ключевые слова: промышленное производство, термические и биологические факторы, безопасность персонала, спецодежда, спецобувь

L'vov E. E., Pchelinzev V. A., Utkina E. N.
Modern of personal protective means against thermal and biological hazards.

A review of innovations of personal protective equipment against thermal and biological hazards for industry workers.

Keywords: personal protective equipment, workwear, working footwear, thermo carbonization, thermal risks, anti-encephalitic suit-resistant fibres

Введение

Система обеспечения промышленной безопасности, включающая средства индивидуальной защиты (СИЗ) персонала, непрерывно развивается, чтобы в большей степени соответствовать развитию и интенсификации производства. Поэтому от производителей защитных средств требуется постоянное совершенствование конструкций, применение более современных материалов и прогрессивных технологий, новых конструкторских и дизайнерских решений при разработке и изготовлении СИЗ. Для решения этих вопросов была создана российская компания ЗАО "Финансово-промышленная группа "Энергоконтракт" — разработчик, производитель и поставщик современных термостойких СИЗ широкого профиля.

Компания была основана в 1994 г. как поставщик спецодежды и спецобуви для работников энергокомпаний. В 1999 г. компания стала заниматься разработкой и производством комплектов одежды для защиты от воздействия электрической дуги, и к 2006 г. она стала одной из крупнейших компаний по изготовлению средств защиты из волокна Nomex®, востребованных ведущими предприятиями электроэнергетики, нефтегазового

комплекса, железнодорожного транспорта. Компания "Энергоконтракт", кроме того, является также и исследовательским центром с зарегистрированной торговой маркой Термолюкс®.

В 2007 г. ЗАО "ФПГ Энергоконтракт" открыло свою научно-производственную базу, соответствующую мировому стандарту менеджмента качества ISO 9001:2000.

Разработка современных СИЗ, сочетающих в себе не только базовые требования безопасности, но и комфорт и эргономику изделия, осуществляется в экспериментально-конструкторском центре компании. Создаваемые здесь опытные образцы одежды отправляются на испытания в аккредитованные лаборатории Европы и Канады. После подтверждения защитных свойств изготавливается ограниченная партия для опытной эксплуатации в реальных производственных условиях. При необходимости модель конструктивно дорабатывается, усовершенствуется и затем испытывается заново. После успешного прохождения всех испытаний новые разработки передаются в производство.

Оптимальный вариант раскладки деталей одежды на полотне просчитывается с помощью системы автоматизированного проектирования компании "Gerber" (США) и по сети передается в раскройный цех, где автоматизированный настольно-раскройный комплекс "Lectra" (Франция) с миллиметровой точностью осуществляет раскрой до 50 слоев ткани одновременно. Перед тем как попасть в раскройный цех вся ткань подвергается входному контролю качества в цехе подготовки с помощью специальной мерильно-браковочной машины "Роллтекс", отсеивающей участки ткани с текстильными и сырьевыми пороками. Каждая раскроенная деталь маркируется, что в дальнейшем позволяет легко, как из пазлов, собрать весь костюм.

Элементы будущего костюма доставляются в швейный цех к японским машинам "Juki" последнего поколения. Чтобы сотрудницам этого цеха не приходилось поднимать тяжести, доставка осуществляется на тележках, равных по высоте столам швейной линии. Пошив комплектов одежды ведется поточным

методом, при котором каждая швея выполняет строго определенный комплекс операций.

Полноценный комплект одежды, обеспечивающий безопасность всего тела человека, невозможен без хлопчатобумажного или термостойкого белья, специальной обуви, подшлемников и перчаток. Поэтому компания "Энергоконтракт" наладила производство и этих изделий. Так, термостойкие перчатки повышенной прочности изготавливаются в *трикотажном цехе* на современных японских вязальных машинах.

Завершающие штрихи по приданию защитным изделиям корпоративного стиля наносятся в *цехе текстильной печати*, в котором производятся шевроны и логотипы. При этом применяется только специальная краска, которая не поддерживает горение и является экологически безопасной.

Готовые изделия отправляются в двухъярусный *складской комплекс* площадью 2250 м², где организовано адресное хранение продукции и расходных материалов, включая запас ткани на месяц работы предприятия. Здесь же происходит сортировка и упаковка комплектов одежды с учетом всех пожеланий заказчиков. Эффективная логистическая система компании позволяет гарантировать бесперебойность и четкость поставок.

Среди ее клиентов: ОАО "Холдинг МРСК", ОАО "РЖД", ОАО "Мосэнерго", ОАО "ФСК ЕЭС", ОАО "Газпром", ОАО "ТНК ВР", ОАО "ЛУКОЙЛ", ОАО "Роснефть", ОАО "АК "Транснефть", ОАО "Сургутнефтегаз", ОАО "ГидроОГК", ОАО "РАО ЭС Востока" и др.

В настоящее время компания ЗАО "ФПП Энергоконтракт" выпускает комплекты одежды для защиты от таких производственных рисков, как электрическая дуга, статическое электричество, искры и брызги расплавленных металлов, открытое пламя, сырая нефть и нефтепродукты, а также укусы кровососущих насекомых и переносчиков вирусов. Ниже представлены примеры основных разработок компании для обеспечения работников российских предприятий термостойкими средствами индивидуальной защиты.

Термостойкие средства индивидуальной защиты

Сегодня к спецодежде и спецобуви для защиты от воздействия повышенных (200 °С и выше) температур предъявляются особенно высокие требования. В перечень профессий, для которых необходима такая защита входят электроэнергетики, металлурги, сварщики, работники нефтяной и газовой отраслей, пожарные, спасатели и др. Защитные свойства спецодежды для представителей этих специальностей напрямую зависят от термостой-

кости волокон, которые используются для производства ткани.

Термостойкими считаются такие волокна, которые длительное время сохраняют требуемые эксплуатационные свойства при температурах выше области разложения химических волокон широкого применения [1]. Например, при температуре 250 °С и выше они должны сохранять неизменными свое химическое строение (не разлагаться) и физико-механические свойства (сохранять прочность). Соответственно и ткани, изготовленные из термостойких волокон, при этих температурах должны сохранять эксплуатационные свойства. При указанных температурах обычные, в том числе и натуральные волокна, полностью разрушаются.

Стремясь справиться с этим, производители спецодежды, например из хлопкового волокна, применяют различные методы модифицирования ткани: введение замедлителей горения и поверхностную обработку готовых материалов. Но, как показывают исследования специалистов Московского государственного текстильного университета им. А. Н. Косыгина, ВНИИ противопожарной обороны МЧС России и Научного центра компании "Энергоконтракт", таким путем тканям придается лишь огнезащищенность, другими словами, пониженные воспламеняемость и горючесть, тогда как термостойкость эти ткани не приобретают [2, 3]. Так, даже обработанная огнестойкой пропиткой хлопковая ткань уже при температуре 240 °С начинает с большой скоростью разлагаться (рис. 1, а).

При этом проходят параллельные реакции дегидратации, дегидратации и последующего разложения дегидроцеллюлозы [4]. В результате разложения волокна хлопковых и смесовых тканей при температуре 300 °С почти полностью теряют прочность [2]. Более того, огнезащищенность такой ткани ограничена во времени в связи с вымыванием пропитки под действием стирок. Изготовленные из такой ткани защитные комплекты одежды не могут обеспечить безопасность работающих на объектах, где есть вероятность воздействия на человека повышенных температур. Поэтому применяются другие материалы.

В настоящее время при создании материалов нового поколения, позволяющих избежать термических рисков, все шире используются химические волокна, изначально сформованные из термостойких полимеров, не поддерживающих горения на воздухе. Ткани, изготовленные из таких волокон (например, метарамидного волокна) даже при длительном воздействии температуры до 350 °С не плавятся, не выделяют летучих горючих продуктов, сохраняют прочность [2] и другие необходимые эксплуатационные свойства (см. рис. 1, б). Но, самое главное, что

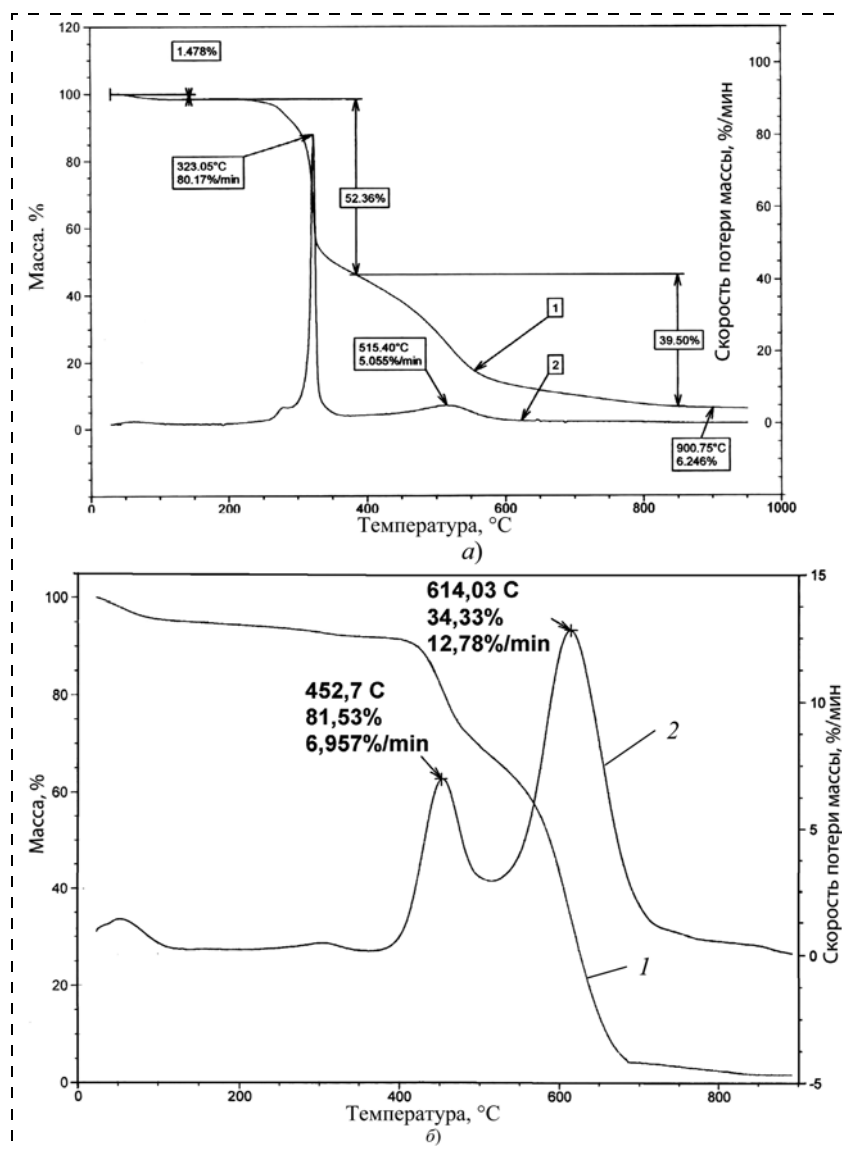


Рис. 1. Кривые термического разложения хлопкового (а) и метаарамидного (б) волокна:

1 — изменение массы образца, % от начальной массы; 2 — скорость потери массы образца, % изменения массы в минуту

при нагреве до таких высоких температур как температура электрической дуги, распад макромолекул полимера, из которого сформованы волокна этой ткани, сопровождается процессами структурирования, в ходе которых образуется прочный карбонизованный остаток [5], имеющий свойства теплоизолятора и препятствующий воздействию теплоты на человека. Кроме того, эти материалы выдерживают воздействие открытого пламени и устойчивы к воздействию таких химических реагентов, как кислоты и щелочи.

Используя для пряжи разные составы, применяя ту или иную структуру ткани, компания "Энергоконтракт" разрабатывает термостойкие материалы сразу

с целым комплексом дополнительно заданных свойств и с улучшенными функциональными характеристиками и на основе этих материалов создает комплекты одежды, обеспечивающие защиту от термических рисков, опасных биологических факторов, накопления статического электричества, от различных загрязнений. Вместе с тем, эти комплекты одежды позволяют комфортно работать на протяжении всей рабочей смены. Кроме того, экспериментируя со способами переплетения нитей, специалистами "Энергоконтракта" создали облегченную термостойкую ткань, которая превышает нормативные показатели по гигроскопичности в 4 раза, а по воздухопроницаемости — в 10 раз. Спецодежда из этой ткани уже успешно используется в южных регионах России.

Еще одно направление научных изысканий компании — разработка новых подходов к созданию более совершенной специальной одежды за счет комбинирования тканей и материалов с различными, взаимодополняющими свойствами. Этот метод позволил специалистам "Энергоконтракта" создать термостойкий плащ (рис. 2 — см. 2-ю стр. обложки), который одновременно является водо-, ветронепроницаемым и термостойким и при этом характеризуется высокой паропроницаемостью ("дышит"). Все эти свойства обеспечивает трехслойный пакет материалов, состоящий из внутренней подкладки, термостойкой ткани верха с водоотталкивающей пропиткой, а также прикрепленной к ней по особой технологии тончайшей мембраны.

Комбинация термостойкой ткани "Термол" из смеси химических волокон и особого огне- и термостойкого полимерного покрытия была использована специалистами "Энергоконтракта" при создании комплекта защиты для сварщика. Благодаря тому, что ткань из химических волокон не воспламеняется даже при попадании окалины в складки одежды, а с полимерного покрытия не задерживаясь скатываются искры и брызги металла, надежность и срок службы этой спецодежды существенно увеличился. Опытная эксплуатация показала, что костюм действительно защищает в течение всего нормативного срока службы. Новый комплект сварщика обеспечивает принципиально но-

вый уровень безопасности, эксплуатационных свойств и комфорта. Он ориентирован на наиболее распространенные условия сварки, при которых расстояние от источника брызг металла и окалины составляет 50 см и менее, а работы могут вестись в тесных замкнутых помещениях.

Один из вариантов термостойкого костюма сварщика, показанного на рис. 3 (см. 2-ю стр. обложки), предназначен для 2-го и 3-го класса защиты, согласно ГОСТ 12.4.247—2008.

Именно этот стандарт дал импульс к появлению современных СИЗ для сварщика в нашей стране. Основное отличие нового документа от введенного ранее ГОСТ 12.4.105—81 "Ткани и материалы для спецодежды сварщиков" заключается в установлении требования уже к готовой спецодежде, а не только к тканям. ГОСТ 12.4.247—2008 вводит требования к конструкции костюмов, к свойствам материалов верха, подкладочным и утепляющим. Другим важным нововведением этого стандарта являются новые методы испытаний тканей, включая проверку огнестойкости и стойкости к прожиганию после мокрой обработки и химической чистки. Таким образом, новый стандарт задал такие условия, которым традиционные ткани и материалы уже не смогли соответствовать.

К сожалению, совершенствование нормативной базы не всегда происходит своевременно. Например, в России до сих пор не разведены понятия огнезащищенности и термостойкости тканей. Причем, если методы испытаний, по которым определяется огнестойкость и нормативные значения ее показателей известны, внесены в государственные стандарты, то по термостойкости ткани параметров испытаний и критериев оценки ни в одном из стандартов до сих пор нет.

Новации в области термостойких средств индивидуальной защиты не ограничиваются только спецодеждой. По статистике последних трех лет не менее чем в 22 % несчастных случаев, обусловленных поражениями электрической дугой и термическими ожогами, страдали также ноги, что заставило и работодателей, и изготовителей СИЗ ответственнее взглянуть на проблему обеспечения безопасности этой части тела. В результате появилось много разработок спецобуви и в производство были внедрены более прогрессивные технологии и материалы, усовершенствованы конструкции многих моделей.

Одна из самых ярких тенденций на рынке спецобуви — это замена металлического подноски поликарбонатным. Выдерживая ту же нагрузку (более 200 Дж при ударе и 1,5 т при сдавливании), эта технологическая новинка с поликарбонатной вставкой не допускает перегрева и переохлаждения ступ-

ни, не натирает, а также благодаря своей прочности и устойчивости к деформации, исключает возможность травмирования ноги. Форма такого подноски повышает комфортность носки даже для обладателей широкой или нестандартной стопы. И, что весьма важно для обуви, предназначенной для использования в течение всей рабочей смены, поликарбонатный подносок в два раз легче металлического, что значительно снижает вес всего ботинка.

Подверглась усовершенствованиям и подошва термостойкой обуви. Одна из ключевых особенностей ее нового варианта — амортизирующая гелевая подушечка в области пятки. Тем, кто проводит рабочий день на ногах на жестком промышленном покрытии, хорошо известно, как это отражается на состоянии организма. Пружинящий вкладыш, находящийся в подошве, лучше, чем спортивная обувь помогает при ходьбе, снижает боль в мышцах и суставах.

С 2010 г. на рынке средств индивидуальной защиты для ног компанией "Энергоконтракт" представлены облегченные ботинки ЭЛ-3. Они имеют вид современной обуви повседневного и спортивного назначения, поэтому при внешнем осмотре сложно оценить насколько серьезная работа и какой тонкий конструкторский расчет стоят за созданием этих, в первую очередь, защитных ботинок.

Наряду с уже традиционной для защитной обуви термостойкой юфтью (натуральной кожей), была использована ткань из арамидных волокон, которая благодаря особому переплетению нитей, обладает одновременно и легкостью, и прочностью. Этот материал уже доказал свою эффективность при защите от повышенных температур, поэтому из этого материала изготавливают боевую одежду для пожарных.

Аналоги этой разработке не известны, поэтому специалисты "Энергоконтракт" решали многие проблемы "с нуля", начиная от поиска оптимальных пропорций и конкретной конструкции ботинка до обеспечения формоустойчивости используемой кожи, выдерживания ею требуемых разрывных нагрузок и непромокаемости. Кроме соблюдения обязательных для средств защиты требований, разработчики позаботились и о дополнительном комфорте при носке. Боковые амортизаторы, продублированные поролоном, призваны смягчить удары лодыжечных костей, которые из-за обилия нервных окончаний в этой части ноги бывают очень болезненными. Специальная конструкция колодки ботинка позволяет снизить утомление стопы в течение всего рабочего дня. Наличие боковых воздухоотводящих клапанов обеспечивает еще более комфортный климат внутри обуви.



Еще один новый вид защитной обуви, появившийся в 2010 г., — это термостойкие галоши. В зимнее время в холодных регионах России самой распространенной рабочей обувью являются обычные валенки. Как показали испытания, войлок (в силу своей плотности) способен противостоять краткосрочному воздействию пламени и высоких температур. Тем не менее, от термических рисков валенки не могут обеспечить надежную защиту. Для повышения уровня безопасности работников в зимнее время компания "Энергоконтракт" наладила производство галош из легкой и эластичной нитрильной резины, обладающей термостойкостью в диапазоне от -50°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Галоши позволяют дополнительно защитить ту часть валенка, которую не прикрывают термостойкие брюки.

Претерпели изменения и давно знакомые электроперсоналу российских предприятий модели обуви. Главные направления этих усовершенствований — повышение удобства и прочности изделий. Например, на ботинках появился глухой клапан, закрывающий шнуровку снаружи и тем самым исключающий налипание, а также попадание мелких деталей и мусора внутрь ботинка. Этот элемент обуви специального назначения был позаимствован у своей спортивной обуви.

Другая тенденция последних лет — появление спецобуви для защиты от так называемых "узких" рисков. Среди них особого внимания заслуживают противоэнцефалитные ботинки, а также обувь для сварщиков, которая учитывает мельчайшие особенности труда представителей этой профессии.

Защита от новых биологических факторов

Отсутствие единых регламентирующих документов, определяющих основные необходимые характеристики и оценку эффективности, сдерживает развитие средств индивидуальной защиты от таких опасных биологических факторов, как укусы клещей и других кровососущих насекомых. По этой причине практически любая одежда в настоящее время может позиционироваться как противоэнцефалитная и, тем самым, вводить людей в заблуждение относительно уровня защищенности их жизни и здоровья.

Между тем ситуация в Российской Федерации в этом отношении исключительно неблагоприятная. В 2010 г. в 69 субъектах Российской Федерации в лечебные учреждения обратилось более 400 тыс. пострадавших от укусов клещами. Лабораторно подтвержденный диагноз клещевого вирусного энцефалита (КВЭ) в прошлом году регистрировался 3094 раза, а боррелиоза — 7063. Еще несколько тысяч человек заразились другими инфекциями, в распространении которых также участвуют клещи.

Наиболее высокие показатели заболеваемости КВЭ в 2010 г. зарегистрированы в Республике Алтай, Томской области, Красноярском крае, Курганской области, Республике Хакасия, Пермском крае. Анализ заболеваемости от иксодового клещевого боррелиоза (ИКБ) показал, что в течение последних 8 лет в России ежегодно регистрируется от 6,4 тыс. до 9,6 тыс. случаев этого заболевания. Стабильно неблагоприятными территориями по заболеваемости ИКБ являются Кировская, Вологодская, Томская, Костромская, Свердловская области. В число природных очагов ИКБ входит и Подмосковье. В 2011 г. по прогнозам специалистов также сохранится напряженная эпидемиологическая ситуация по инфекциям, передающимся клещами.

Приведенные данные свидетельствуют о необходимости профилактических мер защиты жителей практически всех регионов России. Особенно об этом следует позаботиться тем, кто по роду своей профессиональной деятельности должен проводить много времени вне города.

Самым распространенным способом защиты у россиян пока остается прививка от энцефалита (от других клещевых вирусов прививок не существует). Однако, как отмечают эпидемиологи, на территории Российской Федерации доминирует сибирский подтип вируса КВЭ, а современные коммерческие вакцины приготовлены на основе дальневосточного и европейского подтипов. Поэтому часто вакцинация оказывается не способной уберечь от заболевания. По данным Роспотребнадзора, 3,1 % лиц, заболевших вирусным клещевым энцефалитом в 2009 г., были привиты зарегистрированными препаратами по полной схеме. Не дает гарантии и иммунопрофилактика — в 2009 г. 14,2 % (531 человек) тех, кому в течение трех суток после укуса были сделаны инъекции иммуноглобулина, все-таки заболели. По-прежнему не во всех регионах России, даже с высоким уровнем заболеваемости, проводится экспресс-диагностика, поскольку необходимых для этого лабораторий на всю страну насчитывается только 54.

В связи с этим компанией "Энергоконтракт" в 2009 г. был разработан противоэнцефалитный костюм "Биостоп" нового поколения (рис. 4 — см. 2-ю стр. обложки), не имеющий аналогов ни в России, ни за рубежом. Его защитный коэффициент, согласно заключению, утвержденному ФГУН НИИ дезинфектологии Роспотребнадзора 12 сентября 2008 г., определен как 100 %.

До начала разработки этого костюма было тщательно изучено рефлексное поведение клещей и природа их агрессивности. Клещи всегда нападают из травы и затем, в поисках подходящего для укуса

места, ползут вверх. На брюках и куртке нового противоклещевого комплекта "Биостоп" располагаются семь ловушек-воланов, призванные задерживать переносчика вируса. Более того, под воланом имеется вставка, пропитанная смертельным для клеща веществом — акарицидом. Под его воздействием уже через несколько минут клещ отпадает с одежды и умирает. Причем свои защитные свойства пропитка сохраняет и после 50-ти стирок, что позволяет обеспечить эффективность костюма на протяжении минимум двух лет. Новый комплект обладает и противомоскитными свойствами — особое переплетение нитей не позволяет хоботку комара проникать сквозь ткань.

За три года новые костюмы "Биостоп" прошли серию испытаний учеными в тайге, а также в условиях опытной эксплуатации на российских предприятиях, в том числе электроэнергетического сектора. При этом электротехнический персонал получал комплекты в термостойком исполнении, которые обеспечивают защиту не только от кровососущих насекомых, но и от воздействия электрической дуги.

Отзывы, полученные по завершении испытаний, однозначно констатировали, что одежда подтвердила свою эффективность: укусов клещей, их нахождения на спецодежде обнаружено не было. Положительные оценки получили комплекты и по показателям комфортности. Несмотря на плотное переплетение волокон, и термостойкий, и хлопчатобумажный варианты костюма достаточно легкие, хорошо пропускают воздух и впитывают влагу. По отзывам испытателей, хорошо продумана и конструкция костюма, которая позволяет без затруднений выполнять профессиональные обязанности.

Согласно упомянутому выше заключению, "Биостоп" является на данный момент наиболее эффективным и безвредным для человека средством защиты от укусов клещей и, таким образом, от заражения всеми существующими клещевыми инфекциями. Промышленный выпуск нового противоклещевого

костюма начался в России в 2010 г. К настоящему времени он уже поставляется на ряд ведущих предприятий России, для которых инвестирование в высокотехнологичные защитные средства — это инвестирование в здоровье и безопасность сотрудников, а значит, в конечном итоге, укрепление финансового благополучия производства.

Заключение

В настоящее время для обеспечения безопасности труда активно развивается производство термостойких средств индивидуальной защиты. Положительный фактор этого развития в том, что многие передовые научные идеи в этой области созревают именно в России, большинство из которых здесь же находят свое производственное воплощение. Этому в немалой степени способствует то обстоятельство, что энергопредприятия страны в нынешнее непростое время демонстрируют свою готовность обеспечивать свой персонал самыми передовыми высокотехнологичными средствами индивидуальной защиты, в результате чего труд в российской электроэнергетике будет становиться все более безопасным.

Список литературы

1. **Термо-**, жаростойкие и негорючие волокна / Под ред. А. А. Конкина. — М.: Химия, 1978.
2. **Львов Е. Э., Зубкова Н. С., Константинова Н. И.** Термостойкость волокон, используемых для производства тканей для специальной защитной одежды // Материалы VI Международной конференции "Полимерные материалы пониженной горючести". — Вологда, 2011.
3. **Перепелкин К. Е.** Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). — 2002. — Т. XLVI. — № 1.
4. **Тюганова М. А.** Разработка теоретических основ огнезащиты волокнообразующих полимеров и технологии получения огнезащищенных текстильных материалов. Дисс. д-ра. хим. наук. 02.00.06. — Мытищи, 1988. — 307 с.
5. **Зубкова Н. С.** Полимерные материалы пониженной пожарной опасности. — М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2004.

Поздравляем с юбилеем!



Геннадию Петровичу Павлихину, д-ру техн. наук, проф., зав. кафедрой "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана, члену редакционного Совета журнала "Безопасность жизнедеятельности" исполнилось 70 лет.

Редакционный совет, редакционная коллегия, редакция журнала поздравляют Геннадия Петровича со знаменательной датой и желают ему здоровья, благополучия, успехов и свершений на педагогическом и научном поприще.



УДК 614.894

А. В. Лянг, канд. техн. наук, руководитель НТС СИЗ ОАО "Сорбент", г. Пермь
E-mail: avl@sorbent.su

Разработка химических поглотителей и фильтров СИЗОД на их основе для обеспечения безопасности жизнедеятельности

Приведены результаты исследований по получению новых химических поглотителей для средств индивидуальной защиты органов дыхания с анализом выбора угольной основы. Представлены данные по разработке на основе полученных поглотителей фильтров марок Е, АЕ, АВЕ, АВЕК и АВЕКН_гН_гОСОР₃ различных классов защиты согласно требованиям стандарта ГОСТ Р 12.4.193—99, имеющих повышенное время защитного действия (ВЗД). Проиллюстрированы пути уменьшения шихты и габаритов фильтров при том же уровне ВЗД.

Ключевые слова: активный уголь, поглотители, адсорбция, адсорбенты-катализаторы, фильтры, средства индивидуальной защиты органов дыхания, динамическая активность, время защитного действия, отравляющие вещества, аварийно химические опасные вещества

Lyang A. V. *Development of chemical absorbers and filters RPD on its basis to ensure the safety of life*

Researches to obtain new chemical absorbers for personal respiratory protection with the analysis of a choice of a coal basis are carried out. Presented data about the development on the basis of received absorbers of filters of marks E, AE, ABE, ABEK and ABEKH_gN_gOSOR₃ various classes of protection according to requirements of the new standard of GOST P 12.4.193—99 with increased protective power time (PPT). Ways to reduce the charge and size of filters are implemented at the same level of PPT.

Keywords: activated carbon, absorbers, adsorption, adsorbent-catalyst, filters, personal respiratory protection, dynamic activity, protective power time, toxic agents, emergency chemical dangerous substances

Введение

На многих предприятиях различных отраслей промышленности требуется одновременная защита от вредных веществ различной химической природы, что может быть осуществлено только при использовании широкой номенклатуры multifunctional марок средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) [1].

С учетом определенной универсализации марок фильтров промышленных противогазов и респираторов актуально объединение защиты гражданского населения и рабочих промышленности в единую структуру [2]. Такие multifunctional фильтрующие средства защиты позволили бы реализовать принцип "двойного использования", позволяющий обеспечивать безопасность жизнедеятельности работников предприятий промышленности при выполнении штатных операций, а также в предаварийных условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС). Разработка средств защиты, которые бы комплексно защищали органы дыхания от отравляющих веществ (ОВ) и широкого перечня аварийно химических опасных веществ (АХОВ), а также АХОВ, включающих вещества, образующиеся при пожарах, могла бы решить эту проблему. Создание таких средств защиты возможно лишь при условии разработки новых химических поглотителей и обосновании состава шихты фильтров СИЗОД на их основе.

В связи с переходом на новые ГОСТы также возникает необходимость разработки новых химических поглотителей и создание на их основе фильтров СИЗОД для использования в ЧС.

К сожалению, адсорбенты-катализаторы К-5М, КТ-1 и поглотитель УП-4М на основе активного угля АГ-5, используемые ранее для снаряжения невыпускаемых в настоящее время отечественных СИЗОД промышленного назначения марок В и БКФ, имеют недостаточно высокий уровень полифункциональных защитных характеристик по органическим парам: циклогексан, бензол и т. п. (класс веществ А), неорганическим: хлор, гидрид серы и т. п. (класс В) и кислотным: диоксид серы, хлористый водород и т. п. (класс Е) газам и парам, не позволяющий использовать поглотители для снаряжения фильтров СИЗОД промышленного назначения, соответствующих требованиям новых, гармонизированных с европейскими, стандартов, в частности, ГОСТ Р 12.4.193—99.

Выбор эффективной основы химических поглотителей

В связи с вышеизложенным необходимо было провести исследования угольной основы поглотителей, исследования, связанные с разработкой эффективных поглотителей для фильтров марок Е,

АЕ и АВЕ, образованных в соответствии с ГОСТ Р 12.4.193—99 из одноименных классов веществ или их комбинаций, для поглощения ОБ и АХОВ, соответствующих требованиям ГОСТ Р 12.4.193—99.

Для исследований были выбраны лучшие из отечественных активных углей из каменноугольного сырья и торфа — АГ-5 и СКТ-6А, а также активный уголь из химически обработанной скорлупы ореха, широко используемый в зарубежных СИЗОД.

Исследования основывались на определении динамической активности Q по различным тест-веществам, которая в ходе данных разработок являлась показателем, определяемым временем, необходимым для достижения нормированной проскоковой концентрации тест-вещества за слоем активного угля (поглотителя) в динамической трубке в заданных условиях испытаний.

Сравнительно низкий объем микропор $V_{\text{ми}}$ (до $0,35 \text{ см}^3/\text{г}$) обуславливает невысокую динамическую активность по отношению к парам бензола как самого активного угля АГ-5, традиционно применяемого в средствах защиты, так и поглотителей на его основе. Это свидетельствует о малой эффективности использования его для фильтров марок А и АЕ. Активные угли СКТ-6А и из химически обработанной скорлупы ореха при близких параметрах микропористой структуры [3, 4] имеют высокие и примерно одинаковые величины динамической активности по бензолу $Q_{\text{С}_6\text{H}_6}$. Это показывает высокую эффективность использования их для фильтров марки А.

Установлено, что соединения, имеющие щелочной характер, и вода адсорбируются углем с кислым характером поверхности значительно сильнее, чем соединения, имеющие кислый или нейтральный характер [5].

Адсорбция молекул воды на активных углях имеет ряд особенностей по сравнению с адсорбцией неполярных веществ (бензол). Закономерности и особенности адсорбции паров воды на активных углях обусловлены прежде всего склонностью полярных молекул воды к образованию водородных связей при относительно слабых дисперсионных взаимодействиях с углеродной поверхностью активного угля [6]. Начальные участки изотерм адсорбции паров воды определяются ее адсорбцией на хемосорбированных поверхностях углей прочных кислородсодержащих радикалах. Эти радикалы получили название "поверхностных оксидов". Поверхностные оксиды и адсорбированные на них молекулы воды являются адсорбционными центрами, к которым за счет водородных связей происходит присоединение других молекул воды [7].

По сравнению с активным углем СКТ-6А ($V_{\text{ми}}$ более $0,35 \text{ см}^3/\text{г}$), обладающим кислым характером поверхности, активный уголь из химически обрабо-

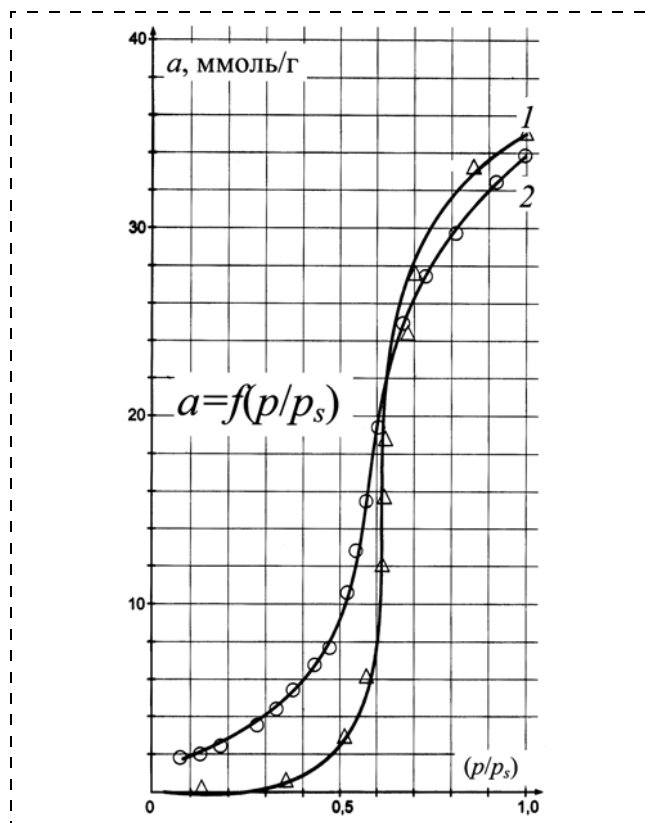


Рис. 1. Изотермы адсорбции паров воды:

1 — активного угля СКТ-6А; 2 — активного угля из химически обработанной скорлупы ореха

танной скорлупы ореха ($V_{\text{ми}}$ более $0,35 \text{ см}^3/\text{г}$) имеет щелочной характер поверхности и более высокую поглощающую способность по парам воды, согласно данным рис. 1 (изотерма адсорбции при 20°C), в области низких концентраций (до $0,5 p/p_s$), показывающую большее количество поверхностных оксидов и первичных адсорбционных центров.

Безразмерное равновесное относительное давление p/p_s соответствует равновесной относительной концентрации паров c/c_s , где p_s — упругость насыщенного пара, соответствующая концентрации насыщенного пара c_s , а p — равновесное давление пара, соответствующее равновесной концентрации пара c . Это определяет разный характер поведения активных углей при их пропитке водными щелочными растворами карбоната калия, а именно, быстрое проникновение карбоната калия вглубь адсорбционного пространства зерен активного угля СКТ-6А, сопровождающееся его разогревом, и медленное проникновение соли в пористую структуру активного угля из химически обработанной скорлупы ореха без его разогрева. Вследствие этого, как следует из рис. 2, в широком интервале содержания карбоната калия m_k (6...20 масс. %) импрегнированный активный уголь

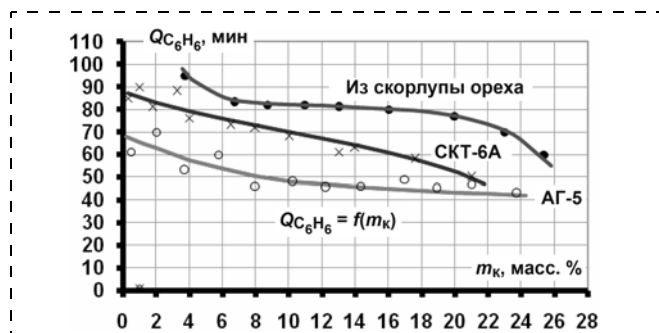


Рис. 2. Зависимость динамической активности по бензолу $Q_{C_6H_6}$ от содержания карбоната калия m_K в поглотителях на различной угольной основе

СКТ-6А существенно утрачивает свою первоначальную динамическую активность по бензолу $Q_{C_6H_6}$, а активный уголь из химически обработанной скорлупы ореха — незначительно.

Установлено, что на динамическую активность по диоксиду серы Q_{SO_2} поглотителей, полученных путем пропитки водным раствором карбоната калия исследуемых активных углей, определяющее влияние оказывает содержание карбоната калия m_K в адсорбентах. Вследствие этого для фильтров марки Е одинаково приемлемы активные угли, полученные из различного углеродсодержащего сырья и имеющие разный характер химической поверхности, как показано на рис. 3.

Для оценки поглощающей способности поглотителя по органическим парам рассчитывалась динамическая активность $A_{C_6H_6}$ углеродсодержащей части поглотителя по формуле:

$$A_{C_6H_6} = \frac{100 \cdot Q_{C_6H_6}}{100 - m_K}. \quad (1)$$

Анализ изменения величины динамической активности поглотителя по бензолу, отнесенной к

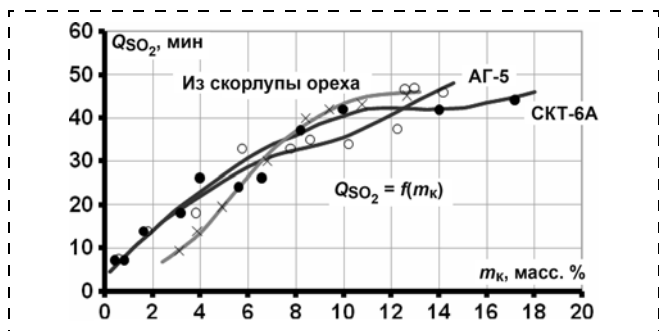


Рис. 3. Зависимость динамической активности по диоксиду серы Q_{SO_2} от содержания карбоната калия m_K в поглотителях на различной угольной основе

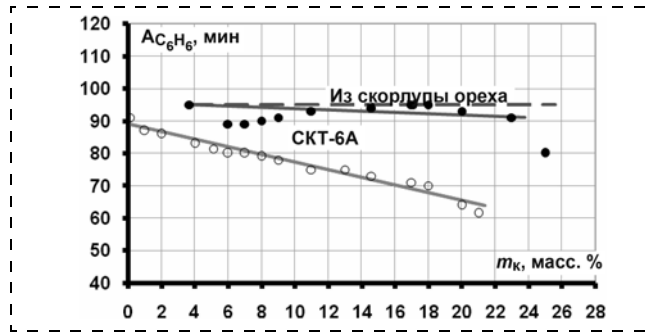


Рис. 4. Зависимость динамической активности по бензолу, отнесенной к массовой доле активного угля, $A_{C_6H_6}$ от содержания карбоната калия m_K в поглотителе на основе активных углей СКТ-6А и из химически обработанной скорлупы ореха (пунктирная линия показывает динамическую активность неимпрегнированного активного угля)

массовой доле активного угля в поглотителе, показатель $A_{C_6H_6}$ позволил установить, что динамическая активность $A_{C_6H_6}$ углеродсодержащей части поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрегнированного карбонатом калия, близка к уровню динамической активности $A_{C_6H_6}$ этого активного угля, неимпрегнированного карбонатом калия, что отражено на рис. 4. Этот факт, как и отсутствие разогрева активного угля из химически обработанной скорлупы ореха при его пропитке водным раствором карбоната калия, свидетельствует о том, что данный активный уголь практически не взаимодействует с карбонатом калия и не способствует его заметному проникновению в адсорбирующие поры. Напротив, динамическая активность $A_{C_6H_6}$ углеродсодержащей части поглотителя на основе активного угля СКТ-6А значительно уменьшается с увеличением содержания карбоната калия, что, наряду с разогревом активного угля, свидетельствует о проникновении карбоната калия в структуру адсорбирующих пор и их блокированию (см. рис. 4). В силу этого для фильтров марки АЕ в качестве угольной основы поглотителя предпочтительней использовать активный уголь из химически обработанной скорлупы ореха.

Таким образом, на основании анализа особенностей пористой структуры и природы поверхности активных углей показано, что угли — носители импрегнирующих добавок должны обладать определенным объемом сорбирующих пор и их распределением по размерам с сочетанием наличия поверхностных групп, обуславливающих высокую поглощающую способность угля по воде в области низких концентраций (до $0,5 p/p_s$). Наиболее эффективная угольная основа химических поглотителей — активный уголь из химически обработанной скорлупы ореха, обладающий таким объемом адсорбирующих пор и поглощающей способностью по органическим парам и воде, щелочным характером поверхности.

Разработка химических поглотителей

С целью научно обоснованного проектирования состава поликомпонентных химических поглотителей, обладающих определенной универсальностью действия при детоксикации различных вредных веществ, предложено использовать принцип химической индифферентности, который выполняется в случае применения в качестве импрегнирующих добавок солей с одноименными анионами.

При разработке поглотителей для фильтров марки АВЕ были поставлены эксперименты по пропитке активного угля из химически обработанной скорлупы ореха водным раствором углекислого аммиака меди. Образцы поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрегнированного соединениями меди в диапазоне 2...9 масс. % в пересчете на медь, в соответствии с принципом химической индифферентности, пропитывали водным раствором карбоната калия для последовательного нанесения этой добавки в широком интервале содержания на каждый образец соответственно при постоянных технологических параметрах.

Результаты определения динамической активности по бензолу, отнесенной к массовой доле активного угля, $A_{C_6H_6}$ поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрегнированного соединениями меди, близки по уровню с динамической активностью $A_{C_6H_6}$ активного угля, неимпрегнированного соединениями меди, как показано на рис. 5. Данный факт был использован при получении поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха для фильтров марки АВЕ с приоритетными требованиями по защите от органических паров и малым объемом шихты — комбинированных фильтров марки А1В1Е1Р2ФП к респиратору РУ-60М.

Динамическая активность по бензолу $Q_{C_6H_6}$ образцов поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрег-

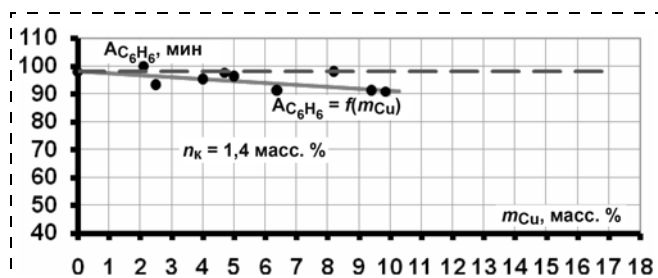


Рис. 5. Зависимость динамической активности по бензолу, отнесенной к массовой доле активного угля, $A_{C_6H_6}$ от массовой доли меди m_{Cu} в образцах поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха с содержанием калия n_K 1,4 масс. %

Таблица 1

Динамическая активность по бензолу $Q_{C_6H_6}$ образцов поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха с различным содержанием меди m_{Cu} и карбоната калия m_K

Содержание карбоната калия m_K в поглотителе, масс. %	Динамическая активность по бензолу $Q_{C_6H_6}$ поглотителя, мин, при массовой доле меди m_{Cu} , масс. %						
	—	2,1	4,0	5,0	6,4	8,2	9,4
6,0	84	83	83	86	80	82	79
7,0	83	81	81	83	78	77	77
8,0	83	81	80	82	77	76	75
9,0	83	81	78	80	75	75	74
9,5	83	81	77	79	74	74	73
11,0	82	81	76	76	73	72	72
13,0	81	79	74	70	70	70	70
14,5	80	75	71	64	61	69	69
17,0	79	65	62	63	58	62	62
20,0	75	—	—	—	—	—	—

нированного соединениями меди и калия, находится на достаточно высоком уровне. Однако, как следует из данных табл. 1, карбонат калия вместе с соединениями меди в большей степени влияет на блокирование подходов к микропорам активного угля, чем без введения этих соединений, так как динамическая активность по бензолу $Q_{C_6H_6}$ образцов поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрегнированного соединениями меди и карбонатом калия, с увеличением содержания карбоната калия m_K изменяется в большей степени, чем динамическая активность по бензолу $Q_{C_6H_6}$ поглотителя на основе этого же образца активного угля, импрегнированного только карбонатом калия.

Данные табл. 2 показывают, что динамическая активность по гидриду серы Q_{H_2S} и диоксиду серы Q_{SO_2} поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрегнированного соединениями меди, при увеличении

Таблица 2

Динамическая активность поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрегнированного соединениями меди

Динамическая активность поглотителя, мин	Массовая доля меди в поглотителе m_{Cu} , масс. %					
	2,10	4,00	6,40	8,20	9,40	8,85
$Q_{C_6H_6}$	98	91	85	91	82	82
Q_{H_2S}	69	56	64	69	75	75
Q_{SO_2}	27	26	35	32	39	34



массовой доли меди m_{Cu} в поглотителе возрастают незначительно и находятся на достаточно высоком уровне в сравнении с адсорбентом-катализатором типа КТ-1 на основе активного угля АГ-5, практически не уступая ему. Для сравнения, динамическая активность адсорбента-катализатора по бензолу $Q_{C_6H_6}$ составляет 48 мин., по гидриду серы Q_{H_2S} 70 мин., по диоксиду серы Q_{SO_2} 28 мин.

Из рис. 6 видно, что импрегнирование поглотителя, содержащего соединения меди, карбонатом калия повышает динамическую активность по гидриду серы Q_{H_2S} и диоксиду серы Q_{SO_2} . Динамическая активность по диоксиду серы Q_{SO_2} поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрегнированного соединениями меди (табл. 2) и карбонатом калия, с повышением содержания карбоната калия m_K в поглотителе возрастает в большей степени, чем поглотителя на основе этого же образца активного угля, импрегнированного только карбонатом калия при аналогичном его содержании m_K (см. рис. 3 и 6).

Таким образом, наиболее сильное влияние на динамическую активность как по гидриду серы, так и по диоксиду серы поглотителя на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха оказывает совместное содержание в поглотителе карбоната калия и соединений меди, где химическая индифферентность обеспечивается одноименными анионами CO_3^{2-} .

В ходе разработки поглотителей для поглощения ОВ и АХОВ установлено, что активный уголь из химически обработанной скорлупы ореха, по сравнению с серийно изготавливаемым активным углем АГ-5, имеет значительные преимущества еще и как носи-

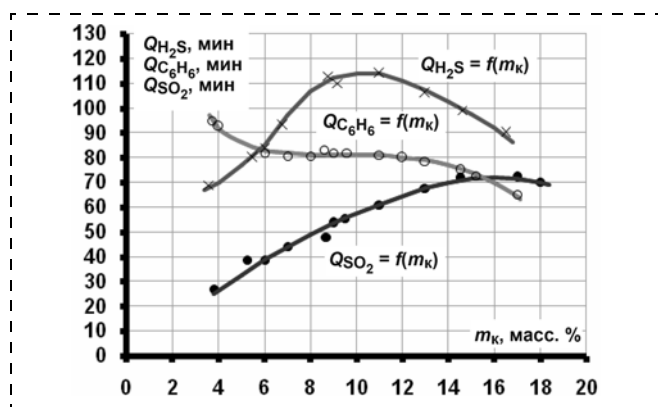


Рис. 6. Зависимость динамической активности по бензолу $Q_{C_6H_6}$, гидриду серы Q_{H_2S} , диоксиду серы Q_{SO_2} от содержания карбоната калия m_K в образце поглотителя с массовой долей меди m_{Cu} 2,1 масс. %

тель следующих каталитических добавок — соединений меди, хрома и серебра, а также триэтилендиамин или карбоната калия, так как обеспечивает более высокую динамическую активность по бензолу $Q_{C_6H_6}$, диоксиду серы Q_{SO_2} , гидриду серы Q_{H_2S} , хлорциану Q_{CLCN} . Это объясняется более развитой микропористой структурой активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, наличием в нем небольшого количества щелочных добавок и особенностями его основного строения [8].

Исследование фильтров с разработанными поглотителями

Разработанные эффективные поглотители на основе активного угля АГ-5, импрегнированного карбонатом калия (образец Е), активного угля из химически обработанной скорлупы ореха, импрегнированного карбонатом калия (образец АЕ), соединениями меди и карбонатом калия (образец АВЕ), соединениями меди, хрома, серебра, триэтилендиамином (катализатор 1), соединениями меди, хрома, серебра, карбонатом калия (катализатор 2) были исследованы в качестве шихты фильтров различных предназначений: а именно, фильтров марок Е, АЕ и АВЕ для промышленности, комбинированного фильтра марки А2В2Е2К2Р3 для промышленности, комбинированных фильтров марок А1В1Е1К1Р3 и А2В2Е2К2Р3 "двойного использования".

В качестве однокомпонентной шихты фильтров марок Е, АЕ и АВЕ в основном рассматривались следующие используемые в отечественной промышленности и за рубежом объемы поглотителей: (250 ± 10) см³, (320 ± 10) , (460 ± 10) , (610 ± 10) , (780 ± 10) см³. При этом для снаряжения новых фильтров применялись стандартные отечественные конструкции корпусов, деталей и технологии снаряжения.

На рис. 7 показано, что снаряжение фильтров образцами Е, АЕ, АВЕ, в отличие от снаряжения серийно выпускавшихся противогазовых коробок или патронов марок В и БКФ серийно изготавливаемыми адсорбентами-катализаторами при аналогичных объемах шихты, приводит к соответствию требованиям ГОСТ Р 12.4.193—99 на марку Е по одному из классов защиты или к более высокому времени защитного действия (ВЗД) по диоксиду серы.

При определении зависимостей, показанных на рис. 7, использовались данные по ВЗД противогазовых коробок, снаряженных адсорбентом-катализатором типа К-5М и поглотителем УП-4М, Всесоюзного научно-исследовательского технологического института углеродных сорбентов (ВНИТИУС, г. Пермь) [9]. При этом фильтры, снаряженные образцом Е, и фильтры, снаряженные образцом АЕ,

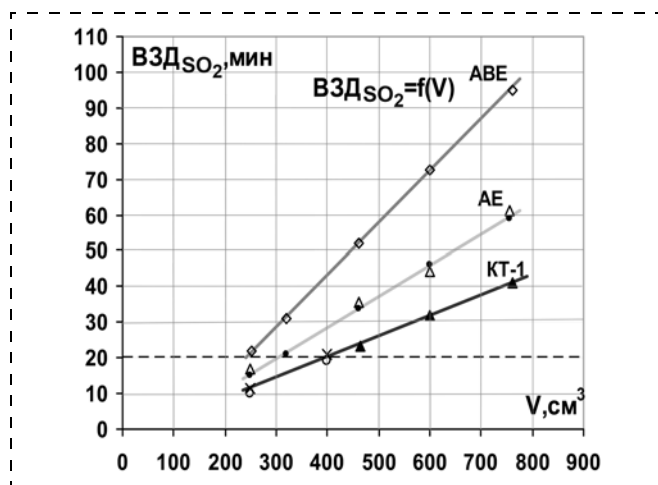


Рис. 7. Зависимость ВЗД фильтров по диоксиду серы, снаряженных образцами Е, АЕ, АВЕ, адсорбентом-катализатором типа КТ-1, адсорбентом-катализатором типа К-5М и поглотителем УП-4М, от объема поглотителя V при определении соответствия требованиям ГОСТ Р 12.4.193—99 на второй класс защиты (не менее 20 мин)

имеют аналогичное ВЗД по диоксиду серы, а фильтры, снаряженные образцом АВЕ, — повышенное. Это подтверждают результаты исследований динамической активности этих поглотителей по диоксиду серы Q_{SO_2} .

Как показано на рис. 8, фильтры, снаряженные поглотителем на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха (образцы АЕ, АВЕ), при аналогичных объемах шихты соответствуют требованиям ГОСТ Р 12.4.193—99 к фильтрам марки А по ВЗД по циклогексану уже при объеме шихты 250 см^3 , в то время как серийно выпускаемые коробки марок В и БКФ достигают этого класса защиты лишь при 500 см^3 . Это согласуется и координируется результатами испытаний по определению динамических характеристик поглотителей.

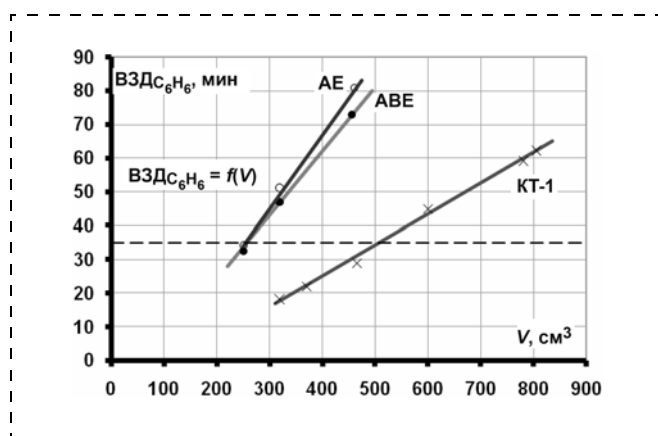


Рис. 8. Зависимость ВЗД фильтров по циклогексану, снаряженных образцами АЕ, АВЕ, адсорбентом-катализатором типа КТ-1, от объема поглотителя V при определении соответствия требованиям ГОСТ Р 12.4.193—99 на второй класс защиты (не менее 35 мин)

Выявлено, что фильтры, снаряженные образцом АВЕ, имеют наибольшее ВЗД по хлору, что обусловлено высоким объемом адсорбирующих пор используемого поглотителя по сравнению с адсорбентами-катализаторами К-5М и КТ-1, поглотителем УП-4М [9].

Установлено, что фильтры, снаряженные образцом АВЕ, имеют самое высокое ВЗД по гидриду серы и соответствуют требованиям ГОСТ Р 12.4.193—99 по этому показателю в силу того, что этот поглотитель обладает лучшими динамическими характеристиками по гидриду серы по сравнению с другими исследуемыми поглотителями.

Фильтры, снаряженные образцом АВЕ, соответствуют требованиям ГОСТ Р 12.4.193—99 по ВЗД по циану водорода и не уступают по этому показателю фильтрам, снаряженным адсорбентами-катализаторами на основе активного угля АГ-5, при аналогичных объемах шихты.

Как необходимое и достаточное условие проектирования состава шихты фильтров, обладающих повышенной степенью универсальности действия, применен принцип многофункциональной двухслойной шихты с несмешивающимися равными по объему слоями, один из которых представляет собой полифункциональный поглотитель, полученный с использованием принципа химической индифферентности, а выбор второго слоя обусловлен требованиями к степени универсальности действия СИЗОД. На основании этого принципа и требований к габаритам фильтра, некоррозионно-активности шихты, применения конструкции и объемов шихты серийно выпускавшихся противогазовых коробок, а также результатов исследований по определению объемов полифункциональных и серийно изготавливаемых поглотителей, обеспечивающих достаточно высокий запас по ВЗД на необходимый класс защиты, разработаны и обоснованы различные сочетания слоев шихты:

— для фильтра марки А2В2Е2К2Р3 как для промышленности, так и "двойного использования" должно быть сочетание слоев поглотителя Купрамит-м и образца АВЕ или катализатора 2 соответственно с объемом $(300 \pm 5) \text{ см}^3$ каждый при объеме всей шихты $(610 \pm 10) \text{ см}^3$;

— для малогабаритного фильтра марки А1В1Е1К1Р3 "двойного использования" должно быть сочетание слоев поглотителя Купрамит-м и катализатора 1 с объемом $(160 \pm 5) \text{ см}^3$ каждый при объеме всей шихты $(320 \pm 10) \text{ см}^3$;

— для малогабаритного фильтра марки А1В2Е2К1НгНОСОР3 должно быть сочетание слоев гопкалита и образца АВЕ с объемом $(200 \pm 5) \text{ см}^3$ каждый при объеме всей шихты $(400 \pm 10) \text{ см}^3$.



Заклучение

Таким образом, разработаны новые поглотители с улучшенными, по сравнению с серийно изготавливаемыми адсорбентами-катализаторами, характеристиками и фильтры, снаряженные этими поглотителями, соответствующие требованиям ГОСТ Р 12.4.193—99 и имеющие более высокое ВЗД. Снаряжение фильтров разработанными химическими поглотителями позволит уменьшить объем шихты и габариты фильтров при том же уровне ВЗД.

Список литературы

1. Кутумина Г. А. Введение // Отчет о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе по теме "Разработка конструкторской документации универсального комбинированного фильтра малого габарита" / По заказу Министерства здравоохранения и социального развития РФ в соответствии с Госконтрактом № П-5.1/05 от 01.11.2005 г. // Инв. № 0220.0 506365. — Пермь: ЗАО "Сорбент-Центр Внедрение", 2005. — С. 7—9.
2. Романов Ю. А., Лянг А. В., Глухая Э. Г. Современные СИЗОД для чрезвычайных ситуаций, выпускаемые группой предприятий "Сорбент", г. Пермь // Тезисы докладов II Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию пожарной службы Республики Беларусь (Минск, 23—25 июля 2003 г.): "Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация" / НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций

МЧС Республики Беларусь. — Часть 2. — Минск: Издательский центр БГУ, 2003. — С. 90.

3. Мухин В. М., Чебыкин В. В., Галкин Е. А., Васильев Н. П., Медяник В. С., Тамамьян А. Н. Угли активные для адсорбции газов и паров // Активные угли. Эластичные сорбенты. Катализаторы, осушители и химические поглотители на их основе: Каталог / Под общ. ред. В. М. Мухина. — М.: Издательский дом "Руда и металлы", 2003. — С. 18—55.
4. Романов Ю. А., Лянг А. В. Разработка новых углеродных сорбентов для СИЗОД. Актуальные проблемы теории адсорбционных процессов в пористых структурах / Материалы VIII Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых. — 21—25 апреля 2003 г. — Москва-Клязьма: Изд. Института физической химии РАН, 2003. — С. 111.
5. Колышкин Д. А., Михайлова К. К. Химическая природа поверхности активных углей // Активные угли. Свойства и методы испытаний: Справочник / Под общ. ред. Т. Г. Плаченова. — Ленинград: Химия Ленинградское отделение, 1972. — С. 15—17.
6. Вартапетян Р. Ш., Волощук А. М. Механизм адсорбции молекул воды на углеродных адсорбентах // Раздел 11 журнала "Успехи химии". — 1995. — № 64. — М.: Изд. журнала "Успехи химии". — С. 1055.
7. Кельцев Н. В. Активные угли // Основы адсорбционной техники / 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1984. — С. 79, 80.
8. Алесковский В. Б. Химическое строение твердых веществ // Химия твердых веществ / Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1978. — С. 64, 71.
9. Олонцев В. Ф. Оптимизация параметров шихты и фильтра ФПК малого габарита из пластмассы // Противогаз: наука и технологии / Уральское отделение Российской Академии естественных наук. — Пермь: Изд. Пермского ЦНТИ, 2003. — С. 141—145.

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ

УДК 630:576.8:632

Е. Г. Климентова, канд. биол. наук, доц., Л. К. Каменек, д-р биол. наук, проф.,
А. А. Купцова, асп., Ульяновский государственный университет
E-mail: kloushel@mail.ru

Влияние дельта-эндотоксинов *Bacillus thuringiensis* на развитие дисбактериоза в кишечнике теплокровных животных

Изучена частота распространения условно-патогенных микроорганизмов и гемолитических эшерихий в составе микробиоценозов толстой кишки мышей при дисбактериозе, обусловленном действием дельта-эндотоксинов *Bacillus thuringiensis*. Выявлено влияние применения больших доз токсинов на развитие дисбактериоза у теплокровных животных.

Ключевые слова: дельта-эндотоксины *Bacillus thuringiensis*, микрофлора кишечника, дисбактериоз

Klimenova E. G., Kamenek L. K., Kupцова A. A. Effect of delta-endotoxins of *Bacillus thuringiensis* on the development of dysbiosis in the intestines of warm-blooded animals

Studied the prevalence of opportunistic microorganisms and haemolytic Escherichia microbiocenoses in the colon of mice with dysbacteriosis due to the action of delta-endotoxins of Bacillus thuringiensis. The effect of large doses of toxins on the development of dysbiosis in warm-blooded animals.

Keywords: delta-endotoxins of *Bacillus thuringiensis*, intestinal microflora, bacteria overgrowth

Актуальность проблемы. Производство биологически полноценной и безопасной пищевой продукции включено в перечень критериев продовольственной безопасности многих стран, поэтому

применение в сельском хозяйстве альтернативных химическим пестицидам биологических препаратов и технологий биозащиты показывает быстро растущий интерес к ним как в развитых, так и развивающихся странах. Считается, что биопрепараты являются экологически чистыми и безопасными в отношении различных компонентов биоценозов, в том числе теплокровных животных и человека. Наряду с этим во многих странах ЕЭС наблюдается усиление контроля за содержанием в пище как остатков химических пестицидов, так и биопрепаратов, так как в серии независимых исследований, проводившихся в Европейских странах, было выявлено наличие в продуктах, поставляемых на рынок, токсичных компонентов микроорганизмов и превышение норм содержания допустимых биоинсектицидных препаратов.

Более 80 % всех производимых в мире биоинсектицидов выпускается на основе спор и метаболитов, в том числе параспоральных белков (Сгу-белков, дельта-эндотоксинов) различных подвигов энтомопатогенной бактерии *B. thuringiensis*. В их числе такие препараты, разрешенные к применению в России, как лепидоцид, битоксибациллин, новодор FC и форей 48 В, широко используемые в лесном и сельском хозяйстве как биоинсектициды для уничтожения насекомых-вредителей. Сгу-белки являются также компонентами трансгенных растений.

Исследованиями Damgaard и соавторов (2008) были выделены из пищевых продуктов и изучены различные штаммы *B. thuringiensis*, являющиеся компонентами биопестицидов. Обнаружено, что из 40 случайно выбранных штаммов микроорганизмов 31 штамм содержал гены, ответственные за образование энтеротоксинов, связанных с диарейными заболеваниями [7, 12].

К настоящему времени накоплено достаточно много сведений о том, что бактерии *B. thuringiensis* могут быть причиной серьезных проблем со здоровьем человека и животных. В исследованиях по оценке острой токсичности *B. thuringiensis* subsp. *israelensis* для млекопитающих, проведенных на крысах, наблюдалась 79 %-ная смертность животных после введения спор бактерии в брюшную полость или головной мозг [9].

На сайте Общества по Контролю за чрезмерным применением пестицидов сообщается об инцидентах, связанных с жалобами людей на следующие симптомы: головокружение, тошноту, рвоту, спазмы, диарею и случаи мучительного зуда после пребывания в зоне, где происходило распыление биопрепарата Форей 48В на основе *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*. Очевидно, что негативное воздей-

ствие препарата Форей 48В связано с последствиями для здоровья людей в плане значительного увеличения проблем с верхними дыхательными путями, желудочно-кишечным трактом, возникновением психоневрологических симптомов [11].

Установлено, что белки кристаллов *B. thuringiensis* способны длительно сохранять в окружающей среде свою активность, аккумулируясь в почве в результате связывания с глинистыми частицами и гумусовыми веществами или сохраняясь на листьях растений и в воде [8, 10]. Большие количества Сгу-белка и его фрагментов, содержащихся в биопестицидах или в трансгенных растениях, попадая в организмы разных животных при питании, могут существенно повлиять на симбиотические биоценозы кишечника благодаря своей антимикробной активности [5, 6] и явиться причиной развития различных болезней.

Микробиоценозы желудочно-кишечного тракта теплокровных животных и человека, куда токсические белки могут поступать вместе с пищей в настоящее время рассматриваются в качестве важной "мишени" воздействия белковых токсинов. Это может вызвать дисбиотические нарушения, приводящие к развитию разнообразных негативных последствий для организма, включая угнетение функции иммунитета, патологию желудочно-кишечного тракта и возникновение различных соматических заболеваний.

Целью исследования явилось изучить влияние дельта-эндотоксинов *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* на возникновение дисбактериоза в микробиоте толстого кишечника мышей.

В эксперименте использовали 390 белых беспородных мышей — самок, которым кристаллы дельта-эндотоксина в различных дозах вводили *per os* (перорально) вместе с пищей. Ежедневно контролировали состояние животных, поедаемость корма, поведение, состояние шерстного покрова, наличие/отсутствие диареи, прирост массы тела. На 7-е, 14-е и 28-е сутки микроорганизмы выделялись из фекалий животных и определялись с использованием классических бактериологических методик.

Результаты исследований. Известно, что микробы-симбионты, формирующие микробиологические системы организма, определяют стабильность нормальной микрофлоры животных и человека и принимают самое непосредственное участие в регуляции процессов, происходящих в организме. При наличии патологических состояний меняется состав и свойства кишечной микрофлоры, нарушаются ее функции — развивается дисбактериоз. Нарушения при дисбактериозе ки-



шечника наступают задолго до клинических проявлений, характеризуются снижением популяционного уровня или полным исчезновением некоторых облигатных представителей нормальной микрофлоры и увеличением частоты выявления условно-патогенных представителей факультативной ее части [1].

Дисбиотические признаки у животных в экспериментальной группе, которым давали раствор токсинов в дозе 100 мг/кг веса, появились уже к концу первой недели после начала эксперимента и сохранялись у некоторых особей в течение всего периода наблюдений. Так, у семи особей (13,4 %) были отмечены диарея, вздутие живота, изменение консистенции стула, запоры и т. д. Изменился и характер поведения: мыши стали "вялыми", малоподвижными, корм поедали неохотно и не полностью. К 14-м суткам после начала эксперимента у мышей отмечались подобные симптомы уже в 30 % случаях, а на 21-е сутки — в 40 %. К концу эксперимента, на 28-е сутки, число мышей с признаками заболевания составило 46,7 %, или почти половину от общего числа животных в эксперименте.

В кишечном содержимом данной группы животных наблюдалось большое количество условно-патогенных бактерий родов *Proteus spp.*, *Klebsiellae spp.*, *Citrobacter spp.*, *Morganella morganii* и *Yersinia enterocolitica*, способных вызывать многие заболевания желудочно-кишечного тракта. Также наблюдалось повышенное количество таких патогенных микроорганизмов, как золотистый стафилококк и гемолитические кишечные палочки.

Характерным признаком дисбактериоза является избыточный рост патогенных и условно-патогенных микроорганизмов в биотопе толстого кишечника. Многими исследователями доказано, что на качественный и количественный состав микрофлоры кишечника теплокровных животных и человека существенно влияют такие факторы как поступление пищевых ресурсов, состояние барьерных тканей макроорганизма, а также воздействие ксенобиотиков (в частности, антибиотиков) [2—4]. Очевидно, что основной причиной дисбактериоза у мышей при прочих равных условиях эксперимента явилось, видимо, введение животным в течение достаточно длительного времени высоких доз дельта-эндотоксинов *B. thuringiensis*.

Заключение. Таким образом, проведенное исследование позволило установить, что потребление вы-

соких доз дельта-эндотоксина *B. thuringiensis* (свыше 100 мг/кг веса животного) в течение длительного времени приводит к развитию дисбактериоза у животных, что создает предрасположенность для развития как инфекционных, так и соматических заболеваний.

Это, в свою очередь, свидетельствует о потенциальной опасности для человека и животных биопрепаратов на основе токсинов бактерии *B. thuringiensis* и необходимости строгого соблюдения доз и норм их применения.

Работа выполнена при поддержке гранта МО РФ аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009—2010 годы)" по проекту № 2.1.1/2275.

Список литературы

1. Барановский А. Ю., Кондрашин Э. А. Дисбактериоз и дисбиоз кишечника. — Санкт-Петербург: Питер, 2000. — 209 с.
2. Костюкевич О. И. Современные представления о микробиоценозе кишечника: Дисбактериоз и его коррекция // РМЖ. — 2007. — 2176. — www.rmj.ru
3. Лобзин Ю. В., Макарова В. Г., Кровякова Е. Р. Дисбактериоз кишечника (клиника, диагностика, лечение): Руководство для врачей. — СПб., 2003. 256 с.
4. Парфенов А. И., Ручкина И. Н., Осипов Г. А. Антибиотико-ассоциированная диарея // Экспер. и клин. гастроэнтерол. — 2002. — № 5. — С. 92—95.
5. Юдина Т. Г., Егоров Н. С. Антимикробная активность белковых включений различных бактерий // Доклады РАН. — 1996. — Т. 349. — № 2. — С. 283—287.
6. Cahan R., Friman H., Nitzan Y. Antibacterial activity of Cyt1Aa from *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* // Microbiology. — 2008. — 154. — P. 3529—3536.
7. Damgaard P. H., Larsen H. D., Hansen B. M., Bresciani J., Jørgensen K. Enterotoxin-producing strains of *Bacillus thuringiensis* isolated from food // Letters in Applied Microbiology Volume 23, 2008.
8. Huang Y., Huang R. and Li K. A field study of the persisting effect of *Bacillus thuringiensis* in citrus groves // Chinese J. Biological Control. — 1990. — 6 (3). — P. 131—133.
9. Oshodi, RO и P. Macnaughtan. UK. preparation: Acute inhalation toxicity study in rats. Volume 6. Danbury, CT: Novo Nordisk. 1990. (April 20.).
10. Petras, Casida SF and LE Jr. 1985. Survival of *Bacillus thuringiensis* spores in soil // Appl. Environ. Microbiol. — 50. — P. 1496—1501.
11. Valadares De Amorim G., Whittome B., Shore B., Levin D. B. Identification of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* strain HDI-Like bacteria from environmental and human samples after aerial spraying of Victoria, British Columbia, Canada, with Foray 48B // Appl Environ Microbiol. — 2001. — Mar. — 67 (3). — P. 1035—1037.
12. Интернет-ресурс www.bcn.ca/stop/part4.html.

УДК 37:331.4; 37:331.34

А. В. Маркин, препод., **Л. Э. Шварцбург**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, МГТУ "Станкин"

E-mail: markin@stankin.ru

Мультимедийное представление моделей безопасности технологической среды

Рассмотрены возможности применения современных информационных технологий для изучения вопросов обеспечения безопасности на примере мультимедийного представления моделей безопасности технологической среды и процессы мультимедийного представления моделей на основе интерактивных компьютерных тренажеров.

Ключевые слова: безопасность, показатели безопасности, информационные технологии, мультимедийное представление, компьютерный тренажер, технологическая среда

Markin A. V., Schwarzburg L. E. A multimedia presentation of security models of the technological environment

Possibilities of application of modern information technology for studying of questions of safety on an example of multimedia representation of models of safety of the technological environment are considered. Processes of multimedia representation of models on the basis of interactive computer training apparatus are considered.

Keywords: safety, safety indicators, information technology, multimedia representation, a computer training apparatus, the technological environment

Информационные технологии играют существенную роль в формировании знаний в различных отраслях промышленности. Особенно большую роль они играют в изучении вопросов, связанных с безопасностью в целом, и безопасностью производственной среды в частности. Объясняется это тем, что, в большинстве случаев, опасности, возникающие в производственной среде, не могут быть реально воспроизведены и их изучение связано с изучением поведения моделей, воспроизводящих различные опасности.

Составной частью изучения вопросов безопасности производственной среды с применением информационных технологий являются мультимедийные компьютерные интерактивные тренажеры средств обеспечения безопасности. Эти тренажеры позволяют обеспечить наглядность изучаемого материала, его информативность, повысить уровень самостоятельности освоения материала и снизить затраты на материально-техническое обеспечение лабораторной базы.

Тренажеры построены с использованием программного продукта Macromedia Flash, а также Microsoft Word, Adobe Photoshop, 3D Studio Max и Sound Forge. Такой набор программ позволил полностью реализовать все возможности мультимедиа — текстовые, графические, звуковые и анимационные. Особенностью этих тренажеров являются также низкие системные требования к компьютерной технике для их реализации, а именно: тактовая частота процессора — 2 ГГц; объем оперативной памяти — 1 ГГб; объем памяти видео карты — 256 Мб; свободное место на жестком диске — 2 ГГб; наличие оптического привода; наличие звуковой карты; наличие колонок или наушников; диагональ монитора — 17"; клавиатура и мышь. Это позволяет реализовывать интерактивные компьютерные тренажеры на доступной компьютерной технике.

Рассмотрим возможности мультимедийных систем на примере интерактивного мультимедийного компьютерного тренажера "Виброшумомер ВШВ-002-М3", разработанного на кафедре "Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности". Данный тренажер включает в себя:

- главное меню;
- окна, отражающие: назначение; технические характеристики; развернутую информацию о технических характеристиках; устройство и принцип работы с подменю конкретных систем; последовательность операций; калибровка; измерение;
- теоретическое наполнение окон;
- порядок переходов между окнами;

Главное окно тренажера представлено на рис. 1. Выбор разделов осуществляется нажатием на соответствующие пункты меню. Предложенная последовательность разделов меню, является, с точки зрения авторов, оптимальной при изучении подобных приборов, так как позволяет составить полную картину о нем.

Для навигации внизу окна предусмотрены кнопки "вперед", "назад" и "помощь". Эти кнопки позволяют обеспечить переход на последующие или предыдущие окна, а также получить справочную информацию по соответствующему разделу тренажера. Следует отметить, что аналогичные кнопки имеются в каждом окне тренажера.

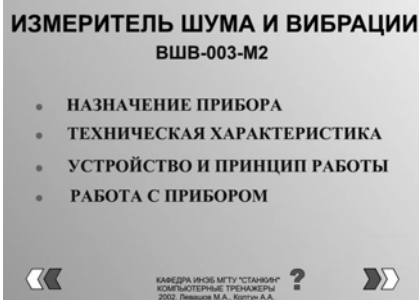


Рис. 1. Главное окно компьютерного интерактивного мультимедийного тренажера "Измеритель шума и вибрации ВШВ-003-M2"

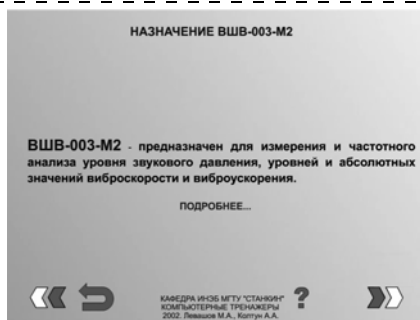


Рис. 2. Краткая и подробная информация о назначении прибора

При нажатии пункта меню "Назначение прибора" сначала появляется окно с краткими сведениями, отражающими назначение прибора. В окне имеется ссылка "подробнее", при нажатии на которую выводится полная информация о приборе (рис. 2), включающая в себя, кроме назначения, информацию о частотных характеристиках уровня звука, частотном диапазоне уровня звукового давления и октавных полос, среднеквадратические значения виброускорений и виброскоростей при измерениях в разных условиях, тип датчиков вибрации и шума, условия эксплуатации прибора и его класс точности.

Следующим пунктом меню является "Техническая характеристика" (рис. 3). Данный раздел позволяет ознакомиться с техническими характеристиками изучаемого прибора.

Кроме того, в этом окне в данном конкретном тренажере указываются характер его амплитудно-частотной характеристики, погрешности градуировки шкалы и электрические параметры прибора.

Основное внимание в методике мультимедийного представления моделей безопасности уделено разделам тренажеров, обеспечивающим понимание и освоения устройства и принципа работы прибора. Для обеспечения наглядности в тренажерах используется большое количество как иллюстрированных, так и анимированных материалов, отраженных, в частности, в окнах раздела "Устройство и принцип работы". Фрагменты окна раздела "Устройство и принцип работы" представлены на рис. 4.

Первое окно этого раздела включает в себя устройство прибора и его составных частей. В данном окне предлагается выбрать один из требуемых разделов — устройство прибора в целом, устройство микрофонного капсюля, устройство вибропреобразователя, устройство предусилителя, разводка соединительных кабелей. Выбор можно осуществлять в произвольном порядке, однако рекомендуется придерживаться предлагаемой последовательности для лучшего освоения материала. Также следует отметить, что в любой

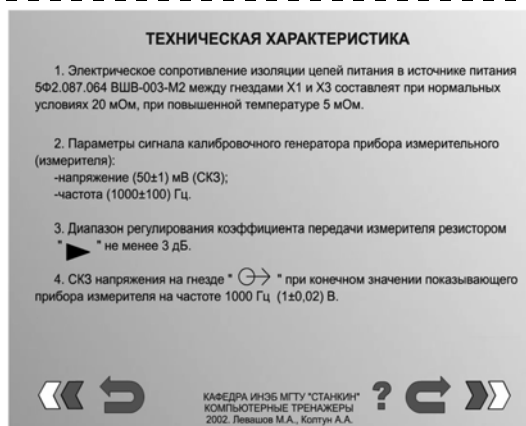


Рис. 3. Пример окна "Техническая характеристика"



Рис. 4. Окно "Устройство и принцип работы"

момент можно перейти в другой раздел, или повторно, при необходимости, изучить предыдущий.

Последующие окна этого раздела выполнены с применением анимации с всплывающей подсказкой, иллюстрирующей назначение каждого управляющего элемента.

В разработанных тренажерах реализованы, как указывалось выше, принципы интерактивности. Так, например, при наведении курсора мыши на элементы составных частей прибора появляются всплывающие подсказки с дополнительной информацией о нем. Если требуется поставить переключатель в определенное положение, нажать кнопку или соединить какие-либо части прибора, то существует возможность нажать на них левой кнопкой мыши, тем самым поставив их в нужное положение.

После изучения раздела "Устройство и принцип работы", предлагается приступить к изучению последовательности операций при подготовке прибора к работе, т. е. перейти к разделу "Работа с прибором". При переходе к этому разделу открывается окно "Последовательность операций при подготовке и работе с прибором" (рис. 5), позволяющее путем нажатия курсора выбрать одну из операций — проверка питания, калибровка для измерения звукового давления, виброускорения и виброскорости, процесс измерения этих параметров.

Перед началом измерений необходимо проверить питание прибора и выставить нулевую позицию механическим корректором на шкале прибора, а также проверить и, при необходимости, выставить требуемое положение рукояток. Далее необходимо провести калибровку эквивалента капсуля микрофона или вибропреобразователя в зависимости от необходимых измерений — уровня шума или вибрации. Калибровку измерителя необходимо проводить перед каждым измерением, а также осуществлять ее периодически в процессе работы. Для этого необходимо соединить эквивалент капсуля микрофона с предусилителем ВПМ-101 и соединить штепсель



Рис. 5. Окно "Последовательность операций при подготовке и работе с прибором"



Рис. 6. Пример Окна "Калибровка измерителя"

с эквивалентом капсуля микрофона. Аналогично следует поступить при калибровке вибропреобразователя. Пример окна, иллюстрирующего калибровку вибропреобразователя, представлен на рис. 6.

Следует еще раз подчеркнуть, что в каждом из разделов тренажер реализован в мультимедийном представлении каждой операции.

По окончании калибровки измерителя можно приступить к процессу измерения. В тренажерах этот процесс также отражается в мультимедийном режиме — подсоединение датчиков к прибору, выставление требуемого диапазона измерений, собственно процесс измерения, формирование значения измеряемой величины и др.

Разработанные мультимедийные интерактивные компьютерные тренажеры позволяют овладеть теоретическими знаниями по безопасности производственной среды, методам и средствам оценки опасностей, их устройством, принципом действия и техническими характеристиками, а также овладеть первичными знаниями по оценке безопасности.

В настоящее время на кафедре "Инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности" ГОУ ВПО МГТУ "Станкин" разработано более 10 различных интерактивных тренажеров. В разработке тренажеров активное участие принимали сотрудники кафедры "Инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности" ГОУ ВПО МГТУ "Станкин" В. А. Богданов, Н. А. Иванова, С. А. Рябов, О. В. Трышкина, А. Г. Горохов и др. Эти тренажеры прошли апробацию и успешно внедрены в учебный процесс как для студентов, так и в системе обучения, повышения квалификации и переподготовки специалистов по безопасности.

Список литературы

1. Рейнхард Роберт, Даун Сноу. Macromedia Flash MX 2004. Библия пользователя.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. — 1312 с.
2. Легейда В. В. Photoshop CS2. Настоящий самоучитель. — Киев: ВЕК+, 2006. — 528 с.
3. Джеми Кардосо, Роджер Кассон. Реалистичная архитектурная визуализация с помощью 3ds Max и Mental Ray. — М.: "МК-Пресс", 2008. — 304 с.

УДК 504.5:656:911:375

Л. Х. Бадалян, канд. техн. наук, доц., Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону
E-mail: liparit.badalyan@yandex.ru

Оптимизация характеристик транспортного потока на городской дорожной сети по минимальному экономическому ущербу экосистеме

Для снижения загрязнения атмосферного воздуха эмиссией передвижных источников предлагается метод оптимизации характеристик транспортного потока по минимальному экономическому ущербу экосистеме города. В основе исследования лежат компьютерные эксперименты на математических моделях расчета выбросов микропримесей автотранспортом.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, передвижной источник эмиссии, транспортный поток, математическая модель, компьютерный эксперимент, экономический ущерб, оптимизация

Badalyan L. K. *Optimization of the characteristics of transport flow on the urban road net on the minimum economic damage to the ecosystem*

The method of the optimization of the characteristics of transport flow on the minimum economic damage to the ecosystem of city is proposed for reduction in the pollution of atmospheric air by the emission of mobile sources. Computer experiments on the mathematical models of the calculation of the ejections of microcontaminants by motor transport lie at the basis of this study.

Keywords: atmospheric pollution, moving source of emission, traffic stream, mathematical model, computer experiment, economic damage, optimization

Исследование процесса эмиссии загрязняющих веществ автотранспортом.

Условия проведения компьютерного эксперимента

Обеспечение сохранности благоприятной окружающей среды (ОС) для комфортного проживания населения является одной из важнейших задач государства. Тем не менее, происходит непрерывное техногенное воздействие на атмосферный воздух крупных городов РФ, в большей степени обусловленное эмиссией передвижных источников (рис. 1) [8].

Ежегодный рост парка автотранспортных средств (АТС) и практически неконтролируемые выбросы

загрязняющих веществ (ЗВ) с отработавшими газами (ОГ) приводят к повышенному содержанию токсичных и канцерогенных веществ в воздушном бассейне селитебных территорий, что при отсутствии адекватной экологической политики может привести к необратимым аномалиям ОС и негативным социально-экономическим последствиям.

В условиях интенсивного антропогенеза на локальных территориях перед природоохранными службами ставится задача снижения вредного воздействия, прежде всего, автомобилей на экосистемы городов. При этом может рассматриваться достаточно широкий спектр масштабных дорогостоящих мероприятий: использование альтернативного топлива и нетрадиционных источников энергии для транспортных средств; нейтрализация ЗВ в системе выпуска ОГ техническими устройствами; принудительное вентилирование "уличных каньонов"; организация движения АТС на разных уровнях застройки по вертикали; охлаждение верхних слоев воздуха распыляемыми аэрозолями для конвективного переноса ОГ за пределы улиц; сокращение числа АТС для экологически устойчивого развития урбанизированных ландшафтов [5] и т. д.

Для выбора наилучшего варианта (или лучших вариантов) защиты ОС необходимо в деталях представлять динамику выбросов ЗВ автомобилями.

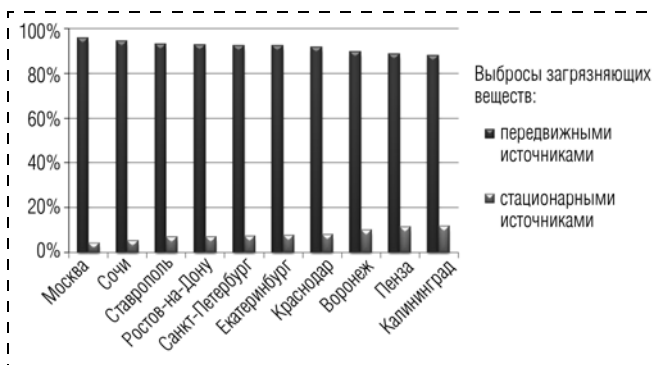


Рис. 1. Загрязнение атмосферного воздуха городов РФ стационарными и передвижными источниками в 2008 г.

Теоретические исследования автора позволили создать математическую модель процесса загрязнения атмосферного воздуха передвижными источниками и на ее основе — методику и программу расчета эмиссии микропримесей [6, 7, 11]. Вычисления свидетельствуют о том, что управлять качеством воздуха в городах можно, оперативно изменяя характеристики транспортного потока.

Определение масс выбросов ЗВ в атмосферный воздух транспортными средствами проводится в следующей последовательности.

1. Рассчитывается объемный расход ОГ как функция эффективной мощности двигателя и взаимосвязанного с ней коэффициента избытка воздуха, а также параметров, зависящих от состава топлива, горючей смеси, характеристик поршнево-цилиндровой группы.

2. Определяется концентрация микропримесей в ОГ в зависимости от эффективной мощности двигателя или коэффициента избытка воздуха.

3. Массовый расход ЗВ находится как произведение объемного расхода ОГ на концентрацию микропримеси.

4. Рассчитывается эффективная мощность двигателя на режимах работы АТС в зависимости от параметров движения (в качестве основной кинематической характеристики принята средняя скорость автомобиля).

Далее процесс загрязнения атмосферного воздуха выбросами ЗВ автотранспорта на участке дороги рассматривается с учетом следующих условий: во-первых, средняя скорость транспортного потока представлена средней гармонической скоростью автомобилей по назначению (легковых, грузовых, микроавтобусов, автобусов и т. д.) и зависит от числа единиц АТС, находящихся на участке дорожной сети (объема движения); во-вторых, учитываются состав транспортного потока и время работы двигателя АТС на режимах (холостой ход, разгон, постоянная скорость, торможение).

Детализация процесса движения передвижных источников должна способствовать повышению точности расчета выбросов токсичных и канцерогенных веществ с продуктами эмиссии транспортных средств. Однако следует признать, что целью последовательного дополнения и усложнения модели является относительно объективное отображение процесса загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта.

Для оценки работоспособности предлагаемой методики, выполненной с допущениями и аппроксимациями действительных свойств системы "источник эмиссии — атмосферный воздух уличной сети", осуществлена ее практическая апробация: проведены компьютерные эксперименты по определению масс выбросов ЗВ в зависимости от

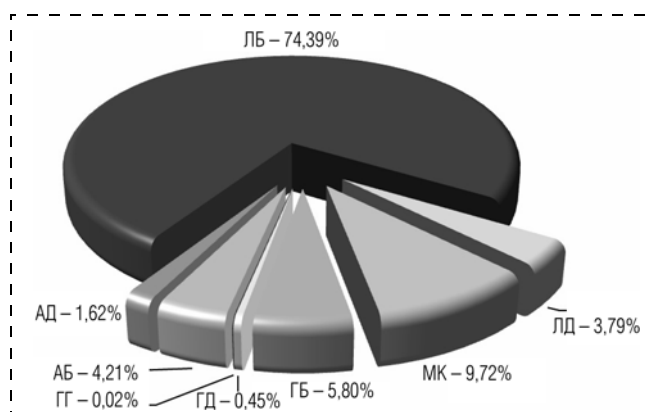


Рис. 2. Состав транспортного потока, %

Таблица 1

Время работы двигателей автомобилей на различных режимах, %

АТС по назначению	Режимы работы двигателей автомобилей			
	Холостой ход	Разгон	Постоянная скорость	Торможение
Легковые	22	37	12	29
Микроавтобусы	26	38	10	26
Грузовые	17	42	16	25
Автобусы	29	38	9	24

типа транспортного средства по назначению и виду используемого топлива, а также скорости единичного автомобиля и транспортного потока.

Эмиссия поллютантов передвижными источниками рассчитывается для участка городской дорожной магистрали длиной $L = 185,6$ м. Скорости v определялись по встраиваемым в транспортный поток АТС соответствующего назначения. Приняты следующие обозначения автомобилей: ЛБ и ЛД — легковые бензиновые и дизельные; МК — микроавтобусы (на бензине); ГБ, ГГ и ГД — грузовые бензиновые, газовые и дизельные; АБ и АД — автобусы бензиновые и дизельные. Данные о составе потока, рассчитанные на основании экспериментальных исследований и сведений ГИБДД о наличии и техническом состоянии транспортных средств, приведены на рис. 2.

Длительность работы двигателей автомобилей на режимах в условиях уличной дорожной сети показана в табл. 1.

Эмиссия автомобилей в атмосферный воздух с учетом агрессивности загрязняющих веществ

Результаты расчетов эмиссии вредных веществ АТС транспортного потока в диапазоне скоростей движения 0...12 м/с позволяют сделать вывод, что выбросы передвижных источников более чем на 95 % формируются за счет эмиссии ЗВ бензиновыми дви-



Рис. 3. Выбросы вредных веществ, % от общей массы эмиссии автомобилей на участке уличной дорожной сети

гателями преимущественно легковых АТС (рис. 3). В связи с несущественной разницей масс выбросов поллютантов, в процентах от общей массы эмиссии, при изменении средней скорости транспортного потока на рис. 3—7 без указания режима движения показана эмиссия ЗВ при $v = 7,5$ м/с.

При всем многообразии информации, получаемой в результате расчетов выбросов микропримесей передвижными источниками транспортного потока, особый интерес при оценке загрязнения атмосферного воздуха представляет эмиссия поллютантов с учетом их агрессивности. Такой подход позволяет, во-первых, по степени опасности составляющих ОГ предвидеть негативное воздействие на территорию; во-вторых, определить оптимальное число каждого из типов автомобилей по назначению и виду используемого топлива на участке уличной сети или в целом по городу, исходя из минимального загрязнения воздушного бассейна; в-третьих, в связи с постоянством состава транспортного потока в пределах статистически допустимых величин в одно и то же время суток на данном отрезке дороги [4] прогнозировать изменение условных масс эмиссии в зависимости от скорости движения автотранспорта.

Расчет условных масс поллютантов основывается на допущении, что техногенные выбросы в воздушный бассейн должны быть не выше обоснованного уровня, в качестве которого используется предельно допустимая нагрузка (ПДН) на

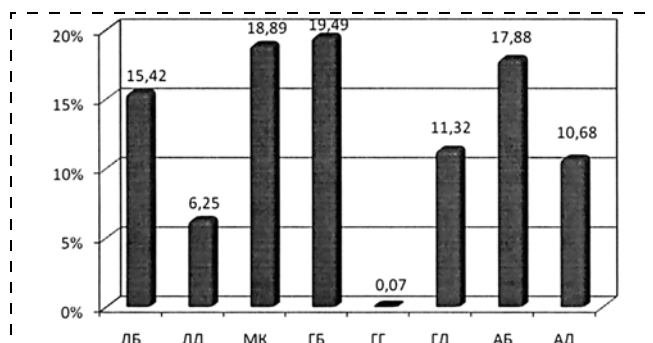


Рис. 4. Эмиссия ЗВ с учетом агрессивности, % от общей массы выбросов единичным автомобилем

экосистему одного из загрязнителей. Под ПДН понимается способность естественной природной среды (зеленые насаждения, почва, влага атмосферы и вода водоемов, органические и неорганические вещества) без вреда для себя утилизировать вредные вещества. Для экосистемы г. Ростова-на-Дону в табл. 2 приведен ряд коэффициентов относительной агрессивности микропримесей, рассчитанный для атмосферного воздуха как отношение ПДН оксида углерода (СО) к ПДН исследуемого ЗВ. Следуя логике влияния поллютантов на ОС, учтена "вредность" основного парникового газа — диоксида углерода (CO_2), воздействие которого в связи с большим количеством выбросов весьма существенно. Расчетная среднесуточная ПДК_{СО} принята равной единице [1, 2].

Условные массы эмиссии вредных веществ в атмосферный воздух определяются как произведение коэффициента относительной агрессивности ЗВ на массу его действительного (в данном случае, расчетного) выброса.

На рис. 4 эмиссия поллютантов в условных единицах массы представлена в процентах от общего выброса единичных автомобилей по назначению и виду используемого топлива, что дает возможность оценивать АТС с позиции относительной агрессивности загрязнения ОС.

Эксплуатация автомобилей, работающих на бензине, в сравнении с транспортными средствами, работающими на дизельном и газовом топливе, в усло-

Таблица 2

Степень опасности поллютантов, усл. кг/кг,
в экосистеме г. Ростова-на-Дону

Коэффициенты относительной агрессивности ЗВ									
CO_2	СО	C_nH_m	R_xCHO	SO_2	NO_2	С	ТЗ	Pb	$\text{C}_{20}\text{H}_{12}$
$13,37 \times 10^{-4}$	1	1,6	2,67	9,42	9,42	45,89	269,74	904,3	271 286

Примечание. C_nH_m — углеводороды; R_xCHO — альдегиды; SO_2 — диоксид серы; NO_2 — диоксид азота; С — сажа; ТЗ — топливная зола; Pb — соединения свинца; $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ — бенз(а)пирен.

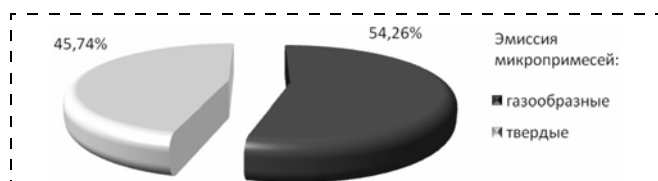


Рис. 5. Условные массы эмиссии микропримесей газообразных и дых веществ, %, автомобилями транспортного потока

виях уличной дорожной сети городов экологически нецелесообразна. Так, выбросы ЗВ карбюраторных двигателей в 1,67—2,47 раза агрессивнее эмиссии дизельных двигателей у аналогичных по назначению транспортных средств. Не противоречит действительности существующее мнение о незначительном загрязнении атмосферного воздуха продуктами сгорания газовых двигателей. Этот факт заслуживает особого внимания: перевод передвижных источников на использование газового топлива может служить резервом в снижении экологической нагрузки на экосистемы городов.

Анализ результатов численных экспериментов показывает, что около 46 % условных масс выбросов АТС составляют твердые частицы (С, ТЗ, Рb, С₂₀Н₁₂), обладающие высокой относительной агрессивностью (рис. 5). Для снижения эмиссии перечисленных выше ЗВ имеет смысл использовать методы фильтрации, позволяющие уменьшить загрязнение ОС мелкодисперсными твердыми частицами, как минимум, на 50 % при сохранении утилитарных функций пористых проницаемых материалов, препятствующих выбросу поллютантов в атмосферный воздух [3].

В действующих официальных методиках учитываются выбросы сажи (традиционно под сажой понимают твердые вещества, измеряемые анализаторами-дымомерами по оптической плотности ОГ) только дизельными автомобилями. Вряд ли уместно такое ограничение учета наиболее опасных продуктов эмиссии автотранспорта. На самом деле, наиболее значительные массы твердых частиц по-

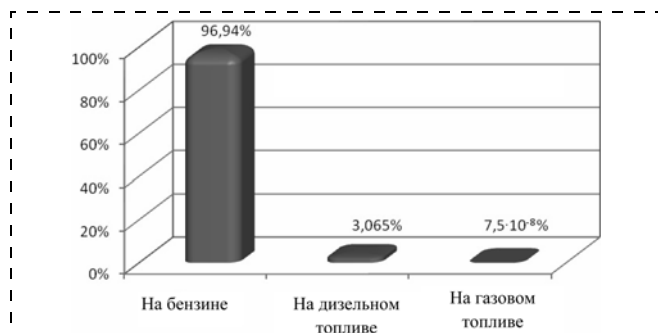


Рис. 6. Условные массы выбросов твердых мелкодисперсных ЗВ, %, двигателями автомобилей транспортного потока

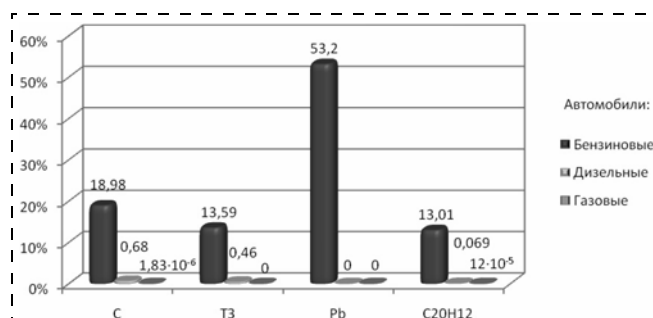


Рис. 7. Условные массы выбросов ЗВ, % от общей эмиссии твердых частиц автомобилями по виду используемого топлива

ступают в атмосферный воздух от транспортных бензиновых двигателей (рис. 6).

В методике автора [11] выбросы сажи, топливной золы, соединений свинца и бенз(а)пирена рассчитаны отдельно для бензиновых, дизельных и газовых двигателей и, судя по рис. 7, не напрасно. Неожиданным можно считать тот факт, что более половины (53,2 %) условных масс эмиссии твердых частиц с ОГ автомобилей транспортного потока приходится на соединения свинца. В уменьшении содержания тетраэтилсвинца, добавляемого в качестве антидетонационной присадки к топливу, заложен серьезный резерв снижения техногенной нагрузки на экосистемы городов.

Оптимизация скорости движения транспортного потока

Оптимальные характеристики транспортного потока следует рассчитывать, исходя из минимизации экономического ущерба экосистеме, т. е. принимая, что каждый участок уличной дорожной сети города может быть подвергнут наименьшему возможному негативному воздействию. Экономический ущерб рассчитывается как произведение условных масс эмиссии АТС на удельный экономический ущерб конкретной экосистеме [10]. Зависимость экономического ущерба природной среде от скорости транспортного потока показана на рис. 8.

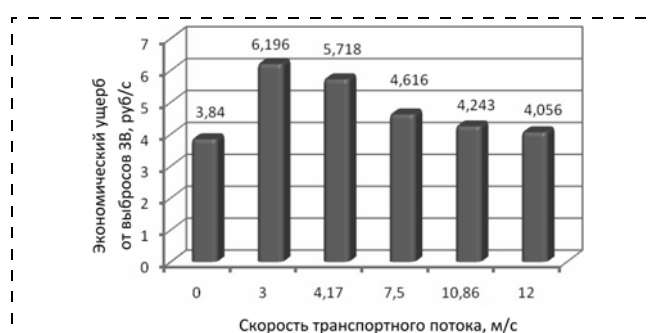


Рис. 8. Экономический ущерб от выбросов ЗВ, руб./с, в атмосферный воздух автомобилями транспортного потока на участке дорожной сети в зависимости от скорости движения



Таблица 3

Параметрические модели графических функций
экономического ущерба от выбросов ЗВ

№ п/п	Аналитические зависимости	R^2	№ фор- мулы
1	$Y_A = 0,0002v^5 - 0,0093v^4 + 0,1431v^3 - 0,9945v^2 + 2,7138v + 3,8373$	1,0	(1)
2	$Y_A = -0,002v^4 + 0,0583v^3 - 0,5881v^2 + 2,0525v + 3,8445$	0,9961	(2)
3	$Y_A = 0,0117v^3 - 0,2479v^2 + 1,3142v + 3,8933$	0,9453	(3)
4	$Y_A = -0,0444v^2 + 0,4874v + 4,2794$	0,6621	(4)

Примечание. R^2 — степень адекватности графической зависимости выбранной параметрической модели.

Увеличение экономического ущерба ОС, наносимого автотранспортом, от минимального значения (холостой ход) до максимального, более чем в полтора раза соответствует работе двигателей на неустановившемся режиме (движение с ускорением). Дальнейшее возрастание средней скорости движения АТС приводит к плавному снижению эмиссии поллютантов. Этот факт не должен вызывать сомнений: с возрастанием скорости транспортного потока увеличиваются эффективная мощность двигателя каждого автомобиля и выбросы ими вредных веществ, но число АТС и время их нахождения на отрезке дороги сокращаются (с увеличением скорости движения возрастает пространственный интервал между передвижными источниками). В результате наблюдается количественно меньшее загрязнение атмосферного воздуха поллютантами, и, следовательно, снижается экономический ущерб экосистеме.

Из множества возможных зависимостей экономического ущерба Y_A от скорости транспортного потока, которые удовлетворяют численным значе-

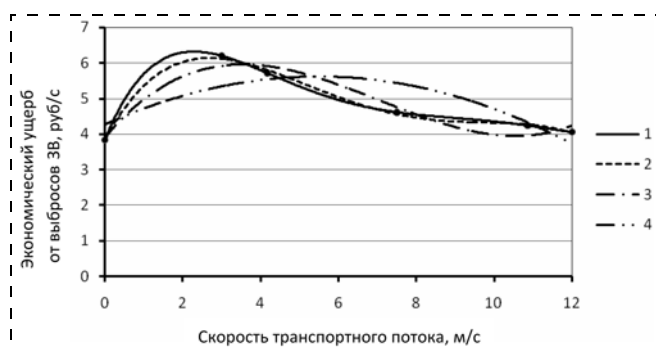


Рис. 9. Графические зависимости экономического ущерба от выбросов ЗВ, руб./с, в атмосферный воздух транспортным потоком на участке дорожной сети в зависимости от скорости движения

ниям, показанным на рис. 8, ограничимся построением на рис. 9 кривых 1—4 и аппроксимацией их в табл. 3 формулами (1)—(4). Выбор в пользу полиномиальных уравнений обоснован высокой степенью адекватности представленных графических и аналитических функций.

Найдем зависимость изменения экономического ущерба природной среде, приходящегося на средний единичный автомобиль $Y_{A.ед.}$ как отношение экономического ущерба к объему движения АТС (K_M). Расчет экономического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха средним единичным передвижным источником в зависимости от изменения объема движения на участке дорожной сети показан в табл. 4.

Объем движения на основании исследований [7] определяется

$$K_M = \left[\frac{L - d_{ср}}{h(v)} + 1 \right] z, \quad (5)$$

где $d_{ср}$ — средняя длина автомобиля, м; $h(v)$ — пространственный интервал между АТС, м; в расчетах принята зависимость $h(v) = 0,0285v^2 + 0,504v + 5,7$ [9]; v — число полос движения АТС в одном направлении; в расчетах принято $z = 3$.

Графическое отображение зависимости экономического ущерба природной среде, наносимого средним единичным автомобилем, от объема движения по расчетным данным (см. табл. 4) приведено на рис. 10.

Аппроксимирующая функция (см. рис. 10) представлена выражением

$$Y_{A.ед.} = -10^{-6} K_M^3 + 0,0002 K_M^2 - 0,0125 K_M + 0,3641 \quad (6)$$

$$(R^2 = 0,9963).$$

Минимальный объем движения, соответствующий наименьшему техногенному вреду экосистеме города, достигается при условии, когда на длину отрезка дорожной магистрали будет приходиться один пространственный интервал между автомобилями, равный $L \dots d_{ср}$. Тогда из формулы (5) $K_M = 6$ шт.,

Таблица 4

Экономический ущерб от среднего единичного автомобиля

Исследуемые параметры	Значения параметров					
	v , м/с	$h(v)$, м	K_M , м	$Y_{A.ед.}$		
	0	5,7	98,85	0,03887		
	3	7,4685	76,1532	0,08136		
	4,17	8,2973	68,8464	0,08305		
	7,5	11,0831	52,2952	0,08827		
	10,86	14,5347	40,589	0,1045		
	12	15,852	37,4654	0,1083		

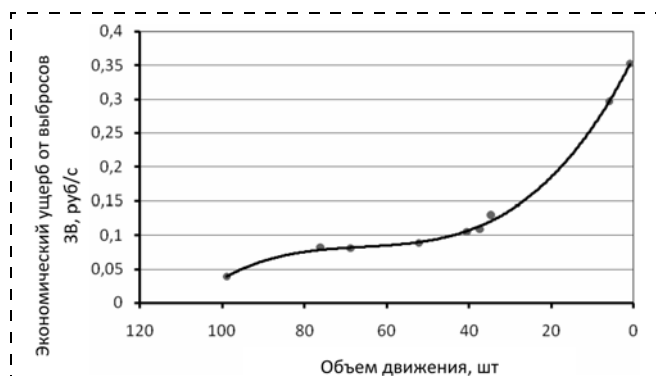


Рис. 10. Экономический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха средним единичным передвижным источником

а из выражения (6) — $Y_{\text{А.ед.}} = 0,296$ руб./с. Подставив рассчитанную минимальную величину экономического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха средним единичным автомобилем в выражения (1), (2), (4), получим интервал изменения $v = (10,79...16,44)$ м/с. Уравнение (3) для нахождения оптимальной скорости потока не имеет смысла: при $v > 12$ м/с экономический ущерб от выбросов ЗВ увеличивается, что противоречит законам логики. В приведенном выше диапазоне изменения v средняя скорость потока соответствует 13,61 м/с. Исследованиями [9] установлены близкие по значениям скорости автотранспорта 13,33...15,56 м/с, обеспечивающие максимальную интенсивность потока 1800...2000 шт./ч на полосу движения.

Располагая данными о массах выбросов микропримесей АТС, коэффициентах относительной агрессивности составляющих ОГ для конкретной экосистемы и рассчитанным на основе ПДН поллютантов на территорию удельным экономическим ущербом природной среде, можно найти экономический ущерб от эмиссии автомобилей на участке уличной сети и определить оптимальную скорость транспортного потока на конкретном звене городских дорог с точки зрения минимального экономического ущерба.

Оптимальная скорость транспортного потока, далеко не всегда достижимая на дорогах города, может стать реальностью при организации движе-

ния, приближающегося к непрерывному, на установившемся режиме работы двигателей передвижных источников на более протяженных участках уличной дорожной сети.

Работа поддерживается грантом РФФИ (11-06-00312-а).

Список литературы

1. Бадалян Л. Х. Расчет ПДК оксида углерода / Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвузовский сборник научных трудов. — Вып. 6. — Ростов н/Д: Ростовская государственная академия сельскохозяйственного машиностроения, 2002. — С. 72—74.
2. Бадалян Л. Х., Курдюков В. Н. Метод определения предельно допустимой нагрузки техногенных выбросов на экосистему территории // Проблемы региональной экологии. — 2008. — № 4. — С. 39—44.
3. Бадалян Л. Х., Курдюков В. Н. Модель процесса фильтрации отработавших газов автомобилей // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 8. — С. 23—26.
4. Бадалян Л. Х., Курдюков В. Н. Статистическая оценка результатов экспериментальных исследований характеристик транспортного потока // Инновационные технологии и процессы производства в машиностроении: Междунар. сб. науч. тр. — Ростов н/Д, 2008. — С. 203—205.
5. Бадалян Л. Х., Курдюков В. Н. Методика расчета экологически приемлемого числа автотранспортных средств для устойчивого развития территорий сельскохозяйственного пользования // Материалы международной научно-практической конференции "Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения". — Ростов н/Д: РГАСХМ ГОУ, 2009. — С. 491—492.
6. Бадалян Л. Х. Математическая модель загрязнения воздушной среды автотранспортными средствами // Автомобильная промышленность. — 2009. — № 11. — С. 14—16.
7. Бадалян Л. Х. Математическое моделирование загрязнения атмосферного воздуха потоком АТС // Автомобильная промышленность. — 2009. — № 12. — С. 29—31.
8. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2008 год / Под ред. В. Б. Миляева. — СПб.: ОАО "НИИ Атмосфера", 2009. — 139 с.
9. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением: пер. с англ. / Под ред. М. Я. Блинкина. — М.: Транспорт, 1983. — 248 с.
10. Курдюков В. Н., Бадалян Л. Х. Возмещение экономического ущерба от фактических выбросов загрязняющих веществ автотранспортом // Экология урбанизированных территорий. — 2008. — № 3. — С. 65—68.
11. Метод расчета масс выбросов загрязняющих веществ единичным автомобилем и транспортным потоком на участке дорожно-транспортной сети: программа для ЭВМ. Гос. регистрация № 2011610741 от 11.01.11 / Бадалян Л. Х., Курдюков В. Н., Лебедев А. Р. — М.: Роспатент, 2011.

Внимание — опечатка!

Редакция журнала приносит извинение за опечатку, допущенную в № 6 — 2011 года на с. 54, где в п. 6 таблицы ФИО руководителя отделения Южного федерального округа следует читать: Фролов Анатолий Васильевич.



УДК 614.876 + 574.21 + 57.045

М. Г. Нифонтова, д-р биол. наук, вед. науч. сотр., Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, **Е. В. Михеева**, канд. биол. наук, вед. науч. сотр., Уральский филиал ВНИИ ГОЧС (ФЦ), г. Екатеринбург
E-mail: vniiipurc@mail.ru

Сорбционно-активные биологические объекты как уникальные индикаторы радиоактивного загрязнения окружающей среды: оценка содержания долгоживущих искусственных радионуклидов в природных экосистемах

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в сорбционно-активных биологических объектах — мхах и лишайниках благодаря их способности к длительному депонированию радионуклидов отражает степень истинного радиоактивного загрязнения территории. Данные о содержании искусственных долгоживущих радионуклидов в мохово-лишайниковом покрове особо охраняемых природных территорий удобно и целесообразно использовать в качестве фоновых значений для оперативного и долгосрочного радиационного мониторинга.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, искусственные радионуклиды, мхи, лишайники, мониторинг

Nifontova M. G., Mikheeva E. V. Sorption-active biological objects as unique radioactive environmental contamination indicators: estimation of long-living artificial radio nuclides maintenance in natural ecosystems

The ^{137}Cs and ^{90}Sr maintenance in sorption-active biological objects — mosses and lichens reflects degree of true radioactive pollution of territory, in view of their ability to long deposition of radio nuclides. The data about the artificial long-living radio nuclides maintenance in a mosses-lichen cover of Especially Protected Natural Territories is convenient and expedient for using as background values for operative and long-term radiating monitoring.

Keywords: radioactive pollution, artificial radio nuclides, mosses, lichens, monitoring

При поступлении в окружающую среду радионуклидов в допустимых с технологической точки зрения количествах, в некоторых живых организмах происходит их накопление в концентрациях, превышающих содержание в окружающей среде. В связи с этим в качестве индикаторов радиоактивного загрязнения территорий особое значение имеют сорбционно-активные биологические виды, а именно мхи и лишайники, которым принадлежит суще-

ственная роль в формировании напочвенного растительного покрова обширных территорий, занятых таежными, тундровыми, лесотундровыми и лесными природными комплексами. Исследование уровней радиоактивного загрязнения данных объектов позволяет исключать более трудоемкие и длительные работы по анализу других компонентов экосистем с относительно низким содержанием радионуклидов и при этом получать оперативную и достоверную информацию о степени загрязнения среды. Анатомио-морфологические особенности и значительная географическая распространенность лишайников и мхов обеспечивают удобство при сборе образцов для анализа. Кроме этого, лабораторные исследования по определению в них концентрации радионуклидов не требуют значительных временных затрат.

Содержание радионуклидов в мохово-лишайниковом покрове отражает степень истинного радиоактивного загрязнения территории, так как мхи и лишайники обладают большей сорбционной способностью по сравнению с другими компонентами экосистемы.

В данной статье описана динамика уровней радионуклидов в биологических объектах с высокой сорбционной активностью — мхах и лишайниках с 60-х годов прошлого столетия до наших дней.

В 1940—1960-х гг. на специализированных полигонах планеты происходили крупномасштабные испытания ядерного оружия, явившиеся причиной глобального радиоактивного загрязнения. Максимальное выпадение ^{137}Cs , составившее 0,09...0,11 Ки/км², наблюдалось в границах 50...60° северной широты [1].

В период после описанных выпадений лишайники северных регионов СССР в тундровой, лесотундровой, таежной, лесной зонах в 1962—1966 гг. характеризовались следующими уровнями накопления радионуклидов.

- ^{90}Sr — 2...40 нКи/кг (74...1480 Бк/кг сухой массы);
- ^{137}Cs — 11...74 нКи/кг (407...2738 Бк/кг сухой массы: радиохимический метод анализа),

18...206 нКи/кг (666...7622 Бк/кг сухой массы: γ-спектрометрический метод анализа).

Концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs северных территорий зарубежья (Аляска, Гренландия, Дания, Норвегия, Швеция, Финляндия) характеризовались близкими значениями. Было установлено, что достаточно высокая концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в цепи питания лишайник — северный олень — человек на крайнем севере СССР обусловлена именно их накоплением первичным звеном — лишайниками [2]. И по настоящее время представляется весьма актуальным мониторинг содержания радионуклидов в лишайниках на территориях северных широт, где достаточно широко развито оленеводство.

К 1975—1977 гг. активность глобальных радиоактивных выпадений снизилась в среднем на 30 % по сравнению с предшествующим десятилетием. Освобождение лишайников и мхов от радиоактивных продуктов происходит в результате действия нескольких факторов: вымывания атмосферными осадками, физического распада радионуклидов, вертикальной миграции нуклидов-загрязнителей внутри организмов и от мохово-лишайникового покрова к субстрату, повреждения в результате хозяйственной деятельности человека, поедания животными.

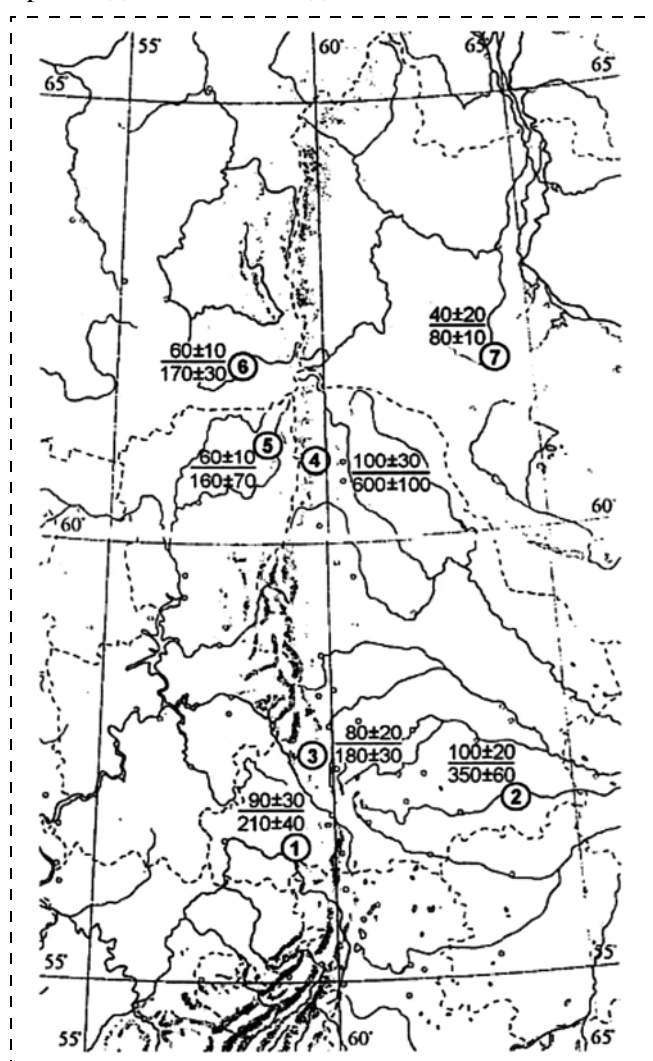
Вплоть до 1985 г. средняя концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в мхах и лишайниках из разных регионов СССР не превышала 1000...2000 Бк/кг [3, 4]. В результате аварии на Чернобыльской АЭС, произошедшей в 1986 г., на территориях аварийных выпадений радионуклидов концентрация ^{90}Sr в сорбционно-активных биологических объектах увеличилась на один-два порядка, а ^{137}Cs — на три-четыре [5].

Учитывая свойство лишайников и мхов продолжительное время депонировать накопленные радионуклиды, можно утверждать, что снижение концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в этих компонентах биоты будет происходить более медленно по сравнению с другими компонентами биоты, поэтому именно их целесообразно использовать для проведения длительного поставочного мониторинга территорий.

Далее, начиная с 1987 г., радиоактивность глобальных атмосферных выпадений, увеличившаяся в результате Чернобыльской аварии, постепенно снижалась и в течение трех лет практически возвратилась к уровням, фиксировавшимся до аварии [5]. Параллельно с этим уменьшился и уровень содержания радионуклидов в мохово-лишайниковом покрове. Установлено, что на отдельных участках Северного и Среднего Урала, попавших под воздействие радиоактивного загрязнения Чернобыльских аэральных выпадений восточного направления, в напочвенном мохово-лишайниковом покрове содержание ^{137}Cs уменьшилось до сравнимых с исходны-

ми величинами в течение шести—семи лет [6]. Однако в мохово-лишайниковом покрове горных экосистем содержание ^{137}Cs до настоящего времени остается повышенным в 3—6 раз по сравнению с доаварийными концентрациями. Более низкая скорость выведения радионуклидов для мохово-лишайникового покрова горных территорий (см. рис., п. 4) обусловлена такой его характеристикой, как высокое проективное покрытие.

Известно, что довольно значительная дестабилизация глобальных радиоактивных выпадений на территории Урала произошла в результате аварии на производственном объединении "Маяк" в 1957 г.



Уровни содержания радионуклидов (2002—2008 гг.) в мохово-лишайниковом покрове ненарушенных территорий Урала:

1 — Природный парк "Оленьи ручьи"; 2 — Национальный парк "Припышминские боры"; 3 — Висимский государственный природный биосферный заповедник; 4 — Государственный природный заповедник "Денежкин камень"; 5 — Государственный природный заповедник "Вишерский"; 6 — Печеро-Ильчский государственный природный заповедник; 7 — Государственный природный заповедник "Малая Сосьва". В цифровых обозначениях: над чертой — содержание стронция-90, под чертой — цезия-137 в мохово-лишайниковом покрове, Бк/кг



Данная авария обусловила формирование Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) [7]. В образцах мхов, собранных в непосредственной близости от эпицентра Кыштымской аварии, средняя концентрация ^{90}Sr составляла 7700 ± 800 Бк/кг, ^{137}Cs 4890 ± 560 Бк/кг. В границах центральной оси Восточно-Уральского радиоактивного следа концентрация нуклидов в моховом покрове в начале 1990-х гг. (спустя более трех десятков лет после аварии) сохранялась в широких пределах: ^{90}Sr — 460...1350 Бк/кг, ^{137}Cs — 450...1100 Бк/кг. Высокое содержание радионуклидов обусловлено радиоактивными выпадениями Кыштымской аварии, при этом ^{90}Sr являлся реперным, а повышенная концентрация ^{137}Cs в моховой растительности объясняется дополнительным его поступлением в результате ветрового переноса радиоактивного ила с береговой полосы озера Карачай, в которое производился сброс радиоактивных отходов НПО "Маяк" [8]. Для сравнения приведем данные о содержании исследуемых радионуклидов, характерные для мхов и лишайников вне пределов зоны радиоактивного следа (Каменский район Свердловской области): концентрация ^{90}Sr в моховой растительности колеблется от 80 до 270 Бк/кг, ^{137}Cs — от 90 до 330 Бк/кг [9].

За цифрами, иллюстрирующими содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в природных объектах, может скрываться совершенно реальная угроза для здоровья и жизни населения территорий, попавших под воздействие аварийных выбросов. Для зоны ВУРСа Свердловской области рассчитаны [10, 11] уровни индивидуального и популяционного радиационных рисков. Показано, что ожидаемое количество радиогенных раков для населения (303 тыс. человек), облученного в зоне ВУРСа Свердловской области в результате аварии на ПО "Маяк" в 1957 г., составит за весь последующий после аварии период для беспороговой модели 440 случаев, для пороговой — 150 случаев. Максимум заболеваемости радиогенными злокачественными новообразованиями ожидается в 2005—2015 гг. Ожидаемое количество радиационно-индуцированных раков щитовидной железы от последствий газоаэрозольных выбросов ПО "Маяк" в зоне ВУРСа составляет 340 случаев, а для территории Свердловской области вне зоны ВУРСа — 950 случаев [10, 11]. В связи с этим не вызывает сомнения необходимость длительного радиационного мониторинга территорий, пострадавших в результате аварий, а также районов, где расположены действующие предприятия ядерно-топливного цикла.

Как видно из вышеизложенного, изменение концентрации радионуклидов в лишайниках и мхах довольно четко коррелирует с динамикой глобальных аэральных радиоактивных выпадений. Дестабилизация глобальных выпадений в результате аварий со-

провождается синхронным изменением содержания радионуклидов в исследуемых тест-объектах [12].

В настоящее время содержание изучаемых радионуклидов практически не различается в тундровой, лесотундровой и таежной зонах от Полярного Урала до Северо-Востока Сибири и в основном определяется современными величинами аэральных глобальных поступлений радионуклидов.

Современный запас радионуклидов в биологических объектах с высокой сорбционной активностью — лишайниках и мхах составляет:

- в кустарничковых мохово-лишайниковых тундрах Северной субарктики для ^{90}Sr — 10...20 Бк/м², для ^{137}Cs — 30...50 Бк/м²;
- в аналогичных тундрах Южной субарктики для ^{90}Sr — 10...40 Бк/м², для ^{137}Cs — 40...60 Бк/м²;
- в лишайниковых сообществах горных тундр Северного Урала для ^{90}Sr — 40...80 Бк/м², для ^{137}Cs — 90...150 Бк/м² [4].

Информация о содержании радионуклидов, полученная в период относительной стабилизации глобальных радиоактивных выпадений, может служить основой для длительных мониторинговых и прогнозных работ.

Особый интерес при определении фоновых уровней содержания радионуклидов в среде представляют данные о загрязнении мхов и лишайников на нарушенных хозяйственной деятельностью человека территориях — особо охраняемых природных территориях (ООПТ). В этом случае мхи и лишайники представляют собой надежный и удобный тест-объект для оценки уровня радиоактивности территорий, практически не подверженных техногенному влиянию. Уровни содержания радионуклидов в мохово-лишайниковом покрове ООПТ (см. рисунок) могут быть использованы в качестве базовых (фоновых) для сравнительной оценки влияния источников техногенного радиоактивного загрязнения на окружающую среду.

При проведении мониторинговых исследований достаточно осуществить сбор материала для анализа по несложной методике, передать образцы в соответствующие лаборатории и обеспечить определение видового состава собранных образцов, спектрометрические и радиохимические анализы на содержание искусственных долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Отбор проб для анализа аэротехногенного загрязнения мохово-лишайникового покрова радиоактивными изотопами проводится на площадках 50×50 м² или 100×100 м². С каждой площадки необходимо отбирать по три пробы наиболее распространенных мхов и лишайников, представленных на площадке. Общая навеска каждой пробы должна составлять не менее 100 г сухой массы.

В заключение необходимо подчеркнуть, что исследуемые биообъекты обладают рядом уникаль-

ных качеств, позволяющих, зная исходные фоновые значения их радиоактивности, планировать и проводить мониторинг радиационного благополучия различных территорий. Мхи и лишайники способны к долговременной аккумуляции радионуклидов, поэтому при снижении со временем радиоактивности других компонентов экосистемы только сорбционно-активные биологические объекты являются индикаторами истинного радиационного благополучия территории. Представленная информация о содержании радионуклидов в сорбционно-активных биологических объектах собиралась систематически на протяжении многолетнего периода — с 1975 по 2008 гг. на обширной территории по общей стандартной методике. Она представляет собой отличную альтернативу разовым, несистематическим измерениям радиоактивности различных компонентов экосистем, проведенным другими методами. Накопленные многолетние данные о содержании искусственных долгоживущих радионуклидов в мохово-лишайниковом покрове особо охраняемых природных территорий удобно и целесообразно использовать в качестве фоновых значений для оперативного и долгосрочного радиационного мониторинга.

Список литературы

1. Израэль Ю. А., Квасникова Е. В., Назаров И. М., Стукан Е. Д. Радиоактивное загрязнение цезием-137 территории России на рубеже веков // Метеорология и гидрология. — 2000. — № 4. — С. 20—31.

2. Троицкая М. Н., Рамзаев П. В. и др. Радиоэкология ландшафтов Крайнего Севера // Современные проблемы радиобиологии. — Т. 2. Радиоэкология. — М.: Атомиздат, 1971. — С. 325—353.
3. Нифонтова М. Г., Куликов Н. В. О накоплении стронция-90 и цезия-137 лишайниками в природных условиях // Экология. — 1977. — № 3. — С. 93—96.
4. Нифонтова М. Г. Лихено- и бриоиндикация радиоактивного загрязнения среды. — Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. — Екатеринбург, 2003. — 50 с.
5. Зыкова А. С., Воронина Т. Ф. Испытания ядерного оружия в атмосфере и загрязнение окружающей среды // Радиоэкология. — 1993. — Т. 33. — Вып. 1 (14). — С. 598—602.
6. Нифонтова М. Г. Динамика содержания долгоживущих радионуклидов в мохово-лишайниковой растительности // Экология. — 1997. — № 4. — С. 273—277.
7. Израэль Ю. А., Назаров И. М., Фридман Ш. Ю. и др. Радиационная обстановка на территории европейской части СНГ и Урала в 1991 г. // Метеорология и гидрология. — 1991. — № 11. — С. 5—14.
8. Ааркрод А., Молчанова И. В., Каравасева Е. Н., Позолотина В. Н., Юшков П. И., Трапезников А. В. Долгоживущие радионуклиды в почвенно-растительном покрове зоны восточно-уральского радиоактивного следа // Атом. энергия. — 1997. — Т. 83. — Вып. 6. — С. 465—468.
9. Нифонтова М. Г. Содержание долгоживущих радионуклидов в моховом покрове зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. — 1995. — № 4. — С. 326—329.
10. Восточно-Уральский радиоактивный след. Проблемы реабилитации населения и территорий Свердловской области / В. Н. Чуканов, П. В. Волобуев, Н. А. Штинов, М. В. Жуковский и др. — Екатеринбург, ИПЭ УрО РАН, 2000. — 286 стр.
11. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона / Под ред. С. К. Шойгу. — М.: Комтехпринт, 2002. — 287 с.
12. Михеева Е. В., Нифонтова М. Г. Радиоактивное загрязнение окружающей среды: биологические объекты как источник информации для оперативного и долгосрочного мониторинга // Технологии гражданской безопасности. — 2008. — № 1—2 (15—16). — С. 179—183.

УДК 658.567.1:[665.6/.7 + 678]

И. А. Палагина, д-р техн. наук, проф., **С. В. Золотокопова**, д-р техн. наук, проф.,
С. А. Сеитова, магистр, **З. Г. Литвинова**, асп., Астраханский государственный
технический университет
E-mail: sabina-seitova@mail.ru

Совместная утилизация нефтесодержащих и полимерных отходов

Приведен обзор современных методов утилизации нефтесодержащих отходов и рассмотрена возможность их совместной утилизации с полимерными термопластичными отходами и пути использования полученного продукта.

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, нефтешламы, полимерные отходы, термопластичные полимеры, сорбенты

Palagina I. A., Zolotokopova S. V., Seitova S. A., Litvinova Z. G. Cooperative utilization of oil containing and polymeric wastes

This article include the overview of modern utilization methods of oil containing waste; the feasibility of joint recycling of oil containing and polymeric waste and ways of use of the obtained product.

Keywords: oil containing wastes, oil slime, polymeric waste, thermoplastic polymers, sorbents

Нефтяная промышленность по уровню отрицательного воздействия на окружающую среду занимает одно из первых мест среди ведущих отраслей народного хозяйства. Все компоненты биосферы в районах нефтедобычи испытывают интенсивную



техногенную нагрузку, приводящую к нарушениям равновесия в экосистемах. К основным причинам негативного воздействия нефтяных отраслей на окружающую среду следует отнести скопления нефтешламовых отходов на территориях месторождений и производственных площадках нефтеперекачивающих станций и нефтеперерабатывающих заводов.

Нефтешламы представляют собой сложные системы, состоящие из нефтепродуктов, воды и минеральной части (песок, глина, ил и т. д.), соотношение которых колеблется в очень широких пределах. Из веществ, входящих в состав нефтешламов, наибольшую опасность представляют минеральные соли и нефтепродукты.

Накопление нефтешламов, как правило, осуществляется на специально отведенных для этого площадках или в бункерах без какой-либо сортировки или классификации. В шламонакопителях происходят естественные процессы — накопление атмосферных осадков, развитие микроорганизмов, протекание окислительных и других процессов, т. е. идет самовосстановление, однако в связи с наличием большого количества солей и нефтепродуктов при общем недостатке кислорода процесс самовосстановления протекает десятки лет [1].

Выбор метода переработки и обезвреживания нефтяных шламов в основном зависит от количества содержащихся в них нефтепродуктов. В качестве основных методов используются: термические, механические, химические, физико-химические, биологические методы и захоронение отходов.

Термический метод обезвреживания нефтешламов имеет ряд недостатков, основными из которых являются сложность утилизации тепловой энергии, громоздкость оборудования, загрязнение атмосферы, так как в атмосферу выделяется большое количество экологически опасных веществ, в числе которых высокотоксичные соединения — полициклические ароматические углеводороды и диоксины, обладающие канцерогенным действием.

Биологический метод обезвреживания является наиболее экологически чистым, но область его применения ограничивается конкретными условиями применения: диапазоном активности биопрепаратов, температурой, кислотностью, толщиной нефтезагрязнения.

Химические и физико-химические методы переработки отходов являются высокоэффективными, но дорогостоящими.

Захоронение отходов не предотвращает загрязнения окружающей среды, так как содержащиеся в твердых шламах нефтепродукты вследствие подвижности и высокой проникающей способности мигрируют в почвогрунты, вызывая в них отрицательные процессы.

Наиболее эффективным и экономически целесообразным методом очистки отходов, с точки зрения

уменьшения влияния нефтесодержащих отходов на окружающую среду, является их *отвержение*. Применяемые в настоящее время методы, например, химического капсулирования при помощи извести и отвержения с использованием цемента не позволяют исключить влияния минеральных солей и гидрофильных соединений на окружающую среду.

Присутствующие в полученных материалах минеральные соли вызывают засоление почвы, а также выщелачивание грунтовых вод, поэтому использование данного продукта в дорожном хозяйстве экологически небезопасно. Поэтому актуальной является разработка такой технологии инертизации нефтешламов, при которой исключалось бы негативное воздействие минеральных солей.

Предлагаемый авторами метод инертизации нефтешламов с помощью отходов полимеров одновременно является решением проблемы утилизации данного вида отходов. Вторичная переработка полимеров в нашей стране становится все более актуальной проблемой. Количество отходов, особенно пластиковой упаковки и тары в крупных городах и промышленных центрах возрастает из года в год. Помимо этого наблюдается постоянный рост производства полимерной продукции, и соответственно, увеличивается объем отходов этого производства. Полимерные отходы не разлагаются в земле, не подвержены коррозии, занимают большие площади, выводя их из сельскохозяйственного оборота, поэтому процесс их переработки также чрезвычайно важен с экологической точки зрения [3].

Проведенные эксперименты позволяют перерабатывать и утилизировать нефтешламы с помощью термопластичных полимеров: полиэтиленрефталата, полиэтилена высокого и низкого давления, полипропилена.

Рассмотрим возможность утилизации нефтешламов путем инертизации полиэтиленом низкого давления, полиэтиленрефталатом, полипропиленом. Нефтешламы нагревались с полимерными отходами до температуры 130...230 °С, в соотношениях 1 : 1 и 1 : 5. Время расплавления полимера составило 3...5 мин, перемешивания с нефтешламом — 3...4 мин, время отвердевания — 1...2 мин. В результате проведенных экспериментов были выбраны оптимальные режимы проведения процесса для различных видов полимеров и определены качественные характеристики полученных материалов. Наиболее эффективным для инертизации нефтешлама является использование полиэтилена. При использовании процесса тепловой экструзии можно получить продукт любой формы от гранул до прочных листов. Полученный продукт обладает прочной структурой черного цвета, абсолютно инертный и не выделяющий в окружающую среду загрязняющих веществ. Его можно использовать в дорожном строительстве, при прокладке дорог, отсыпке земляных насыпей, что позволит уменьшить загрязне-

ние окружающей среды нефтью и минеральными солями. Также полученный полимер можно использовать в качестве гидроизоляционного материала и после определенной обработки в качестве сорбента.

Современная ситуация, связанная с применением сорбентов для утилизации нефтепродуктов, связана с проблемой дальнейшей утилизации загрязненного сорбента [2]. В предлагаемом авторами методе такой проблемы не возникает, так как полученный сорбент, будучи использованным для ликвидации нефтепродуктов после незначительной

температурной обработки снова может использоваться в качестве сорбента для борьбы с локальными нефтяными загрязнениями.

Список литературы

1. Мазлова Е. А., Мещеряков С. В. Проблемы утилизации нефтепродуктов и способы их переработки. — М.: Изд. Дом "Ноосфера", 2001. — 56 с.
2. Казанцев Е. А., Ремез В. П. Сорбционные материалы на носителях в технологии обработки воды // Химия и технология воды. — 1995. — Т. 17. — № 1. — С. 50–58.
3. Энциклопедия полимеров / Под. ред. В. А. Кабанова. Том 3. М.: Советская энциклопедия, 1977. — 1152 с.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 57.045

О. А. Завальцева, канд. биол. наук, доц., Ульяновский государственный университет (УГУ),
Л. В. Коновалова, асп., нач.-к хим.-аналит. лаб. науч.-исслед. технол. ин-та УГУ,
В. В. Светухин, д-р физ.-мат. наук, дир. науч.-исслед. технол. ин-та УГУ,
Ж. А. Антонова, асп., ст. преп., **М. В. Каршин**, студ., **Т. Н. Исаева**, студ., УГУ,
 E-mail: Z.Olga1979@mail.ru

Экологическое состояние почв парковых территорий в условиях городской среды на примере города Ульяновска

Определен характер влияния антропогенных факторов городской среды на экологическое состояние территорий парков. Дана оценка экологического состояния почв парков города Ульяновска. Определены некоторые физико-химические показатели почвенной среды (рН, гумус, степень засоления, обменные основания, содержание тяжелых металлов и др.).

Ключевые слова: почвы парков, экологическое состояние, антропогенное влияние

Zavaltzeva O. A., Kononova L. V., Svetuhin V. V., Antonova J. A., Karshin M. V., Isaeva T. N. Ecological condition of soils of park territories in the conditions of the city environment on the example of Ulyanovsk

Character of influence of factors of the city environment on an ecological condition of territory of parks is defined. The estimation of ecological condition soils of parks of city of Ulyanovsk is carried out. Some physical and chemical indicators of the soil environment are defined (pH, humus, degree of salinization, the exchange bases, heavy metals and others).

Keywords: soils of parks, an ecological condition, anthropogenous influence

Введение

Современные селитебные территории являются мощным фактором изменения всей природной среды не только в пределах городских границ, но и вне их. Геохимическое состояние территории определяется уровнем геохимического загрязнения депонирующих сред, одними из которых являются почвы.

Городские почвы живут и развиваются под воздействием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, но определяющим здесь становится антропогенный фактор. К тому же, в условиях городской среды происходит преобразование всех факторов почвообразования (климата, рельефа, почвообразующих пород, растительности), что непосредственно отражается на основных почвенно-диагностических показателях городских почв, таких как рН, влажность, содержание гумуса, обменных катионов и магния, легкорастворимых солей (главным образом



сульфатов и хлоридов). Следовательно, городские почвы обладают определенными специфическими свойствами, что отличает их от почв естественных.

Антропогенное поступление химических элементов в городской ландшафт приводит к изменению геохимического фона данной территории с соотношением элементов, не свойственным природным биоценозам. В городах есть территории, где существуют естественные почвы, свойства которых не столь существенно изменены деятельностью человека. К таким территориям относятся городские парки.

Парки являются неотъемлемой частью территории города, участвуют в формировании его архитектурно-планировочной структуры и представляют важнейший компонент природной среды любого урбанистического комплекса.

Роль зеленых насаждений в городах очень велика. Они несут санитарно-гигиеническую, структурно-планировочную, декоративно-художественную функции. Также парки решают в городе ряд экологических проблем. Они снижают загазованность, запыленность, шум. Но сосуществование городской среды и зеленых насаждений в силу ряда причин разного характера становится все более напряженным [1].

1. Объекты исследований

Ульяновск расположен на берегу Куйбышевского водохранилища. Волга делит город на две части — Правобережье и Левобережье, которые различаются не только своими размерами, но и происхождением, геологическим строением, ландшафтом и природными условиями. Город имеет радиально-прямоугольную планировку.

Территория города расположена в лесостепной зоне, характеризующейся чередованием лесов из широколиственных пород с открытыми степными пространствами. Климатические условия не препятствуют произрастанию широкого ассортимента древесных и кустарниковых пород.

На территории города в результате строительства и реконструкции природный ландшафт, а в частности и рельеф, нарушен, водосток зарегулирован. Часто городские территории несут на поверхности насыпной материал. Насыпной слой может представлять собой пустую породу, хвосты, вынутый при строительстве или привезенный грунт. Морфология и состав насыпного слоя отличаются от соответствующих признаков зональных почв, растительный покров искусственный и, как правило, сильно угнетен [2].

Площадь всех зеленых насаждений города 3561 га. В городе существует 12 парков. Наряду с парками в городе существуют сады, скверы и бульвары общей площадью 219,7 га.

Было изучено экологическое состояние почв некоторых парков г. Ульяновска с целью выявления характера и степени влияния на них факторов городской среды.

2. Результаты и обсуждение

Инфраструктура парков г. Ульяновска различна — от хорошо развитой до недостаточно развитой. Парки города в настоящее время испытывают значительную антропогенную нагрузку. Основными проблемами, существенно влияющими на территорию парков, а, соответственно, и на почвенный покров, являются:

- вынос плодородной земли с территории парков жителями города;
- загрязненность бытовым мусором;
- разведение костров, несмотря на запрет;
- рубка деревьев и парковка автомобилей;
- усилению антропогенной нагрузки в парке способствуют поставленные в лесной зоне кафе и шашлычные.

Экологический парк "Черное озеро"

Среди парков г. Ульяновска есть один, особенный — экологический парк "Черное озеро". А особенность его в том, что он является единственным в России природным объектом подобного ранга, который находится в центре большого города и промышленного узла. Расположен он в Засвияжском районе г. Ульяновска. Экологический парк "Черное озеро" образован в 1993 г. постановлением мэра г. Ульяновска от 22.04.93 № 536 "О создании экологического парка "Черное озеро".

По своему статусу, режиму охраны и природопользования его можно отнести к природным резерватам западноевропейского типа, где на подобных малоплощадных охраняемых территориях допускается включение видоизмененных хозяйственной деятельностью природных участков, плановое регулирование экологических процессов для восстановления природных комплексов, а также использование их в целях экологического образования по типу национальных природных парков.

Экологический парк "Черное озеро" является ключевым участком в системе городской Свияжской эколого-рекреационной зоны. Природный комплекс парка площадью 123,4 га включает пойменное старичное озеро Черное, широкий левобережный участок речной долины и акваторию реки Свияга с островами. Наиболее сохранившиеся участки поймы и само озеро Черное выделены в памятник природы регионального значения.

На территории парка были отобраны образцы почвы для проведения эколого-химического ана-

лиза. По результатам анализа эта почва имеет слабо щелочную близкую к нейтральной реакцию среды ($pH = 7,4...7,6$). Содержание гумуса составляет $\sim 4-5\%$. Почвенный поглощающий комплекс насыщен обменными основаниями ($85...90\%$). Анализ водной вытяжки почв показал, что почва является слабозасоленной, тип засоления хлоридно-сульфатный.

Анализ почв на содержание подвижных форм меди, свинца и цинка показал, что содержание свинца в почве превышает ПДК в среднем в 5 раз. На участках территории парка, наиболее приближенных к автомобильным дорогам, концентрация подвижной формы свинца превышает ПДК в 14 раз.

Концентрация подвижной формы цинка не превышала установленные нормативы во всех отобранных образцах почвы.

Содержание ионов меди в образцах почвы, отобранных во внутренних частях парка на максимальном удалении от автодорог, не превышало ПДК. На участках парка, наиболее приближенных к объектам инфраструктуры города, концентрация ионов меди превышала ПДК в 1,7–2,7 раза.

Таким образом, интенсивная антропогенная нагрузка на территорию парка "Черное озеро" отрицательно сказывается на его экологическом состоянии.

Парк "Прибрежный"

Парк "Прибрежный" располагается в Заволжском районе г. Ульяновска в микрорайоне авиастроителей на высокой террасе на берегу Куйбышевского водохранилища. Под парк в 1991 г. было отведено 44 га лесного массива, тянувшегося узкой лентой вдоль водохранилища.

Парк испытывает сильную антропогенную нагрузку. Основными проблемами, существенно влияющими на облик парка, являются: вынос плодородной земли с территории парка жителями микрорайона "Новый город"; сильная загрязненность бытовым мусором, особенно в северо-восточной части, который оставляют отдыхающие; разведение костров, которые встречаются практически по всей территории, несмотря на запрет; рубка деревьев и парковка автомобилей; появление в лесной зоне кафе и шашлычной.

Для изучения почвенного покрова территории парка было заложено два почвенных разреза под разными типами растительности. Первый разрез представлен дерново-карбонатной почвой, второй — аллювиальной.

Профиль дерново-карбонатной почвы имеет следующее морфологическое строение — $O-A_{Ca}-AB_{Ca}-B_{Ca}-BC_{Ca}-C_{Ca}$.

Профиль аллювиальной почвы имеет следующий набор генетических горизонтов: $O-A-C_1-C_2-C_3$.

Для химического анализа были отобраны образцы почвы из каждого горизонта почвенных профилей.

Верхние горизонты дерново-карбонатной почвы имеют слабо щелочную реакцию среды, увеличивающуюся вниз по профилю ($pH = 7,6...8,4$). В верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте содержание гумуса составляет $1,24\%$, т. е. исследуемая почва является слабогумусированной. Почва насыщена обменными основаниями. По типу и степени засоления почва является среднезасоленной, тип засоления — сульфатный.

Верхние горизонты аллювиальной почвы имеют слабокислую реакцию среды ($pH = 5,6...6,0$). Содержание гумуса в гумусовом горизонте составляет $3,3\%$ и резко снижается вниз по профилю. Почвенный поглощающий комплекс (совокупность органических и минеральных коллоидных частиц) средне насыщен обменными основаниями.

Парк "40-летия ВЛКСМ"

Парк "40 лет ВЛКСМ" также расположен в Заволжском районе г. Ульяновска.

Территория парка представляет собой сосново-широколиственный лес со старыми сосновыми посадками, располагающийся полосой по берегу Куйбышевского водохранилища. Парк разбит в 1958 г. и имеет площадь 88 га.

С ботанической точки зрения парк отдыха "40 лет ВЛКСМ" может рассматриваться как обедненный вариант борового сосняка на песках.

В парке были заложены два почвенных разреза и отобраны образцы для проведения физико-химического анализа.

Первый почвенный разрез был заложен под сосняком. По морфологическому строению и химическому анализу — это серая лесная почва. Профиль почвы имеет следующее морфологическое строение: $AO-A_1-A_2A_1-B-B_f-B_fC_{Fe}-C_{Fe}$. Результаты физико-химического анализа показали, что почва имеет кислую реакцию среды ($pH = 5,0...5,6$); максимальное значение гидролитической кислотности наблюдается в верхних гумусовых горизонтах ($3,4...3,75\text{ мг} \cdot \text{экв}/100\text{ г}$) и снижается вниз по профилю почвы. Степень насыщенности обменными основаниями средняя, максимальное количество кальция и магния в верхнем горизонте составляет $9,1...13,3\text{ мг} \cdot \text{экв}/100\text{ г}$ ($71...78\%$); содержание гумуса в верхнем гумусовом горизонте $5,8\%$ с резким снижением вниз по профилю. Изменения состава поглощенных катионов соответствуют изменениям содержания гумуса.



В гумусовом горизонте много кальция в результате его освобождения из растительных остатков.

Второй почвенный разрез был заложен под березняком (почва — аллювиальная дерновая) на аккумулятивной волжской террасе. Профиль почвы имеет следующее морфологическое строение — АО—А₁—С_{Fe}—С.

Реакция почвенной среды слабокислая (рН = 5,4), содержание гумуса в верхнем гумусовом горизонте 4,9 % с резким снижением вниз по профилю. Почва насыщена кальцием и магнием (75...92 %).

Парк "Молодежный"

Парк "Молодежный" располагается в Засвияжском районе г. Ульяновска и является одной из зеленых зон промышленного района города, выполняющая важную санитарную, рекреационную и эстетическую функции. В нем развита инфраструктура, способствующая культурному отдыху населения и снижению рекреационной нагрузки на природный комплекс.

Парк находится в долине реки Свияга и примыкает к Свияжской эколого-рекреационной зоне. Рельеф территории парка ровный и представляет собой водораздельное плато, вытянутое с севера на юг. В геологическом строении парка принимают участие аллювиальные и аллювиально-делювиальные отложения, подстилаемые нижнемеловыми глинами и неоген-четвертичными отложениями.

Территория парка на 69 % покрыта искусственно созданными насаждениями. Преобладающей породой в насаждениях является липа мелколистная, посадки которой перемежаются с многочисленными группами тополя душистого, березы и ясени пенсильванского.

Антропогенная деятельность часто негативно сказывается на состоянии парка. В парке проложено множество тропинок, которые в некоторых местах полностью уничтожили травянистый покров, у фонтана часто наблюдается парковка автотранспорта, посетители парка нередко разводят на его территории костры и устраивают пикники. Временами наблюдается захламленность и замусоренность территории. Находясь в одном из загрязненных промышленных районов города, парк подвергается влиянию выбросов промышленных предприятий и автотранспорта.

На территории парка обширно распространены почвы черноземного типа. Результаты физико-хи-

мического анализа показали, что почвы парка имеют слабощелочную реакцию среды (рН = 7,3...7,6), которая с глубиной увеличивается. Содержание гумуса в верхнем гумусовом горизонте среднее (4,7...5,1 %). Почвы насыщены подвижными формами кальция и магния (> 90 %). По степени засоления почвы являются слабозасоленными, тип засоления смешанный. Содержание тяжелых металлов не превышает ПДК.

По полученным ранее результатам исследования содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах г. Ульяновска можно заключить, что для территории города характерна медно-свинцово-цинковая геохимическая спецификация. А почвы парковых территорий города загрязнены подвижными формами кадмия и цинка в пределах нормы, но содержание подвижной меди на некоторых участках превышает ПДК в 1,9 раза, а свинца в 1,5—2,2 раза. Это территории парков, наиболее близко расположенные к автомобильным дорогам и промышленным предприятиям города.

Заключение

Экологическое состояние почв парковых территорий отражает современный уровень антропогенной нагрузки на природную систему города, а их мониторинг является важной задачей в оценке экологического состояния всей городской системы.

Следует помнить, что парки являются частью природного комплекса, регулирующего основные биофизические процессы, происходящие в атмосфере, в почве, и воссоздают естественные условия среды, определяющие благоприятные режимы среды обитания человека: радиационный, гидрологический, микроклиматический, газовый, микробиологический. В этом заключается санитарно-гигиеническая функция парков.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009—2010 гг. (ГК № П308 от 6.05. 2010 г.).

Список литературы

1. **Власенко В. Э.** Состояние городских парков и скверов г. Екатеринбурга как объектов ООПТ местного значения / В. Э. Власенко, С. В. Яковлева // Урбоэкология: проблемы и перспективы развития: материалы V научно-практической конференции. — Ишим: Изд-во ИГПИ им. П. П. Ершова. — 2010. — Вып. 5. — С. 59—60.
2. **Схема** территориального планирования города Ульяновска. Ульяновск, 2008.

УДК 628.396:65.02.52

С. Н. Песков, асп., Российский государственный педагогический университет им. Герцена, г. Санкт-Петербург
E-mail: serg_peskov87@mail.ru

Геоэкологическая проблема загрязнения окружающей среды твердыми бытовыми отходами на территории Пензенской области и их влияние на население

Показано, что проблема глобального загрязнения отходами производства и потребления гидросферы, литосферы и атмосферы является повсеместной и влияет на состояние здоровья населения независимо от местонахождения свалок и полигонов. Представлены основные причины загрязнения твердыми бытовыми отходами, проекты по улучшению качества природной среды путем их переработки и по снижению воздействия на население Пензенской области негативных факторов, связанных с образованием, транспортировкой и хранением отходов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, свалка, полигон, загрязнение, переработка, окружающая среда, самосознание граждан, экономическая выгода

Peskov S. N. Environmental contamination geoenvironmental problem the firm household waste on territories of the Penza region and their influence on the population

Now global pollution by production wastes and consumption of hydrosphere, a lithosphere and atmosphere is observed. The author has shown that the given problem is universal and influences a state of health of the population irrespective of a site of dumps and ranges. In article pollution principal causes by a firm household waste, projects on improvement of quality of environment by their processing and to decrease in influence of the negative factors connected with formation, transportation and storage of a waste, on the area population are presented.

Keywords: the firm household waste, a dump, range, pollution, processing, environment, consciousness of citizens, an economic gain

Актуальность темы

Проблема твердых бытовых отходов (ТБО) является остро актуальной, поскольку ее решение связано с необходимостью обеспечения нормальной жизнедеятельности населения, санитарной очистки городов, охраны окружающей среды и ре-

сурсосбережения. Самый распространенный до последнего времени способ борьбы с бытовыми отходами в Пензенской области — вывоз их на свалки, которые несут эпидемиологическую опасность и становятся мощным источником биологического загрязнения.

Во-первых, это происходит из-за того, что анаэробное разложение органических отходов сопровождается образованием взрывоопасного биогаза, который представляет угрозу для человека, вредно воздействует на растительность, отравляет воду и воздух. Более того, главный компонент биогаза — метан — признан одним из виновников возникновения парникового эффекта, разрушения озонового слоя атмосферы и прочих бед глобального характера.

Во-вторых, накопление огромного количества ТБО на не подготовленной территории приводит к просачиванию отравляющих веществ в подземные воды, происходит миграция загрязняющих элементов в поверхностные воды и заражение речных бассейнов.

В-третьих, происходит загрязнение почвенного покрова.

Таким образом, отсутствие полигонов, отвечающих санитарно-инженерным требованиям, приводит к загрязнению окружающей среды на довольно значительной территории. В общей сложности из отходов в окружающую среду попадает более ста токсичных веществ. Под полигоны для мусора на десятки лет отчуждаются громадные территории, которые можно было бы использовать с большей пользой. Чтобы обустроить полигон и содержать его на уровне современных экологических требований, необходимы значительные материальные средства. Нужен целый комплекс мер, цель которых — остановить вредное воздействие свалок на окружающую среду, в том числе на почву и подземные воды. Рекультивация всего лишь одного гектара мусорного полигона обходится сегодня в 6 млн руб. По расчетам на переполненные законсервированные свалки тратится средств в 2,3 раза больше. Велики транспортные расходы на перевозку отходов, поскольку свалки располагаются далеко от населенных пунктов.

Теоретический анализ

На территории Пензенской области расположен ряд потенциально экологически опасных промышленных и военных объектов, которые представляют серьезную угрозу для окружающей среды и населения области. Все они сосредоточены на относительно небольшом участке территории региона. Этими объектами являются: объект по хранению и уничтожению химического оружия, полигон уничтожения обычных авиационных средств поражения, который является источником поступления в окружающую природную среду различных тяжелых металлов, диоксинов и других особо опасных веществ, места прошлого уничтожения химического оружия и т. д. Важнейшим условием для охраны окружающей среды является экологически безопасное размещение отходов производства и потребления.

В области большинство городских, районных и поселковых свалок не обустроены согласно требованиям законодательства. Нередки случаи несанкционированного размещения отходов. На территории области существует порядка 100 городских, районных и поселковых свалок, большинство из которых не обустроены даже в элементарном отношении. Вследствие систематического недофинансирования строительство полигонов ТБО в районах превратилось в хронические долгострой. Стихийные неучтенные свалки построены вблизи каждого населенного пункта, кроме того, при исследовании выяснилось, что практически в каждом населенном пункте существуют не менее двух стихийных свалок [1], зачастую располагающихся в непосредственной близости к жилым строениям

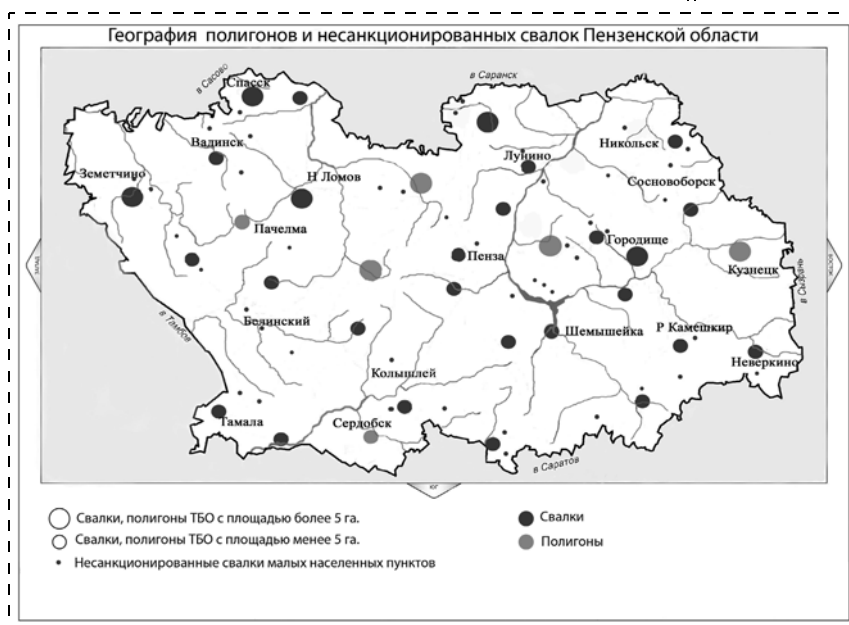
и к выходам водных источников (см. карту). Неоднократно сотрудниками милиции выявлялись случаи вывоза мусора на засеянные поля. Множество мусора сосредоточено в рекреационных местах области.

Наиболее крупными свалками в местах отдыха являются территории берегов пригородных прудов и леса. Только на одном пруду, расположенном недалеко от с. Пазелки, сосредоточено около 3 т мусора, лежащего на месте купания туристов и плавающего в воде. Аналогичная ситуация наблюдается на большинстве прудов Бессоновского, Городищенского, Лунинского, Кузнецкого, Пачелмского, Сосновоборского, Иссинского и других районов области. В лесах массовые посещения туристов привели к засорению обширной территории, что привело к изменению растительного мира и заболеванию животных. Нередко стоянки туристов располагаются вблизи родников и ручьев, вследствие чего происходит загрязнение подземных и поверхностных вод.

Нетерпимая обстановка сложилась на Пензенской городской свалке. История стихийно родившейся и позже узаконенной Пензенской свалки насчитывает около четырех десятков лет. Место под организацию свалки было выбрано экологически безграмотно: в бассейне реки Вядь и зеленой зоне Пензы. На площадке отсутствует водонепроницаемое основание, не создана соответствующая система дренирования, фильтрат поступает непосредственно в грунтовые воды. В больший период времени своего существования территория свалки площадью порядка 150 га использовалась для сжигания отходов. Сегодня эта практика строгойше запрещена и организовано послойное захоронение ТБО, но накопление происходит с большей скоростью, чем захоронение, следовательно, послойному захоронению подвержена лишь небольшая часть от всего количества ТБО, поступившего на свалку.

Еще одной проблемой является то, что в 2010 г. наблюдался засушливый период, все это привело к ежедневному возгоранию ТБО. Все эти факторы в совокупности с недобросовестным отношением к хранению отходов приводило к многократному увеличению в атмосфере продуктов сгорания. Концентрация ядовитых веществ превышала ПДК в несколько раз, а при возгорании большой свалки — в десятки раз.

Свалка по существу выполняет функцию лучшей из двух "плохих" альтернатив: лучше захоранивать централизованно, чем по так называемой "овражно-балочной" системе множе-



ственных несанкционированных свалок. В среднем на одного городского жителя в год образуется около 220 кг ТБО. Ежегодно на городскую свалку поступает как минимум 120 тыс. т ТБО. Причем в последние годы в связи с нахлынувшим потоком импортных товаров в пластиковой упаковке резко изменился качественный состав отходов. Нередко в общей массе ТБО на свалку поступают и промышленные отходы, негодные аккумуляторы и элементы питания, покрышки, промасленная ветошь и бумага, осадки очистных сооружений, шлаки, пришедшие в негодность медицинские препараты, посуда, необезвреженная тара из-под химикатов и лакокрасочной продукции, строительный мусор, лом полимерных, электротехнических изделий и т. д.

Вследствие безвыходности ситуации пока допускается прием на свалку для захоронения ТБО токсичных отходов производства 4-го класса опасности — так называемой — горелой земли литейных производств, которая способна давать ядовитый, водный фильтрат. По имеющимся данным, только за один год на свалку вывозится 88 тыс. т этих отходов [2]. Возросло количество в общем потоке отходов пришедших в негодность ртутьсодержащих приборов, в том числе перегоревших ламп дневного света, которые используются как промышленными предприятиями, так и практически всеми организациями сферы соцкультбыта, а также термометров, загрязненного стеклобоя и другой возвратной тары.

Проблема Пензенской свалки обострена тем обстоятельством, что в нарушение всех норм и правил на ее территории в разное время по отдельным решениям органов исполнительной власти более 20 предприятий г. Пензы построили здесь свои шламонакопители для хранения и токсичных отходов: скопа, отходов гальванопроизводства, нефтесодержащих, шлифовальных, лакокрасочных и других отходов производства. По действующим нормам полигон захоронения токсичных отходов должен удовлетворять по сравнению с полигоном ТБО еще более жестким требованиям по инженерно-экологической защите и иметь трехкилометровую санитарно-защитную зону. Общая емкость шламонакопителей составляет 180 000 м³ при среднем текущем наполнении до 50 % и выше. Вследствие длительного срока эксплуатации, несоблюдения требования раздельного хранения различных видов отходов, некачественного выполнения гидроизоляции и непроведения ремонтных и инженерно-защитных работ в отдельные шламонакопители проникает вода, не исключается образование вторичных загрязняющих веществ, проникновение фильтрата отходов в грунт и загрязнение атмосферного воздуха.

К сожалению, в прежние годы вопросам обеспечения экологической безопасности не придавалось должного значения. Зачастую ими просто пренебрегали. Об этом, в частности, свидетельствует история выделения в период "дачного бума" садовых участков, которые сегодня практически вплотную примыкают к территории свалки с трех сторон.

Экспериментальная часть

Для изучения влияния свалок твердых бытовых отходов совместно с ФГУ "ЦЛАТИ" было обследовано три свалки, а именно МУП "Малосердобинское ЖКХ", МУП "Кондольское МПО ЖКХ", полигон ТБО с. Чемодановка. Лабораторный анализ почвы на полигоне ТБО с. Чемодановка показал, что валовое содержание цинка составляет 1,2 ПДК, меди от 3,0 до 3,7 ПДК, марганца 1,6 ПДК. В пробах почвы на свалке МУП "Кондольское МПО ЖКХ" обнаружено превышение ПДК по марганцу от 3,1 до 6,68 раз. Концентрация тяжелых металлов в почве не превышает нормы. В пробах почвы на свалке МУП "Малосердобинское ЖКХ" обнаружено превышение ПДК по марганцу от 1,6 до 2,5 раз. На всех свалках наблюдалось повышенное содержание метана, сероводорода, диоксинов и других ядовитых загрязняющих веществ. При исследовании качественного и количественного состава свалок и изъятии образцов были созданы проекты мероприятий по снижению воздействия ТБО на окружающую среду и население:

- образование в городах схемы санитарной очистки и вывоза мусора с территории муниципального образования;
- организация цивилизованных контейнерных площадок в городских и сельских населенных пунктах;
- установление порядка сборки, вывоза и хранения или переработки мусора;
- создание мусороперерабатывающих заводов.

В настоящее время на оборудованных местах г. Пензы располагается один—два контейнера, куда сбрасывается гетерогенный мусор, который затем вывозится на свалки. Там происходит дальнейшее его хранение, зачастую сопровождающееся поджогом, а следовательно, и выбросом в атмосферу огромного количества ядовитых веществ [3, 4]. Для предотвращения таких выбросов следует устанавливать три и более контейнера для хранения различных видов отходов, что позволит высокоопасные отходы утилизировать или хранить раздельно с малоопасными [5, 6].

Важным является вопрос о сознательности граждан при утилизации бытовых отходов. В развитых европейских и азиатских странах население



сортирует отходы на ранней стадии, непосредственно после их образования, после этого происходит утилизация по разным контейнерам. Это приводит к сокращению стадии сортировки на перерабатывающих заводах, уменьшая себестоимость получаемой продукции. В наших условиях необходимо уменьшать количество некачественных контейнерных площадок, оснащать их отдельными контейнерами, производить отдельные мини-контейнеры для сортировки отходов в домашних условиях и многократно увеличить штрафы за загрязнение отходами окружающей среды.

Поскольку свалки все дальше удаляются от городов, а бесконечно плечо вывоза ТБО увеличиваться не может, актуальна проблема промышленной переработки ТБО. По оценкам специалистов, более 60 % отходов областного центра — это потенциальное вторичное сырье, которое можно переработать и с выгодой реализовать [7, 8]. Еще около 30 % — это органические отходы, которые можно превратить в компост. При исследовании качественного состава отходов выяснилось, что основную массу составляют макулатура, гофрокартон — 29 % и органическая масса — 28 %, стекломассой — 11 %, вторполимеры (ПВД, ПНД, АБС, ПА) — 8 %, текстиль — 6,5 %, металлолом черный — 5 %, полиэтиленовая тара (бутылки, тара) — 5 %, металлолом цветной — 1,5 %, балластная фракция и технологические потери — 8 %.

Так как основная масса отходов образуется в Пензе и перевозится на городскую свалку, наиболее целесообразно располагать мусороперерабатывающий завод ближе к месту хранения отходов. Для наиболее эффективной борьбы с образованием многочисленных несанкционированных свалок рекомендуется строительство мини-заводов по переработке ТБО в районных центрах области.

При создании проекта по переработке отходов необходимо руководствоваться географией их перевозки, основными местами образования и сбора, качественным и количественным их составом. После мониторинга мест образования коммунально-бытовых и производственных отходов необходимо подобрать необходимое оборудование, подходящее именно для данного региона. Нынешняя ситуация обращения с землей, стихийное загрязнение территорий разнообразными промышленными и бытовыми твердыми и жидкими отходами достигло в Пензенской области угрожающих масштабов. В связи с этим необходимо создать специальную технологию массовой очистки городов, сельских территорий, а также земельных угодий,

полей, лесозащитных полос и посадок, обочин дорог от несанкционированных свалок различного мусора. Это позволит противостоять тенденциям опасного накопления мусора, его стихийного сжигания, самовозгорания, попадания огромных количеств образующихся токсических веществ в атмосферу, почву и водоемы.

По совместным с Министерством здравоохранения по Пензенской области подсчетам выяснилось, что с помощью переработки отходов произойдет многократное уменьшение количества заболеваний, связанных с загрязнением окружающей среды среди населения, проживающего вблизи полигонов и свалок.

Заключение

Основное, что может предотвратить экологическую катастрофу — это правовые меры, подобные экологическому законодательству в других странах, наблюдение за образованием, складированием, перемещением и утилизацией отходов производства и потребления на предприятиях области [9, 10], нормирование работы коммунальных служб по вывозу твердых бытовых отходов с территорий, экологическое воспитание населения разного возраста и повышение сознательности граждан.

Список литературы

1. **Отчет** Министерства природных ресурсов Пензенской области "Об экологическом состоянии Пензенской области. — Пенза, 2009.
2. **Информационный** бюллетень о состоянии экологической обстановки в области // Изд. Областного комитета по охране природы, 2009.
3. **Эскин Н. Б., Тугов А. Н., Изюмов М. А.** Разработка и анализ различных технологий сжигания бытовых отходов / Сборник. — М.: ВТИ, 1996.
4. **Гречко А. В., Денисов В. Ф., Федоров Л. А.** Региональный характер проблемы твердых бытовых и промышленных отходов и ее решение пирометаллургическим методом // Экология и промышленность России. — 1997. — Октябрь. — С. 13–16.
5. **Мусор** — проблема физико-химическая // Наука и жизнь. — 1978. — № 7.
6. **Кикава О. Ш.** и др. Строительные материалы из отходов производства // Экология и промышленность России. — 1997. — Декабрь. — С. 23–28.
7. **Комар А. Г.** и др. Об эффективности использования жидких и твердых отходов промышленности в строительстве // Строительные материалы. — 1997. — № 1. — С. 5–6.
8. **Каплан М. Б.** и др. Переработка строительных отходов // Строительные материалы. — 1998. — № 6. — С. 10.
9. **Федеральный закон** РФ от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления".
10. **Федеральный закон** РФ от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды".

УДК 614.8.027.1:614.833.4

А. П. Бызов, асп., **С. В. Ефремов**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой,
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
E-mail: antony_by@mail.ru

Моделирование процесса формирования полей потенциального риска при авариях на опасных производственных объектах с учетом дрейфа облака топливовоздушной смеси

Анализ результатов исследования показывает необходимость учета дрейфа при образовании парогазовоздушных взрывоопасных смесей. На основе вероятностного анализа процессов миграции облака топливовоздушной смеси и его воспламенения построена математическая модель, позволяющая строить поля потенциального риска для людей при авариях, связанных с воспламенением дрейфующих облаков ТВС.

Ключевые слова: потенциальный риск, топливовоздушная смесь, авария, пожар-вспышка, дрейфующее облако

Byzov A. P., Efremov S. V. Process modeling of fields formation of potential risk at accident on dangerous industrial objects taking into account drift of cloud air-fuel mixture

The analysis of research results shows necessity of the account of drift at formation air-fuel explosive mixes. On the basis of the probability analysis of migration processes of a cloud air-fuel explosive mixes and its ignition the mathematical model is constructed. Mathematical model allows modeling fields of potential risk for people at accident with ignition of drifting clouds of air-fuel explosive mixes.

Keywords: potential risk, air-fuel mixture, accident, flash fire, drifting cloud

В настоящее время в России принят подход к оценке индивидуального риска, основанный на построении полей потенциального риска и определении параметров распределения людей на территории. Итоговое поле потенциального территориального риска складывается из суперпозиции полей потенциального риска от разных источников опасности по различным сценариям.

Как правило, при построении полей потенциального риска для аварий с образованием топливовоздушных смесей (ТВС) полагается их статич-

ность и в качестве центра облака принимается место выброса. Либо проводится детерминированная оценка полей поражающих параметров, исходя из предположения о переносе центра облака на 300 м при мгновенной разгерметизации резервуара, и 150 м при длительном истечении, что соответствует 70 % всех случаев аварий. Направление дрейфа облака ТВС принимается исходя из розы ветров данного региона или рассматривается наиболее опасный случай (направление в сторону ближайшего населенного пункта и т. п.) [1].

На рис. 1 приведено дерево событий, возможных на опасном объекте вследствие разгерметизации емкостного оборудования с легковоспламеняющейся жидкостью (ЛВЖ), построенное на основе рекомендаций, приведенных в Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [2].

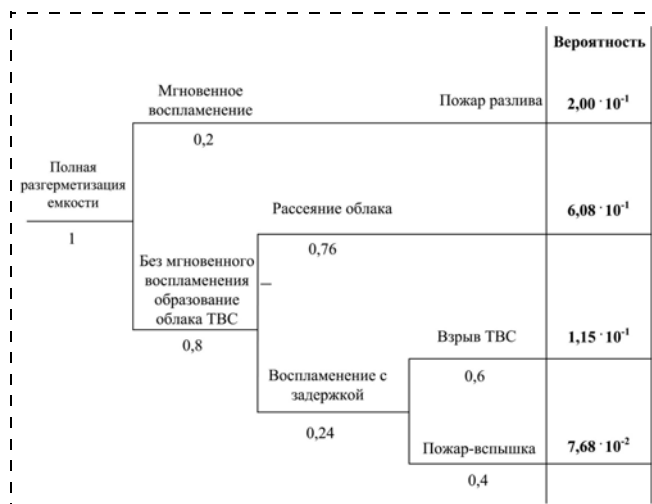


Рис. 1. Дерево событий при аварийной разгерметизации емкости с пропаном



При возникновении аварий, связанных с образованием тяжелых топливовоздушных смесей возможна миграция образовавшегося облака в направлении ветра [3, 4]. Путь миграции будет определяться направлением ветра. Воспламенение облака может произойти на любом участке миграции. Вероятность воспламенения определяется режимом пожарной безопасности на территории. Наличие открытых источников огня, электрооборудование создают дополнительную угрозу взрыва.

Сгорание облака возможно без возникновения волн давления, опасных для людей и окружающих объектов. При этом поражение наступает в результате теплового воздействия сгорающей топливовоздушной смеси. При реализации подобных событий наблюдается сгорание топливовоздушной смеси в режиме пожар-вспышка.

Плотность распределения условной вероятности $\rho_{\text{во}}$ воспламенения облака на пути миграции в зависимости от расстояния L от источника выброса облака ТВС представим в виде некой функции $\rho_{\text{во}}(L)$. Плотность распределения вероятности повторяемости направлений ветра в зависимости от направления α представим в виде некой функции $\rho_{\text{вет}}(\alpha)$.

Плотность распределения вероятности повторяемости направлений ветра может быть смоделирована с использованием линейной аппроксимации обобщенных данных по розе ветров, характерной для данной географической зоны. Исходные данные для построения зависимости могут быть представлены в следующем виде: P_i — вероятность возникновения ветра в направлении α_i , $i = 1...n$. Исходные данные, как правило, формируются для восьми основных сторон света. График плотности распределения вероятности повторяемости направлений ветра для Санкт-Петербурга представлен на рис. 2. Нулевое направление соответствует направлению ветра на восток (реализация западного ветра), 90° — ветер на север (южный ветер), 180° — восточный ветер, 270° — северный ветер.

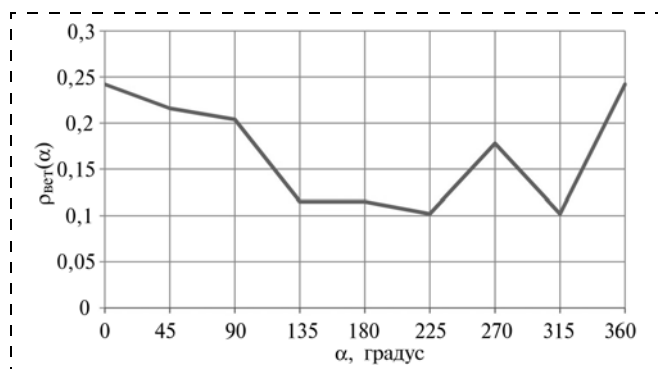


Рис. 2. Плотность распределения вероятности повторяемости направлений ветра (для Санкт-Петербурга)

Плотность распределения вероятности в узлах графика составляет:

$$\rho_i = \frac{P_i}{2\pi/n}. \quad (1)$$

Функция плотности распределения вероятности повторяемости направлений ветра будет иметь вид:

$$\rho_{\text{вет}}(\alpha) = \begin{cases} \rho_i + \frac{\rho_{i+1} - \rho_i}{\alpha_{i+1} - \alpha_i} (\alpha - \alpha_i) \\ \text{при } \alpha_i \leq \alpha < \alpha_{i+1} \text{ для } i = 1...n-1, \\ \rho_n + \frac{\rho_1 - \rho_n}{2\pi - \alpha_n} (\alpha - \alpha_n) \\ \text{при } \alpha_n \leq \alpha < 2\pi. \end{cases} \quad (2)$$

График функции распределения условной вероятности воспламенения облака в зависимости от расстояния от источника выброса облака ТВС приведен на рис. 3 [1].

Функция распределения условной вероятности воспламенения облака на пути миграции определяет вероятность события, заключающегося в воспламенении облака с задержкой на участке дрейфа облака ТВС до точки L .

$$P_{\text{во}}(L) = P(\bar{L} < L), \quad (3)$$

где $\bar{L}$ — случайные значения расстояния от точки выброса до точки воспламенения облака.

Аппроксимация графика функции распределения в диапазоне (30; 1200) дала зависимость следующего вида:

$$P_{\text{во}}(L) = 0,2 \ln(L) - 0,451; \quad (4)$$

$$\rho_{\text{во}}(L) = \frac{d}{dL} P_{\text{во}}(L) = \frac{0,2}{L}.$$

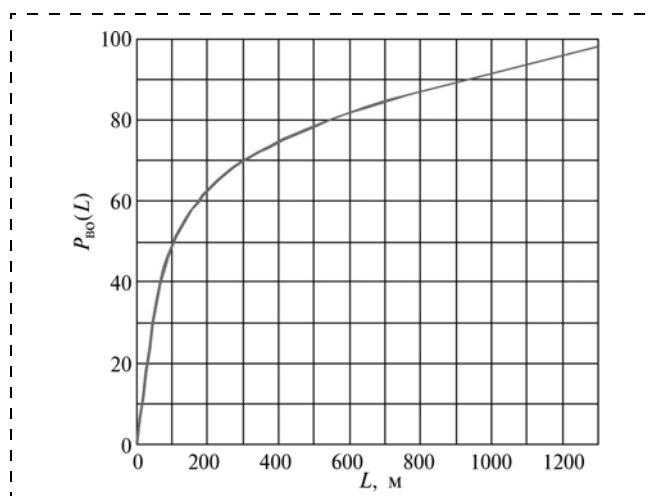


Рис. 3. График функции распределения условной вероятности воспламенения облака на пути миграции

На участках $[0; 30]$ и $[1200; L_{\max}]$ воспользуемся линейной аппроксимацией ($L_{\max}$ соответствует максимальному расстоянию, при котором может произойти воспламенение облака ТВС). Функция, соединяющая точки с координатами $(0, 0)$ и $(30, P_{\text{во}}(30))$ имеет градиент, равный $7,6 \cdot 10^{-3}$. Градиент функции $P_{\text{во}}(L)$ в точке $L = 1200$ составляет $1,7 \cdot 10^{-4}$. Линейная функция, имеющая градиент $1,7 \cdot 10^{-4}$ и проходящая через точку $(1200, P_{\text{во}}(1200))$ принимает значение равное 1 в точке $L_{\max} = 1400$. Таким образом, функция плотности распределения условной вероятности воспламенения облака на пути миграции имеет вид:

$$\rho_{\text{во}}(L) = \begin{cases} 7,6 \cdot 10^{-3} & \text{при } 0 \leq L \leq 30, \\ \frac{0,2}{L} & \text{при } 30 < L < 1200, \\ 1,7 \cdot 10^{-4} & \text{при } 1200 \leq L \leq 1400, \\ 0 & \text{при } L > 1400. \end{cases} \quad (5)$$

На рис. 4 приведена схема развития аварийной ситуации, связанной с дрейфом облака ТВС.

Основными параметрами ударной волны являются давление во фронте воздушной ударной волны и импульс волны давления. Величина избыточного давления во фронте воздушной ударной волны соответствует разности между максимальным давлением во фронте воздушной ударной волны и давлением в окружающей невозмущенной среде. Импульс волны давления характеризует динамическое воздействие взрыва.

Функции давления $\Delta P_{\text{фдр}}$ во фронте воздушной ударной волны и импульса волны давления $I_{\text{др}}$ с учетом дрейфа облака в зависимости от места возникновения источника зажигания и направления ветра имеют вид:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{фдр}}(r, \varphi, L, \alpha) &= \Delta P_f[R(r, \varphi, L, \alpha)], \\ I_{\text{др}}(r, \varphi, L, \alpha) &= I[R(r, \varphi, L, \alpha)], \end{aligned} \quad (6)$$

$$R(r, \varphi, L, \alpha) = \sqrt{r^2 + L^2 - 2rL \cos(\varphi - \alpha)},$$

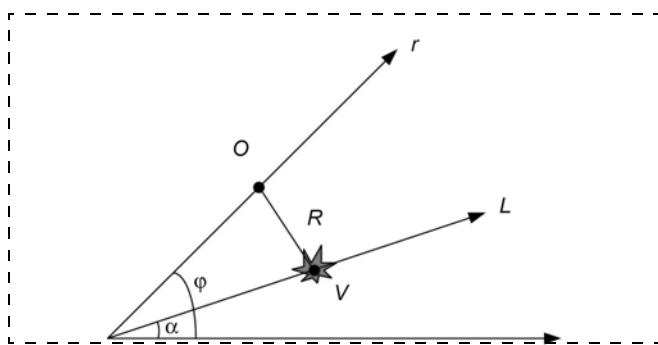


Рис. 4. Схема развития аварийной ситуации, связанной с дрейфом облака ТВС

где r, φ — полярные координаты точки O , в которой определяется величина поражающего параметра; L — расстояние от точки выброса до точки воспламенения облака; α — угол между направлением на восток и направлением ветра; $\Delta P_f(R), I(R)$ — зависимость величины давления во фронте воздушной ударной волны и импульса волны давления от расстояния от центра облака ТВС при его взрыве, рассчитываемые по имеющимся методикам [2, 5].

При построении функций давления во фронте воздушной ударной волны и импульса волны давления полагается, что в процессе миграции масса горючего в облаке топливовоздушной смеси остается неизменной.

Выражения для пробит-функции $\text{Pr}(r, \varphi, L, \alpha)$ и вероятности поражения человека воздушной ударной волной $P(r, \varphi, L, \alpha)$ имеют вид [5]:

$$\begin{aligned} \text{Pr}(r, \varphi, L, \alpha) &= \\ &= 5 - 0,26 \ln \left(\left(\frac{17500}{\Delta P_{\text{фдр}}(r, \varphi, L, \alpha)} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I_{\text{др}}(r, \varphi, L, \alpha)} \right)^{9,3} \right); \end{aligned} \quad (7)$$

$$P(r, \varphi, L, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}(r, \varphi, L, \alpha) - 5} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Величина потенциального риска в точке с полярными координатами (r, φ) при учете дрейфа облака будет иметь вид:

$$\begin{aligned} R_{\Pi}(r, \varphi) &= \\ &= \int_0^{2\pi} \int_0^{1400} P_{\text{взр}} P(r, \varphi, L, \alpha) \rho_{\text{вет}}(\varphi) \rho_{\text{во}}(L) dL d\alpha, \end{aligned} \quad (8)$$

где $P_{\text{взр}}$ — вероятность реализации сценария, связанного с образованием облака и его последующим взрывом.

На рис. 5 приведено сравнение полей вероятности поражения человека, построенных исходя из предположения о статичности облака и его взрыве в месте выброса (кривая 2) и по изложенному методу (кривая 1) в полярных координатах.

На рис. 6 приведены изолинии потенциального риска при аварийных ситуациях, связанных с возникновением воздушной ударной волны при взрыве ТВС с участием 1000 кг и 100 кг пропана соответственно с учетом дрейфа облака для Санкт-Петербурга. Источник выброса расположен в точке с координатами $(0, 0)$.

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаровспышке R_F определяется следующей формулой [2]:

$$R_F = 1,2 R_{\text{НКПР}}, \quad (9)$$

где $R_{\text{НКПР}}$ — радиус, ограничивающий область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР).

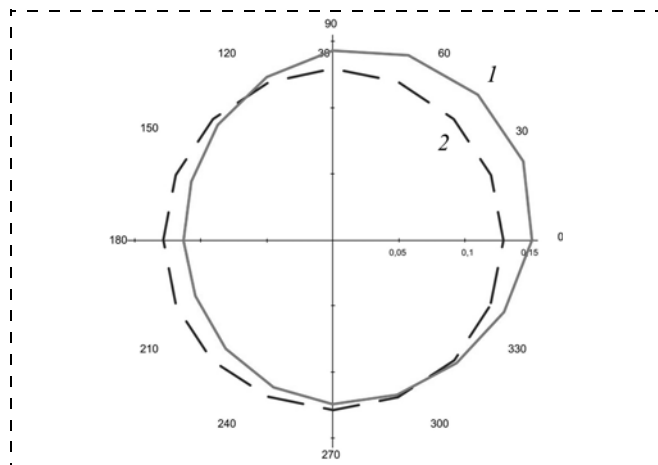


Рис. 5. Вид полей вероятности поражения человека

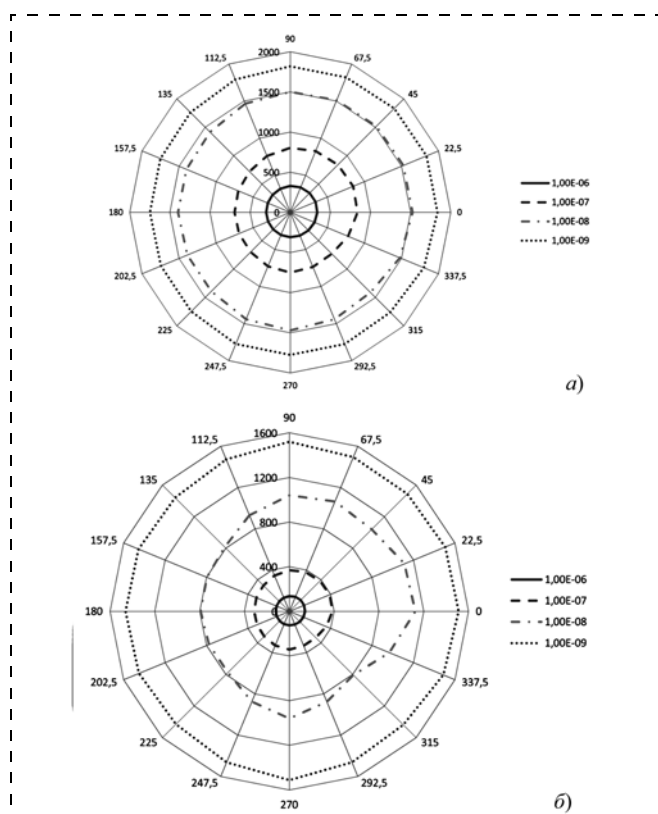


Рис. 6. Изолинии потенциального риска при аварийной ситуации, связанной с возникновением воздушной ударной волны при взрыве ТВС с участием 1000 кг (а) и 100 (б) кг пропана с учетом дрейфа облака

Радиус $R_{\text{НКПР}}$, м, для паров ЛВЖ при неподвижной воздушной среде определяется по формуле [2]:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} C_{\text{НКПР}}} \right), \quad (10)$$

где $m_{\text{п}}$ — масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время испарения, кг; $\rho_{\text{п}}$ — плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа; $C_{\text{НКПР}}$

— нижний концентрационный предел распространения пламени паров, % об.

Поле поражения моделируется окружностью, в пределах которой наблюдается безусловное поражение человека.

Вероятность поражения человека $P_{\text{пв}}$, расположенного в точке O (см. рис. 4), при реализации направления ветра α составляет:

$$P_{\text{пв}}(R) = \begin{cases} 1, & \text{если } R \leq R_F; \\ 0, & \text{если } R > R_F; \end{cases}$$

$$R(r, \varphi, L, \alpha) = \sqrt{r^2 + L^2 - 2rL \cos(\varphi - \alpha)}; \quad (11)$$

$$P(r, \varphi, L, \alpha) = P_{\text{пв}}(R(r, \varphi, L, \alpha)).$$

Величина потенциального риска в точке с полярными координатами (r, φ) при учете дрейфа облака будет иметь вид:

$$R_{\text{п}}(r, \varphi) =$$

$$= \int_0^{2\pi} \int_0^{1400} P_{\text{пф}} P(r, \varphi, L, \alpha) \rho_{\text{вет}}(\varphi) \rho_{\text{во}}(L) dL d\alpha, \quad (12)$$

где $P_{\text{п}}$ — вероятность реализации сценария, связанного с образованием облака и его последующим сгоранием без образования волн давления.

Выводы

При образовании облаков ТВС в открытом пространстве возможна их миграция по направлению ветра. Плотность распределения вероятности повторяемости направления ветра определяется розой ветров для конкретного региона.

Полученные аппроксимации плотности распределения вероятности повторяемости направления ветра и плотности распределения условной вероятности воспламенения облака на пути миграции корректно описывают процессы миграции облака.

Описанные математические модели позволяют строить поля потенциального риска для аварий, связанных с образованием, дрейфом облаков топливовоздушных смесей и их последующим сгоранием с образованием воздушной ударной волны или по модели "пожар-вспышка".

Список литературы

1. Методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах / О. В. Бодриков, А. Н. Елохин, Б. В. Рязанцев и др. — М.: МЧС России, 1994.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденная приказом МЧС РФ от 10.07.2009 № 404.
3. Ларионов В. И., Акатьев В. А., Александров А. А. Риск аварий на автозаправочных станциях // Безопасность труда в промышленности. — 2004. — № 2. — С. 44–48.
4. Ларионов В. И., Акатьев В. А., Александров А. А. Риск аварий на автозаправочных станциях / В. Ф. Мартынюк // Безопасность труда в промышленности. — 2004. — № 11. — С. 42–49.
5. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 № 182.

УДК 624.0

Д. Ю. Грязнев, науч. сотр. Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций (НОЦ ИЭС) МГТУ им. Н. Э. Баумана
E-mail: akatiev07@mail.ru

Аэровизуальный мониторинг технического состояния магистрального нефтепровода, подверженного воздействию экзогенных геологических процессов

Опыт эксплуатации магистральных нефтепроводов в условиях вечной мерзлоты и опасных экзогенных геологических процессов потребовал серьезно заниматься проблемой обеспечения их безопасности. Для целей прогнозирования риска необходима информация о состоянии и динамики изменения ландшафтов трассы нефтепровода. Такая информация может быть получена в результате аэровизуального мониторинга. На объектах трубопроводной системы "Восточная Сибирь — Тихий океан" (ВСТО) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации специалистами МГТУ им. Н. Э. Баумана было проведено аэровизуальное обследование, в статье обоснованы его параметры и возможности.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, авария с проливом нефти, риск, мониторинг, аэровизуальное обследование, многолетняя мерзлота, карст, экзогенные геологические процессы

Gryaznev D. Y. *Aerovisual monitoring of the technical condition of the main oil pipeline subject to exogenous geological processes*

Operating experience of the main oil pipelines in the face of the everfrost and dangerous exogenous geological processes has required to address seriously the problem of ensuring their safety. The information about the condition and dynamics of landscape changes of the oil pipeline route is necessary for the risk forecasting. Such information can be received as a result of the aerovisual monitoring. The specialists from the Moscow State Technical University n. a. N. E. Bauman (MSTU) conducted the aerovisual survey and grounded its possibilities at the transport system "East Siberia — Pacific Ocean" with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Keywords: the main oil pipeline, failure with oil passage, risk, monitoring, aerovisual inspection, a long-term frozen ground, a karst, exogenous geological processes

Современный магистральный нефтепровод (МН) является уникальным сооружением, характеризующимся значительной протяженностью (1000 км и более), большим диаметром (1000 мм и более), высокой производительностью (25 млн т нефти в год и более).

Магистральный нефтепровод может включать в себя участки пересечения водотоков, тектонических

разломов, зон сейсмической активности, и располагаться на подтапливаемой или заболоченной территории, в условиях воздействия экстремально низких температур, многолетней мерзлоты, карстовых образований, овражно-балочной эрозии. Под воздействием опасных процессов опорная система вокруг МН изменяет свои формы, размеры и положение, увеличивая риски от аварий при эксплуатации МН.

В состав МН входят и площадные объекты, в первую очередь нефтеперекачивающие станции (НПС) и резервуарные парки (РП). Статистика эксплуатации МН свидетельствует о том, что частота его аварийной разгерметизации велика, например, в условиях европейской части России на 1000 км трассы каждые 3 года в среднем происходит одна разгерметизация с выбросом нефти в окружающую среду.

Большие диаметры и протяженности нефтепроводов, прокладываемых в регионах с экзогенными воздействиями, привели к увеличению объемов и частот возможных аварийных проливов нефти. Одновременно указанные масштабные последствия требуют увеличения сроков ликвидации аварии. В такой ситуации для прогнозирования рисков от аварий необходима информация не только о состоянии внутренней поверхности трубопровода, которую получают с помощью внутреннего диагностического обследования, но и аэровизуальный мониторинг внешнего состояния участка трассы МН.

Для повышения устойчивости работы МН требуется комплексный контроль (мониторинг) технического состояния функционирующего МН. Полученная в результате такого контроля информация обеспечивает возможность прогнозирования риска и управления безопасностью МН.

Одним из наиболее сложных и уникальных с точки зрения расположения и протяженности объектов, является магистральный нефтепровод "Восточная Сибирь — Тихий океан" (ВСТО). Применительно к МН ВСТО были обоснованы возможности и параметры аэровизуального обследования. Целью аэровизуального обследования является уточнение границ зон со сложными геологическими условиями, зафиксированных на этапе проектирования и строительства трубопровода, а также выявление новых участков развития опасных экзогенных геологических процессов.

Основные задачи аэровизуального обследования: на этапе полевых работ — визуальное обнаружение опасных геологических процессов с борта верто-



лета, их классификация и фотографирование при попадании границ опасности в пределы зоны влияния МН ВСТО;

на этапе камеральных работ — выполнение координатной привязки фотографий, их дешифрирование и зонирование территории по уровню геологической опасности.

В качестве исходных данных для аэровизуального обследования использовались картографические материалы, фрагменты которых даны на рис. 1—3.

Фрагмент топографической карты масштаба 1 : 100 000 издания Военно-топографического управления (ВТУ), сформированной на полосу шириной 10 км симметрично вдоль оси трубопровода, представлен на рис. 1 (см. 3-ю стр. обложки).

Фрагмент топографической карты масштаба 1 : 25 000 трассы МН ВСТО-1, сформированной на полосу шириной 3 км симметрично вдоль оси трубопровода, представлен на рис. 2 (см. 3-ю стр. обложки).

Схема нефтепровода с указанием зон геологических опасностей, представлена на рис. 3 (см. 3-ю стр. обложки).

Аэровизуальное обследование на этапе выполнения полевых работ включает подготовительные работы, обследование трассы с борта вертолета, обработку результатов.

Подготовительные работы включают: сбор и анализ имеющихся материалов об обследуемом объекте, получение необходимых согласований и разрешений на проведение авиационных работ, подготовку оборудования для проведения аэровизуального обследования, формирование графика выполнения полевых работ и выбор режима съемки, подготовку рабочих карт.

Обследование трассы с борта вертолета включает: распределение ролей среди участников обследования, подготовку мест размещения регистраторов и оборудования в салоне вертолета, синхронизацию навигационной и съемочной аппаратуры, съемку трассы видеокамерой, фотографирование объектов фотоаппаратом, определение координат и запись точек трека следования вдоль трубопровода.

Для удобства выполнения полевых работ изготавливаются следующие графические документы:

электронные карты масштаба 1 : 50 000 с изображением трассы трубопровода, элементов ландшафта и зон с различными геологическими опасностями в формате, удобном для применения в программе "OziExplorer";

электронные карты масштаба 1 : 200 000 с изображением трассы трубопровода, элементов ландшафта и выделением основных ориентиров, в том числе посадочных площадок, населенных пунктов, автомобильных дорог в формате, удобном для применения в программе "OziExplorer";

планшеты рабочей карты на бумажном носителе масштаба 1 : 50 000 с изображением трассы трубопровода, наземных элементов трубопроводной системы, оси трубопровода, элементов ландшафта и зон с

различными геологическими опасностями, в формате А4, удобном для работы карандашом на столике вертолета. На верхнем (северном) поле бумажной карты размещается номер листа, который позволяет легко обнаружить соседние листы в процессе полета.

Подготовка рабочей карты заключается в нанесении на нее условными знаками границ обследуемой территории, границ охранной зоны нефтепровода, объектов нефтепровода, предполагаемых границ участков действия и видов экзогенных процессов.

Аэровизуальное обследование выполняется подготовленными специалистами при обязательном участии летчика-наблюдателя.

Полет вдоль трассы осуществляется на высоте 150...200 м со средней скоростью 150 км/ч, который выбирается экспериментально на пробном участке трассы, пройденном в первый полевой день несколько раз. Одновременно с высотой полета определяется боковое удаление вертолета от трассы, а также сторона или его эффективный борт. Оптимальное боковое удаление составляет 150 м.

Для обследования трассы МН вертолет двигался от последнего километра трассы к первому, т. е. преимущественно с востока на запад и с севера на юг. С учетом указанных направлений движения вертолета солнце находится с правого борта от вертолета, поэтому оптимальным является левый борт вертолета, у иллюминаторов которого размещаются эксперты со съемочной аппаратурой.

Съемка осуществлялась с борта вертолета "Ми-8". Схема размещения специалистов на борту вертолета приведена на рис. 4.

Специалист, отвечающий за нанесение необходимой информации на рабочие карты, отыскивал на местности ориентиры — сооружения линейной части магистрального нефтепровода (площадки запорной арматуры, вантузные колодцы и колодцы КИП, камеры пуска-приема средств очистки и диагностики (СОД), пункты наблюдения, автодороги, переходы), отмечал места выполнения съемок экспертами.

На рабочую карту наносилась следующая информация: наименование экзогенного процесса; границы участков со сложными геологическими условиями; хорошо опознаваемые объекты внутри коридора

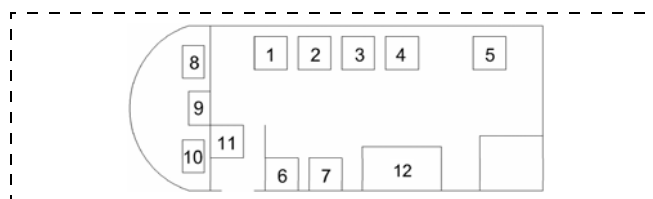


Рис. 4. Схема размещения специалистов на борту:

1 — оператор навигации; 2 — видеооператор; 3 — эксперт по геологическим опасностям; 4 — сигнальщик; 5 — эксперт по геологическим опасностям; 6 — руководитель; 7 — регистратор сигналов; 8, 9, 10 — кресла пилотов; 11 — специалист по аэровизуальному обследованию; 12 — запасной топливный бак

трассы, такие как вырубки, гари, сухостойные участки леса, болотины и т. д.

Специалист, отвечающий за построение трека, фиксировал с помощью компьютерной программы "OziExplorer" координаты точек траектории, в среднем через 1 с. Следя по электронной карте за местоположением вертолета, специалист предупреждал экспертов о приближении зоны, требующей повышенного внимания экспертов.

Эксперты, обнаружив и распознав участок с выраженными признаками геологической опасности, фотографировали его и поднимали карточку с наименованием экзогенного геологического процесса. Карточку фотографировал регистратор.

Синхронизация навигационной и съемочной аппаратуры осуществлялась фотографированием шкал времени навигационного устройства, отображаемой на экране компьютера, всеми фото и видеокамерами.

Для каждого цикла съемки синхронизация выполнялась 2 раза — перед началом и в конце полета.

Первичная обработка материалов аэровизуального обследования заключалась в записи на внешние носители полученных данных, оформлении полевого журнала, формировании таблицы с перечнем зафиксированных экзогенных геологических процессов, создании карты фактического материала.

В полевом журнале и таблице указывались:

- вид экзогенного процесса, его активность, наличие индикаторов процесса в элементах рельефа и растительности;
- оценка свежести проявлений, границы распространения процесса и др.;
- характеристика погодных условий.

При аэровизуальном обследовании выявлялись следующие экзогенные геологические процессы на участках со сложными геологическими условиями, в том числе:

- с залеганием скальных грунтов на глубине до 2 м;
- распространения просадочных грунтов;
- распространения многолетнемерзлых грунтов;
- развития морозного пучения;
- развития термокарста;
- развития солифлюкции¹;
- развития курумов²;
- оползнеопасные;
- развития осыпей и обвалов;
- развития карста;
- развития овражно-балочной эрозии;

¹ Солифлюкция — медленное движение оттаявших пластичных масс и глинистых пород по кровле мерзлого слоя под действием силы тяжести, под влиянием их накопления в результате выветривания коренной основы.

² Курумы — крупные обломки и глыбы прочных скальных пород, образующихся в результате выветривания на пологих склонах и у их подножий. Характерной особенностью курумов является медленное перемещение их вниз по склону с образованием скоплений различных по размеру многочисленных обломков горных пород, покрывающие плоские вершины гор. Между камнями в толще курума летом течет вода.

- обводненные участки трассы (с глубиной залегания уровня грунтовых вод, равной 2 м и менее);
- болота и заболоченности.

Анализ результатов фотографирования показал, что в условиях полета эксперты достаточно уверенно обнаруживали и фотографировали термокарст, курумы, оползнеопасные участки, болота и заболоченности, а также места, подверженные водной эрозии.

Фотографирование участков трассы МН ВСТО осуществлялось двумя экспертами. Разрешающая способность камер с применением трансфокации (возможности изменения масштабов удаленных объектов за счет вариообъектива) обеспечила получение обзорных снимков и крупных планов, позволяющих отобразить размах явления и важные детали. На рис. 5 (см. 3-ю стр. обложки) представлен пример фотографии, полученной экспертом с борта вертолета.

Для оперативного отображения трека на фоне рабочей карты использовался комплекс программ и аппаратуры, включающей ноутбук, оснащенный программой "OziExplorer" и соединенный с GPS приемником по интерфейсу USB.

Каждый день полета полученный трек записывался в отдельный файл, далее он конвертировался в формат MIF/MID. С помощью специальной программы, разработанной в Центре исследований экстремальных ситуаций, к точкам трека привязывались все снимки, полученные в процессе аэровизуального обследования. Для привязки использовалась метка времени. Информация из трека с привязанными фотографиями стала основой для формирования карты фактического материала.

В состав полученного фактического материала входят карты, таблицы и формуляры.

В содержание карты включены: ось трубопровода ВСТО; важнейшие пересечения с дорогами и водными объектами; места размещения НПС и запорного оборудования. Основным назначением карты является обозначение мест съемки, совмещение мест съемки с названием видео и фото файлов и типом геологической опасности.

Карта позволяет определить границы зон с опасными геологическими процессами. Использование карты обеспечивает увеличение производительности на этапе тематического картографирования экзогенных геологических процессов, зафиксированных во время аэровизуального обследования.

Этим же целям служат сформированные таблицы, в которых видеоинформация, упорядоченная по видам геологической опасности, привязана к километровым отметкам.

Выводы

1. Для прогнозирования риска от аварий на нефтепроводной системе используется информация о состоянии нефтепровода и его опорной системы. В зонах прокладки нефтепровода с активными экзогенными геологическими процессами, как, например, на нефтепроводной системе ВСТО, такую информацию может дать аэровизуальный мониторинг. Целью аэро-



визуального мониторинга является уточнение границ зон со сложными геологическими условиями и их изменений по сравнению с зафиксированными ранее, а также фиксация негативных процессов (образование промоин, провалов грунта, повреждений опорных конструкций, карстов) и отклонений в трассировке (компоновке) от проектных решений, связанных с опасными геологическими и иными процессами.

2. К мониторингу должны привлекаться квалифицированные эксперты, изучившие картографическую информацию, разработанную на стадии проектирования МН.

Основными результатами аэровизуального мониторинга являются:

систематизированные видеоматериалы, полученные с участием в процессе непрерывной съемки трассы видеокамерой, в процессе дискретной съемки фотоаппаратурой высокого разрешения;

картографические материалы, являющиеся результатом первичной обработки данных;

информация (в табличной форме), упорядоченная по координатам, времени и тематике.

Данные материалы значительно упростят процесс моделирования местности и опасных физических процессов, протекающих в зоне МН ВСТО. Полученные материалы будут использованы для анализа комплексного риска и последующей разработки решений по повышению безопасности МН ВСТО.

Работа, результаты которой использованы в данной публикации, выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

1. Акатьев В. А., Сушев С. П., Ларионов В. И. Обоснование объема ресурсов для ликвидации аварии на магистральном нефтепроводе на основе моделирования разливов нефти // Безопасность жизнедеятельности. — 2002. — № 7. — С. 7–12.
2. Акатьев В. А. Мониторинг технического состояния функционирующего оборудования в управлении риском: Монография. — М.: Изд-во РГСУ, 2009. — 232 с.
3. Акатьев В. А. Производственная безопасность. — М.: Изд-во РГСУ, 2011. — 820 с.

УДК 614.841

Р. Ш. Еналеев¹, канд. техн. наук, доц., **Э. Ш. Теляков**¹, д-р техн. наук, проф.,
Г. М. Закиров², асп., **Ю. С. Чистов**¹, асп., **Л. Э. Осипова**³, канд. техн. наук, доц.

¹ Казанский государственный технологический университет

² ОАО "Нижнекамскнефтехим", г. Нижнекамск

³ Казанский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: firepredict@yandex.ru

Опасность поражения человека при динамическом нагреве

Дано обоснование нового динамического теплового индекса для оценки последствий воздействия переменных тепловых потоков. Приведены данные анализа отечественных и зарубежных критериев и методов оценки теплового поражения человека. Рассмотрен расчетно-экспериментальный метод прогнозирования вероятностей различных степеней термических ожогов при динамическом нагреве.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, динамический тепловой индекс, термические ожоги, прогнозирование

Enalejev R. Sh., Telyakov E. Sh., Zakirov G. M., Chistov Yu. S., Osipova L. E. A hazard of human damage under dynamic heating

A new dynamic thermal load for evaluating consequences of exposure to variable heat flows was justified. There was performed an analysis of domestic and foreign criteria and evaluation methods of human thermal hazard. Calculation-experimental method to predict different degree burns caused by dynamic heat was suggested.

Keywords: emergency, dynamic thermal load, thermal injuries, prediction

1. Анализ проблемы

Тепловое поражение человека в чрезвычайной ситуации (ЧС) может возникнуть при горении энергоемких веществ и материалов при техногенных авариях, аномальных природных явлениях, природных катастрофах, террористических актах.

Основным механизмом передачи энергии от высокотемпературных продуктов горения является тепловое излучение, которое может воздействовать как на открытые участки кожного покрова человека, так и на участки, защищенные одеждой. При этом могут возникнуть термические ожоги различной степени тяжести.

Для оказания безотлагательной медицинской помощи пострадавшим на догоспитальном этапе необходима информация о количестве пострадавших с различной степенью тяжести теплового поражения

кожного покрова [1]. Таким образом, создание научно обоснованных методов прогнозирования опасности воздействия высокоинтенсивного нагрева на человека является важной научно-технической и социально-экономической проблемой. Результаты решения проблемных задач необходимы при проектировании пожароопасных объектов и проведении организационно-технических мероприятий в ЧС.

В настоящее время количественная оценка теплового поражения проводится с использованием различных отечественных и зарубежных методов. В отечественных методах [2] в основном используются расчетные оценки по пробит-функциям. Преимущество этих методов состоит в возможности прогнозирования вероятностей различных степеней тяжести теплового поражения. Ограниченность методов заключается в том, что опасная доза тепловой энергии рассчитывается только для постоянной плотности теплового потока (стационарный нагрев) и только для одного механизма теплообмена — нагрева излучением.

В зарубежном стандарте [3] и методе TPP (Thermal Protective Performance) для оценки ожогов второй степени с вероятностью 0,5, возникающих на открытых и защищенных участках кожного покрова, применяется экспериментальный критерий порогового импульса, обоснованный в многочисленных опытах с биообъектами [4]. Методом TPP можно прогнозировать тепловое поражение как на локальных участках кожи, так и на всей поверхности манекена человека. При несомненных практических достоинствах зарубежный метод порогового импульса позволяет оценивать ожоги второй степени только с одной 50 %-ной вероятностью также при постоянной интенсивности облучения биообъекта. Сведений о применении критериев и методов прогнозирования вероятностей других степеней поражения в зарубежной литературе крайне мало.

В реальных ЧС изменение плотности теплового потока излучения от пламени пожаров носит импульсный характер: с резким возрастанием до максимального значения и постепенным убыванием в течение времени действия высокотемпературного источника. Кроме того, в аварийных ситуациях передача энергии от тыльной стороны пакета одежды к коже осуществляется различными механизмами — теплопроводностью, конвекцией, излучением, массообменом и характеризуется переменной плотностью теплового потока. Такой нагрев можно условно назвать импульсным или динамическим.

Следовательно, в пробит-функциях для динамического нагрева вместо индекса облучения необходимо применять другой индекс, эффективное значение которого не отличалось бы от значения при стационарном нагреве. Условно его можно назвать "динамическим тепловым индексом" или просто "тепловым индексом". Тем самым подчеркивается, что тепловой индекс в отличие от индекса облучения рассчитывается при динамическом нагреве открытых и защищенных одеждой участков кожного покрова различными механизмами тепло- и массообмена.

Очевидно успешное решение рассматриваемой проблемы невозможно без коллективного взаимодействия специалистов в различных областях знаний — вычислительной теплопередачи, химической физики, тепломассообмена, электроники, светотехники, информатики, медицины и гармонизации существующих в мировой практики методов.

Авторы на основе системного подхода и метода математического моделирования исследуют различные аспекты проблемы теплового поражения человека в ЧС. В статьях [5, 6] приведен расчет нестационарных температурных полей при воспроизведении контактных ожогов для различных уровней постоянной температуры нагревательного элемента. В статьях [7, 8] проанализированы критерии и методы оценки теплового поражения открытых участков кожного покрова при постоянной плотности теплового потока облучения. В статье [9] проведена гармонизация отечественных и зарубежных методов оценки ожогов второй степени на открытых участках кожного покрова при вероятности 0,5 и обоснованы новый температурный критерий возникновения ожогов на глубине 0,36 мм от поверхности и пробит-функции для прогнозирования санитарных потерь.

В настоящей статье основное внимание уделяется проблеме оценки теплового поражения человека в условиях, максимально приближенных к реальным ситуациям, — проблеме прогнозирования вероятностей различных степеней термического поражения открытых и защищенных одеждой участков кожного покрова при динамическом нагреве. Развитие данного подхода базируется на анализе результатов исследований отечественных и зарубежных специалистов, полученных при стационарном нагреве.

Результаты таких исследований могут иметь теоретическое и прикладное значение при создании программно-вычислительных комплексов прогнозирования и моделирования ЧС на критически важных объектах в нашей стране и за рубежом.

2. Стационарный нагрев

Пороговый импульс. Проблема количественной оценки массового поражения людей тепловым излучением впервые возникла после первого испытания атомного оружия в городах Хиросима и Нагасаки. В ведущих научных центрах NASA — отделении медицинских аэрокосмических исследований и центре морской авиации накоплен огромный объем расчетно-экспериментальных данных по пороговым дозам облучения и критической температуре основного слоя кожного покрова биообъектов при воспроизведении термических ожогов. Впервые зависимость плотности теплового потока от времени облучения, вызывающего ожоги второй степени, получена A. Stoll [4].

В зарубежных стандартах и методиках функция, приведенная на рис. 1, представляется в виде зависимости порогового импульса Q от времени воздействия, как показано на рис. 2.

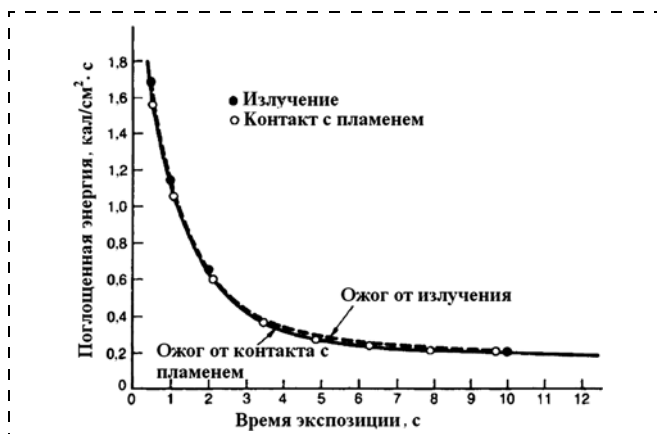


Рис. 1. Зависимость плотности облучения от времени экспозиции излучения или контакта с пламенем при термических ожогах

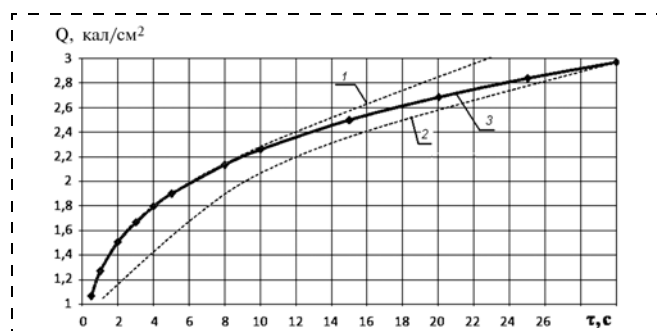


Рис. 2. Зависимость порогового импульса от времени воздействия постоянного теплового источника для ожогов второй степени с вероятностью 0,5. Опытные данные по источникам: 1 — [10]; 2 — [11]; 3 — расчетные данные авторов для индекса $I = 200 \text{ (кВт/м}^2)^{4/3} \cdot \text{с}$

При гармонизации отечественных и зарубежных методов с использованием пробит-функции и порогового импульса авторами установлено [9], что индекс облучения для ожогов второй степени с вероятностью 0,5 является константой

$$I = q^{4/3} \tau = 200, \quad (1)$$

где I — индекс облучения, $(\text{кВт/м}^2)^{4/3} \cdot \text{с}$; q — плотность постоянного теплового потока облучения, кВт/м^2 ; τ — время экспозиции, с.

Пробит-функции. Инвариантный ко времени нагрева постоянным тепловым потоком индекс облучения (1) впервые предложен для прогнозирования вероятностей летального исхода Эйзенбергом [12]. Авторами обоснованы пробит-функции для санитарных потерь [9]. Преимущество пробит-анализа заключается в возможности прогнозирования термических ожогов открытых участков кожного покрова не только для 50 %-ной вероятности при индексе 200, но и для других индексов и, соответственно, вероятностей.

Критическая температура. Использование в качестве критерия возникновения ожогов температуры кожного покрова на различных расстояниях от поверхности

впервые предложено в работе [13]. По модели, учитывающей влияние кровотока, предложен инвариантный ко времени воздействия критерий критической температуры на расстоянии 0,36 мм от поверхности кожи [9]. Сравнение максимальных значений температур по работам [4] и [9] представлено в табл. 1, а сравнительная динамика нагрева — на рис. 3.

Адекватность отечественных и зарубежных данных по критической температуре основного слоя кожи открывает перспективы использования модели, разработанной авторами для стационарного нагрева при создании методов оценки теплового поражения и прогнозирования вероятностей различных степеней термического поражения для динамического нагрева.

3. Динамический нагрев

Динамический нагрев биообъектов может происходить в трех ситуациях: 1) от тепловых потоков излучения пламени пожаров; 2) в процессе теплопередачи к кожному покрову от тыльной поверхности одежды; 3) при опытном повторении контактных ожогов.

Прогнозирование вероятностей поражения для всех ситуаций с применением пробит-функций проблематично. Во-первых, в пробит-функциях индекс облучения рассчитывается при постоянной плотности теплового потока излучения (1). Очевидно необходимо расчетно-экспериментальное обоснование динамического теплового индекса, интегральное значение которого за весь период теплового воздействия при заданной веро-

Таблица 1

Интенсивность облучения, $\text{кВт/м}^2 \cdot \text{с}$	Время нагрева, с	Максимальная температура основного слоя кожи*, °C	
		A. Stoll [4]	Авторы [9]
0,305	6,7	57,7	57,54
0,226	10	55,7	55,93
0,13	21	54,2	54,18
0,1	30	53,6	53,56

* За основной слой кожи в зарубежной температуре принята граница между эпидермисом и дермой.

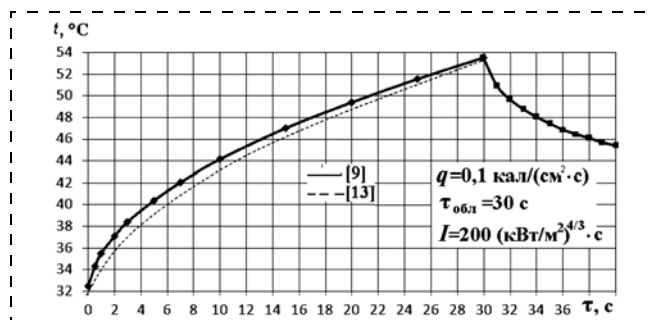


Рис. 3. Изменение температуры основного слоя кожи в процессе нагрева облучением и с прекращением его воздействия; $\tau_{\text{обл}}$ — время прекращения воздействия облучения

ятности возникновения ожога должен быть равен индексу, определенному при стационарном нагреве:

$$I_d = \int_0^{\tau_{\text{наг}}} [q(\tau)^{4/3}] d\tau, \quad (2)$$

где I_d — динамический тепловой индекс; $q(\tau)$ — переменная плотность теплового потока; $\tau_{\text{наг}}$ — время воздействия теплового потока.

Во-вторых, необходимо экспериментальное доказательство применимости динамического теплового индекса не только для вероятностей 0,5, как это принято в зарубежных методиках, но и для других значений вероятностей.

В связи с изложенным выше решаются две задачи:

1. По экспериментальным данным с контактными ожогами обосновывается расчетный метод определения динамического теплового индекса для ожогов второй степени с вероятностью 0,5.

2. С использованием динамического теплового индекса прогнозируется вероятность ожога кожи, защищенной пакетом одежды, при воздействии теплового излучения.

Для обоснования динамического теплового индекса используются экспериментальные данные по контактным ожогам [5, 6]. Устройство для проведения эксперимента, схематично показанное на рис. 4, позволяет поддерживать постоянную температуру нагревательного элемента с точностью $\pm 0,02$ °C за счет высокой скорости теплоносителя и массовой теплоемкости нагревательного элемента.

Зависимость времени возникновения контактных ожогов от температуры нагревательного элемента [5, 6] представлена в табл. 2.

При расчете температурного поля в каждом покрове используется математическая модель [9] для граничного условия I рода. Интервальная по времени плотность теплового потока от поверхности кожи в глубь биообъекта рассчитывается по закону Фурье:

$$q_i = \lambda \frac{dt}{dx}, \quad (3)$$

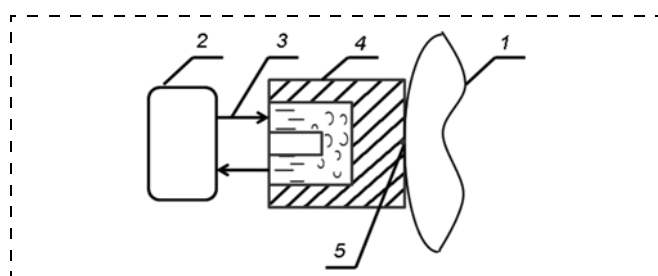


Рис. 4. Устройство для проведения эксперимента:

1 — биообъект; 2 — ультратермостат; 3 — теплоноситель; 4 — нагревательный элемент; 5 — термопара

Таблица 2

Температура нагревательного элемента, °C							
58	57,25	56,5	55,75	54,25	53,5	52,75	52
Время возникновения ожогов, с							
5,6	6,6	8,0	12,3	16,0	20,4	27,8	36,7

где λ — коэффициент теплопроводности; $\frac{dt}{dx}$ — производная температуры по координате x .

В результате вычислительного эксперимента установлено, что распределение температуры в тонком слое эпидермиса (0,08 мм) является линейным. Тогда плотность теплового потока рассчитывается по разностному аналогу уравнения (3):

$$q_s = \lambda \frac{\Delta T_s}{\Delta x}, \quad (4)$$

где ΔT_s — перепад температуры между поверхностью и границей основного слоя кожи; Δx — толщина эпидермиса.

Расчет динамического теплового индекса проводится по следующей вычислительной процедуре. По математической модели рассчитывается температура основного слоя кожи (граница эпидермис — дерма) в процессе нагрева при постоянной температуре поверхности. На каждом шаге интегрирования по времени определяется разность температур Δt_i между поверхностью и основным слоем кожи

$$\Delta t_i = t_s - t_3, \quad (5)$$

где t_s и t_3 — температура поверхности и основного слоя соответственно.

Далее, на том же шаге интегрирования рассчитывается последовательно постоянный тепловой поток по уравнению (4) и интервальный в течение шага интегрирования по времени динамический тепловой индекс в текущий момент времени

$$I_{d,i} = q_i^{4/3} h_t, \quad (6)$$

где $I_{d,i}$ — интервальный динамический тепловой индекс; h_t — шаг интегрирования по времени.

Динамический тепловой индекс за все время воздействия нагревательного элемента равен сумме интервальных индексов

$$I_d = \sum_{i=1}^n I_{d,i}, \quad (7)$$

где n — количество шагов интегрирования по времени.

Выбор шага интегрирования по времени, удовлетворяющий заданной точности вычисления теплового индекса, осуществляется по правилу Рунге [14]. Очевидно, что время воздействия нагревательного элемента

$$\tau_{\text{наг}} = n h_t, \quad (8)$$

следовательно, выражение (7) является приближенным значением интеграла (2).

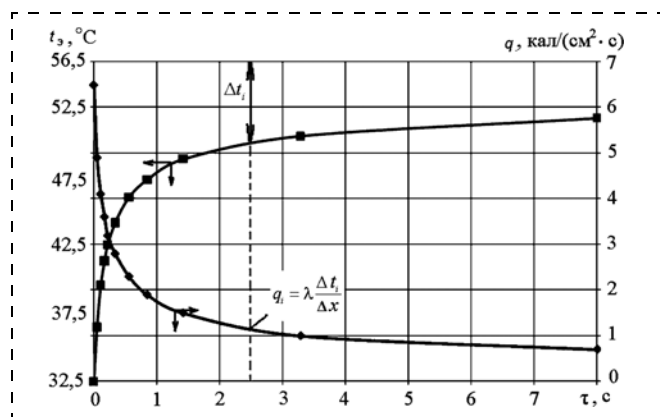


Рис. 5. Графическая интерпретация расчета плотности теплового потока

В качестве примера на рис. 5 представлена графическая интерпретация вычислительной процедуры для $t_s = 56,5^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{наг}} = 8$ с, а на рис. 6 — изменение динамического теплового индекса в течение воздействия нагревательного элемента показано для условия эксперимента [5]. Зависимость температуры основного слоя кожи (граница эпидермис — дерма) от времени рассчитывается по модели теплопередачи в структурных слоях кожи при граничных условиях I рода [6]. На каждом шаге по времени последовательно рассчитывается разность температур между поверхностью и основным слоем кожи ΔT_i по формуле (5), градиент температуры $\frac{\Delta T_i}{h_3}$, плотность теплового потока

$q_i = \lambda \frac{\Delta T_i}{h_3}$, интервальный тепловой индекс по формуле (6) и интегральный динамический индекс по формуле (7).

Из данных рис. 6 видно, что ожоги второй степени с вероятностью 0,5 возникают при достижении значения теплового индекса 200 ± 10 .

Таким образом, значение полученного теплового индекса с учетом 5 %-ной погрешности практически не отличается от индекса облучения для ожогов второй

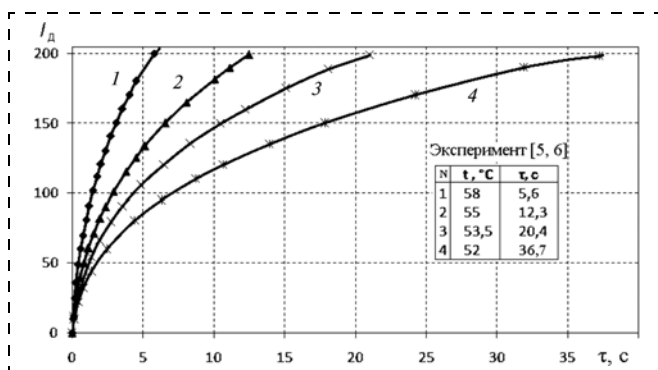


Рис. 6. Изменение динамического теплового индекса в процессе нагрева

степени при вероятности 0,5 при тепловом излучении (1). Следовательно, предлагаемый авторами расчетный метод определения динамического теплового индекса при переменной плотности теплового потока не зависит от механизма нагрева кожного покрова человека и может быть использован в пробит-функциях прогнозирования теплового поражения при динамическом нагреве.

Следует отметить, что в стандартных зарубежных методах термические ожоги второй степени с вероятностью 0,5 оцениваются не только по критерию порогового импульса, но и по критерию максимальной критической температуры основного слоя кожи и по интегральному значению скорости поражения. Поэтому с целью дальнейшей гармонизации отечественных и зарубежных методов прогнозирования и оценки влияния различных механизмов нагрева кожи на динамический тепловой индекс проводятся исследования кинетики биохимических реакций термического разложения белка коллагена.

4. Кинетика теплового поражения

В зарубежных методах одним из критериев теплового поражения является интеграл от скорости поражения кожи¹ [13]

$$P = \int_0^{\tau_{\text{кр}}} \frac{d\Omega}{dt} dt = \int_0^{\tau_{\text{кр}}} A \exp(-E/RT) dt, \quad (9)$$

где $\frac{d\Omega}{dt}$ — скорость поражения кожи, 1/с; T — температура кожи на границе "эпидермис — дерма" или на другой глубине от поверхности, К; A — предэкспонент (частотный фактор), 1/с; E — энергия активации, Дж/моль; R — газовая постоянная, Дж/(моль · К); $\tau_{\text{кр}}$ — время воздействия теплового источника до появления ожога.

При значениях $P \leq 0,5$ основной слой остается без повреждений, при $0,5 < P < 1$ — возникают ожоги первой степени. Если $P \geq 1$ — возникают ожоги второй степени.

По данным работ [4, 15] значения констант в уравнении (9) зависят от температуры основного слоя кожи:

$$\text{при } 44^\circ\text{C} < T < 50^\circ\text{C} \quad A = 2,185 \cdot 10^{124}, \quad (10)$$

$$E/R = 93\,500 \text{ [4];}$$

$$\text{при } T > 50^\circ\text{C} \quad A = 1,823 \cdot 10^{51}; \quad E/R = 39\,100 \text{ [4];} \quad (11)$$

$$\text{при } T > 44^\circ\text{C} \quad A = 4,6 \cdot 10^{72}; \quad E/R = 55\,000 \text{ [15].} \quad (12)$$

В теории термического разложения и воспламенения конденсированных веществ [17] при их поверхностном нагреве (твердым телом или горячим газом) связь между температурой воспламенения t_{ign} и температурой вещества T_{ign} выражается зависимостью

$$t_{\text{ign}} \approx \text{сexp} \left(\frac{E}{RT_{\text{ign}}} \right), \quad (13)$$

¹ Скорость поражения кожи — аналог скорости химической реакции. Только в биообъектах разрушается (превращается) белок коллаген, а в химии превращается вещество.

где c — константа.

Используя аналогичный формуле (13) подход, авторы проводят обработку результатов эксперимента по контактным ожогам

$$\tau_{\text{наг}} \approx \frac{1}{A} \exp\left(\frac{E}{RT_3}\right), \quad (14)$$

где $\tau_{\text{наг}}$ — время нагрева для воспроизведения ожогов с вероятностью 0,5.

При обработке опытных данных в полулогарифмических координатах $\ln \tau_{\text{наг}} - \frac{10^4}{T_3}$ получается линейная зависимость

$$\ln \tau_{\text{наг}} = \frac{E}{R} \cdot \frac{10^4}{T_3} - \ln A, \quad (15)$$

представленная на рис. 7.

После аппроксимации по формуле (15) методом МНК получаются следующие значения кинетических констант

$$\frac{E}{R} = 56\,500, A = 9,7 \cdot 10^{72}, \quad (16)$$

что практически совпадает с данными для теплового излучения [14], обозначенными в формуле (12).

В некоторых публикациях, например [18], температура основного слоя кожи в зависимости от времени воздействия теплового излучения рассчитывается по формуле, полученной при $P = 1$ в уравнении (9):

$$T_3 = \frac{E}{R \ln(\tau A)}. \quad (17)$$

С использованием констант для контактных ожогов, определяемых по выражению (16), по формуле (17) рассчитывается температура основного слоя кожи при поражении тепловым излучением. Значения температур основного слоя кожи при различных механизмах нагрева представлены на рис. 8.

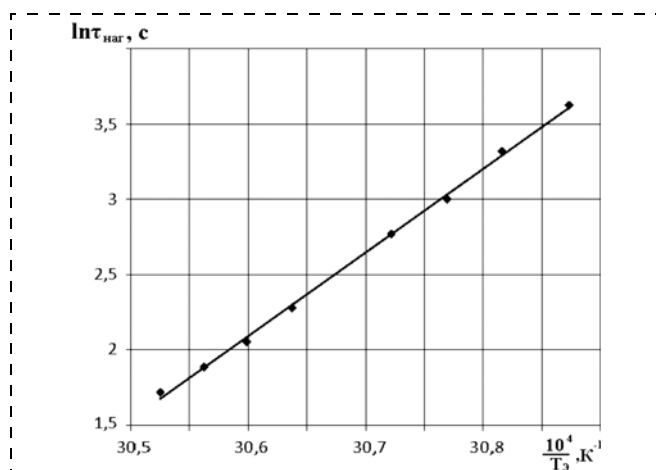


Рис. 7. Связь времени нагрева с температурой основного слоя кожи при контактных ожогах

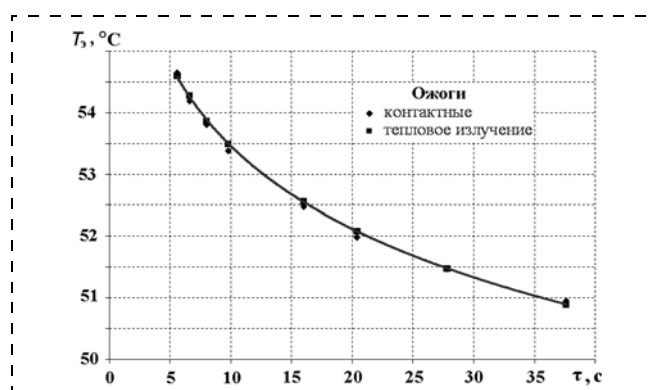


Рис. 8. Максимальная температура основного слоя кожи при различных механизмах нагрева поверхности

Сравнивая зависимости (12) и (16) и температуры основного слоя кожи на рис. 8, можно сделать вывод, что кинетические параметры теплового поражения при контактных ожогах и тепловом излучении, а также максимальные температуры основного слоя кожи при одинаковых временах воздействия внешнего источника нагрева практически идентичны.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для обоснования применимости пробит-функций с динамическим тепловым индексом при прогнозировании термических ожогов не только открытых участков кожи, но и защищенных слоями одежды при динамическом нагреве.

5. Прогнозирование теплового поражения при динамическом нагреве

Возможность применения динамического теплового индекса в пробит-функциях различной степени тяжести [9] апробирована при облучении трехслойного пакета одежды [19]. В экспериментах, также как и в методе ТРР, с помощью медного калориметра измеряется проходящий через пакет одежды тепловой импульс. Но в отличие от экспериментального метода порогового импульса ТРР применение теплового индекса позволяет прогнозировать не только ожоги второй степени с вероятностью 0,5, но и возникновения ожогов любой степени тяжести при известных коэффициентах пробит-функции.

Интегральное значение теплового индекса для пробит-функций рассчитывается по формулам (6) и (7) и данным рис. 9 суммированием тепловых индексов линейных участков, на которых с приемлемым приближением плотность теплового потока можно принять постоянной. Линейные участки аппроксимируют экспериментальные данные (1, 2 на рис. 9) методом наименьших квадратов с наперед заданной точностью.

Расчет вероятностей ожогов второй степени для двух уровней количества облучения трехслойного пакета 10 и 15 кал/см² составил соответственно 0,01 и 0,1. Опыты с биообъектами показали удовлетворительную сходимость с расчетным методом.

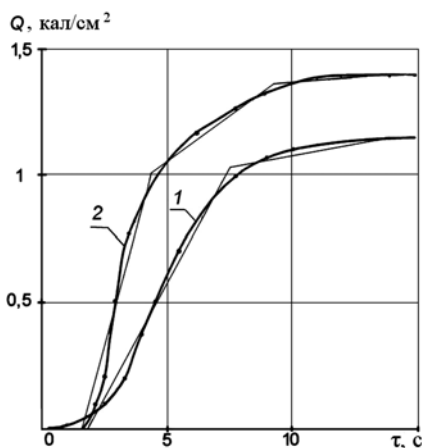


Рис. 9. Динамика нагрева калориметра под пакетом одежды. Импульс облучения пакета слоев одежды:

1 — $Q = 10 \text{ кал/см}^2$, 2 — $Q = 15 \text{ кал/см}^2$

Выводы

1. Обоснован метод расчета динамического теплового индекса для прогнозирования вероятностей возникновения термических ожогов с применением пробит-функций.

2. Проведена гармонизация отечественных и зарубежных методов оценки теплового поражения по кинетическим параметрам биохимических реакций термического разложения белка коллагена.

3. Предложен расчетно-экспериментальный метод прогнозирования вероятностей различных степеней теплового поражения человека при динамическом нагреве.

Список литературы

1. Термические и радиационные ожоги / Под ред. Л. И. Герасимовой, Г. И. Назаренко. — М.: Медицина. — 2005. — С. 124.
2. ГОСТ Р 12.3.047—98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
3. International Organization for standardization. Clothing for protection against heat and flame — determination of heat

- transmission on exposure to both flame and radiant heat / ISO Standard 17492. Geneva, Switzerland. — 2003.
4. Stoll A. M., Greene L. C. Relationship between pain and tissue damage due to thermal radiation // J. Appl. Physiol. — 1959. — Vol. 14. — P. 373.
 5. Еналеев Р. Ш., Келин И. А., Качалкин В. А. и др. Применение математического моделирования для исследования термических ожогов // Труды Казанского Ордена Трудового Красного Знамени медицинского института им. С. В. Курашова. Казань. — 1978. — Т. 48. — С. 91—95.
 6. Enalejev R. Sh., Kachalkin W. A. Mathematical Simulation of Heat and Mass Transfer Process in Skin Cover at Burn Injury. Annals of the New York Academy of Science, 1998. — Vol. 858. — P. 30—35.
 7. Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Хайруллин И. Р. и др. Критерии опасности теплового поражения человека // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 8. — С. 40—43.
 8. Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Закиров А. М. и др. Методы оценки теплового поражения людей в чрезвычайных ситуациях // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 9. — С. 30—36.
 9. Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Закиров Г. М. и др. Прогнозирование санитарных потерь от воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях // Безопасность жизнедеятельности. — 2011. — № 1. — С. 36—41.
 10. J. Randall Lawson. Fire fighter's protective clothing and thermal environments of structural fire fighting // National institute of standards and technology, Gaithersburg, MD 20899. — August 1996. — P. 1—22.
 11. Lees F. P. Loos Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control. Volume 1. Third Edition. — 2004.
 12. Eisenberg N. A., Lynch C. J. Breeding. Vulnerability model: A simulation system for assessing damage resulting marine spills. U. S. Bureau of mines, R1 3867, Feb. — 1946. — P. 167.
 13. Henriques F. C., and Moritz A. R. "Studies of thermal injury. I. The conduction of heat to and through skin and the temperature attained therein. A theoretical and experimental investigation // Am. J. Path. — 1947. — V. 23. — P. 695—720.
 14. Турчак Л. Н. Основы численных методов. — М.: Наука. — 1987. — С. 318.
 15. Mehta A. K., Wong F. C. Measurement of Flammability and Burn Potential of Fabrics. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. — 1973.
 16. Xu F., Lu T. J., Seffen K. A. Biothermomechanical behavior or skin tissue. Acta Mech Sin. — 2008. — 24. — P. 1—23.
 17. Мержанов А. Г. Воспламенение как метод формально-кинетического исследования экзотермических реакций в конденсированной фазе. — М.: Черноголовка. — 1968. — С. 63.
 18. Qian Fend, Hu Zhano-yan, Zhu Zhen-kang. The Establishment of the Mathematical Model of the 2nd Degree Burn Injury of Human Tissues and its Application // Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medical and Biology 27th Annual Conference. Shanghai, China. — 2005. — P. 2918—2921.
 19. Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Закиров А. М. и др. Прогнозирование теплового поражения человека при высокоинтенсивном нагреве // Сборник докладов Международной конференции "Химическая и радиационная физика". — М.: Президиум РАН. 23—29 августа 2009. — С. 314—317.

Учредитель ООО «Издательство "Новые технологии"»

Журнал выходит при содействии Учебно-методического совета "Техносферная безопасность" Учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию и Научно-методического совета "Безопасность жизнедеятельности" Министерства образования и науки Российской Федерации

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

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

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

Дизайнер Т. Н. Погорелова.

Технический редактор Е. М. Патрушева. Корректор Е. В. Комиссарова

Сдано в набор 10.06.11. Подписано в печать 25.07.11. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 7,98. Заказ 542.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142100, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15.