



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

4(124)
2011

Редакционный совет:

АКИМОВ В. А.
БАЛЫХИН Г. А.
БЕЛОВ С. В.
ГРИГОРЬЕВ С. Н.
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.
(председатель)
МАХУТОВ Н. А.
ПАВЛИХИН Г. П.
СИДОРОВ В. И.
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:

ГЕНДЕЛЬ Г. Л.
ГРУНИЧЕВ Н. С.
ИВАНОВ Н. И.
КАЛЕДИНА Н. О.
КАРТАШОВ С. В.
КАЧАНОВ С. А.
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.
КСЕНОФОНТОВ Б. С.
КУКУШКИН Ю. А.
МАСТРЮКОВ Б. С.
МЕДВЕДЕВ В. Т.
ПАНАРИН В. М.
ПОЛАНДОВ Ю. Х.
ПОПОВ В. М.
СИДОРОВ А. И.
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.
ФРИДЛАНД С. В.
ХАБАРОВА Е. И.
ЦХАДАЯ Н. Д.
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЯ

Зиамбетов В. Ю., Васильева А. А. Профилактика травматизма и несчастных случаев на занятиях по военно-физической подготовке с помощью тренировки вестибулярной сенсорной системы занимающихся 2

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Брежнева Е. О., Дрейзин В. Э. Выбор сенсоров для разработки многосенсорного газоанализатора газовых смесей 5
Гоголев И. Г., Николаева Т. А., Дроконов А. М. Генерация и методы снижения вибрации в турбомашинах 11

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Агаев Т. Д. Использование показателя потенциала загрязнения атмосферы для обеспечения безопасной жизнедеятельности населения городов 17
Асминин В. Ф., Корда У. Ю. Об одном из путей снижения шума в сложившейся жилой застройке, прилегающей к остановочным пунктам общественного автотранспорта 21
Хасаншин Д. Л., Амирова Л. М. Комплексная переработка нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов 24
Чухлебова Л. М. Оценка экологической безопасности промысловых рыб Амурского водного бассейна 27

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Галеев А. Д., Поникаров С. И., Салин А. А. Прогнозирование зон токсического поражения при испарении с поверхности аварийного пролива соляной кислоты 33

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Бараковских С. А., Иванов В. А., Акулов А. Ю. Разработка конструкций для локализации пожара на нефтегазовых объектах 40
Колпаков В. Ф. Один из подходов моделирования лесных пожаров с целью повышения эффективности их ликвидации 43

ОБРАЗОВАНИЕ

Раков В. И. Об одном варианте организации безопасности жизнедеятельности образовательного учреждения 48

Приложение. Ассоциация "СИЗ" — ответ требованиям времени

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 331.45+613

В. Ю. Зиамбетов, канд. пед. наук, **А. А. Васильева**, Оренбургский государственный университет
E-mail: giambetov@mail.ru

Профилактика травматизма и несчастных случаев на занятиях по военно-физической подготовке с помощью тренировки вестибулярной сенсорной системы занимающихся

Рассмотрены особенности применения физических упражнений, направленных на тренировку вестибулярной сенсорной системы человека для формирования точности движений и в результате снижения риска получения травм. Даны примерные упражнения для их эффективного применения на занятиях физической подготовкой.

Ключевые слова: вестибулярный аппарат, вестибулярная сенсорная система, физические упражнения, двигательные действия, методы, методики, прикладная военно-физическая подготовка

Ziambetov V. Yu, Vasileva A. A. Preventive maintenance of the traumatism and accidents on employment on military-physical preparation by means of training of vestibular touch system of the engaged

In article features of application of the physical exercises directed on training of vestibular touch system of the person for formation of accuracy of movements and as a result decrease of risk of reception of traumas reveal. Approximate exercises for their effective application on employment by physical preparation are given.

Keywords: a vestibular mechanism, vestibular touch system, physical exercises, impellent actions, methods, techniques, military-physical applied preparation

Вопрос стабильности равновесия тела человека в пространстве постоянно занимал важное место в исследованиях в области физической культуры и спорта. На современном этапе ставятся новые задачи относительно изучения вестибуломоторных, вестибуловегетативных, вестибулосенсорных реакций, управление которыми позволит влиять на систему физической подготовленности занимающихся физической культурой с одновременным снижением уровня травматизма. Снижение травматизма — одна из приоритетных задач в сфере физической культуры и спорта.

В теории и практике физкультурно-спортивной деятельности в последние годы возрос интерес к проблеме повышения функциональных возможностей вестибулярного анализатора как системы, играющей важную роль в ориентации занимающегося в пространстве и выполнении высококоординированных двигательных действий.

К настоящему времени в теории спорта и физической культуры накоплено достаточно научных данных, касающихся вопроса влияния занятий спортом и физической культурой на соматические и вегетативные системы организма, а также возможностей использования этих данных с целью оптимизации тренировочного процесса. По данным В. А. Кислякова (1975 г.), В. И. Орлова (1976 г.), В. Н. Болобана (1990 г.), важная роль в управлении движениями принадлежит вестибулярной сенсорной системе, при этом безопорном состоянии или при усложненных условиях эта сенсорная система является ведущей. В дальнейшем работы А. С. Ровного (2001 г.), Н. В. Люлиной (2008 г.) расширили понимание статокINETического постоянства и внесли коррективы в структуру методического обеспечения физической культуры путем повышения устойчивости вестибулярного аппарата.

Вестибулярный анализатор совместно с мышечно-суставным, кожным и зрительным анализаторами обеспечивает равновесие тела, точную координацию и анализ движений.

Как правило, устойчивость вестибулярного анализатора повышается с ростом физической подготовленности, причем уровень спортивных достижений во многих видах спорта тесно взаимосвязан с уровнем устойчивости вестибулярного анализатора.

Целью работы авторов данной публикации является исследование влияния устойчивости вестибулярной сенсорной системы на физические способности юношей, находящихся в военно-патриотическом лагере, с разработкой комплекса упражнений для снижения травматизма на занятиях по военно-

физической подготовке, которые также подходили бы для использования на занятиях физической культурой в образовательных учреждениях.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1) сбор статистических данных о травматизме в военно-патриотическом лагере, их анализ;

2) наблюдение за занятиями по военно-физической прикладной подготовке и определение динамики получения повреждений в зависимости от показателей вестибулоустойчивости;

3) определение комплекса наиболее эффективных упражнений, направленных на тренировку вестибулярного аппарата.

Предметом исследования явилась профилактика травматизма посредством повышения устойчивости вестибулярной сенсорной системы.

За объект исследования приняты подростки и юноши в возрасте от 11 до 16 лет, находящиеся в военно-патриотическом лагере объединения "Подросток" г. Оренбурга. В исследованиях участвовало 92 человека с одинаковым уровнем физической подготовки. Экспериментальная группа (ЭГ) состояла из 47 человек, контрольная группа (КГ) — из 45 человек.

Методы исследования включали: анализ научной литературы и независимых данных, классификация, статистическое наблюдение, опрос, физиологические пробы на испытание устойчивости в позициях Ромберга, пробы фланговой походки и походки по прямой линии.

Ребята КГ занимались военно-физической подготовкой по общепринятой программе военно-патриотического лагеря, в которой не было сосредоточено внимание на развитие вестибулярной сенсорной системы.

В ЭГ занятия проходили по разработанной методике с комплексом упражнений, направленных на совершенствование вестибулярного анализатора.

Функция вестибулярной системы рассматривалась в двух аспектах: как орган равновесия и ориентации тела в пространстве и как орган, не-

посредственно участвующий в регулировании обменных процессов для оптимального энергетического режима активного движения в данный момент времени.

Комплекс упражнений разрабатывался на основе гипотезы, что даже при действии незначительных угловых и прямолинейных ускорений хорошо тренированный вестибулярный анализатор, посылая в мозг информацию о движении, позволяет избежать возникновения неприятных вегетативных нарушений и тем самым предотвратить травматизм.

Наиболее эффективный комплекс для тренировки вестибулярной сенсорной системы включал следующие упражнения:

1 — Круговые движения вправо и влево с закрытыми глазами в быстром темпе, 10—12 раз.

2 — Повороты прыжком вправо и влево по 12 раз на 90°, 180° и 360°.

3 — Перекаты в быстром темпе по 7 раз вправо, влево.

4 — Кувырки вперед — 10 в медленном темпе, 2 в быстром, после перерыва 12 с — 5 кувырков назад в медленном темпе.

5 — Поза Ромберга "ласточка", с удержанием 30...60 с.

6 — Стойка на лопатках — 60 с.

Исследование проводилось в четыре этапа — I, II, III, IV, начиная с заезда воспитанников с последующим разделением на периоды в одну неделю. Комплекс упражнений внедрялся на II этапе.

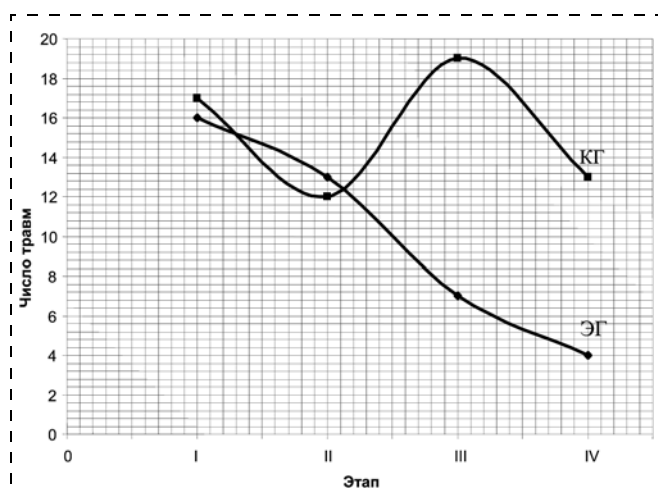
По результатам наблюдений, опросов тренеров, медицинских работников лагеря и сбора данных определена динамика травм с распределением по периодам пребывания в лагере. Результаты наблюдений и сбора информации приведены в табл. 1.

Наибольшее число травм и повреждений было зарегистрировано на I этапе исследования. Динамика травматизма, приведенная на рисунке, характеризуется убыванием количества повреждений у участников ЭГ на 75 %. В КГ по сравнению с экспериментальной наблюдается возрастание ушибов, ссадин, растяжений на предпоследнем этапе, что может ха-

Таблица 1

Показатели повреждений на различных этапах исследования, число случаев

Показатели	ЭГ					КГ				
	I	II	III	IV	Всего	I	II	III	IV	Всего
Мозоли, потертости, срывы мозолей	4	3	3	2	12	4	3	4	3	14
Ссадины	11	9	4	2	26	13	8	9	8	38
Ушибы	1	1	0	0	2	0	1	3	2	6
Растяжения	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Переломы	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сотрясения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Вывихи	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Итого	16	13	7	4	40	17	12	17	13	59



Динамика травматизма экспериментальной (ЭГ) и контрольной (КГ) групп

рактизоваться как спад вестибулоустойчивости на фоне не только адаптационного спада.

В качестве методик исследования вестибуло-спинальных рефлексов, отражающих функцию равновесия и позы, обеспечивающих точное выполнение статической задачи, применялись проба Ромберга, состоящая из четырех позиций, а также походка по прямой линии и фланговая походка.

Позиция 1: стойка руки вперед, пальцы рук выпрямлены и разведены.

Позиция 2: исходное положение как в первой позиции, но стопы расположены по прямой так, что носок одной стопы касается пятки другой.

Позиция 3: стойка на одной ноге, другая согнута в коленном суставе и касается коленной чашечки опорной ноги.

Позиция 4: положение "ласточка".

Обследуемый в каждой позиции стоит с закрытыми глазами в течение 30 с.

Оценка вестибулярного анализатора по походке по прямой линии заключалась в следующем. Спортсмен с закрытыми глазами делает 5 шагов по прямой линии вперед и, не поворачиваясь, 5 шагов назад. Неточность выполнения двигательных действий указывает на низкий уровень координационных способностей.

При оценке по фланговой походке спортсмен делает пять приставных шагов вправо, затем пять приставных шагов влево.

Полученные данные на четырех этапах исследования, представленные в табл. 2 и 3, позволили выявить положительные изменения в технических показателях испытуемых ЭГ.

Таблица 2

Результаты пробы Ромберга, с

Номер позиции	ЭГ				КГ			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	12	15	20	22	12	13	15	18
2	11	17	22	23	10	12	18	18
3	16	25	30	33	15	26	28	28
4	10	18	22	25	10	15	16	17

Таблица 3

Результаты проб по прямой и фланговой линиям, число случаев

Походка	Случаи с нарушением	ЭГ				КГ			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
По прямой линии	Вестибулярного анализатора	47	45	40	40	45	43	44	43
	Мозжечка	10	11	9	8	9	9	8	8
Фланговая	Вестибулярного анализатора	42	40	38	36	40	39	39	38
	Мозжечка	5	6	4	4	6	6	5	5

Полученные результаты характеризуются возрастанием устойчивости вестибулярной системы, а именно вестибулосенсорных и вестибуломозжечковых реакций, что характеризуется положительной динамикой тренировки поддержания положения тела в пространстве при воздействии ускорений на организм во время активных движений и устойчивостью к риску чувства головокружения.

Результаты проведенных исследований по влиянию устойчивости вестибулярной сенсорной системы на физические способности занимающихся позволили сделать основной вывод: уровень травматизма среди учащихся зависит не только от общего состояния организма и организационно-технических мероприятий, но и от применения комплексов специальных упражнений физической подготовки, направленных на тренировку вестибулярной сенсорной системы, что позволяет снизить число соматических повреждений.

Список литературы

1. Барчуков Н. С. Физическая культура и физическая подготовка. — М.: Юнити — Дана, 2009. — 432 с.
2. Васнев В. А. Основы подготовки к военной службе: метод, материалы и документы. — М.: Просвещение, 2003. — 190 с.
3. Зимкин Н. В. Физиология человека: учебник для ин-тов физ. культуры. — М.: Физкультура и спорт, 1975. — 496 с.
4. Лукашев П. Д. Военно-спортивные игры школьников на местности. — М.: Просвещение, 1987. — 143 с.
5. Матвеев Л. П. Теория и методика физической культуры. — М.: Физкультура и спорт, 1991. — 543 с.

УДК 543.371

Е. О. Брежнева, асп., **В. Э. Дрейзин**, д-р техн. наук, проф.,
Юго-западный государственный университет, г. Курск
E-mail: bregnevaeo@mail.ru

Выбор сенсоров для разработки многосенсорного газоанализатора газовых смесей

Рассмотрены характеристики и приведен обзор различных типов промышленных газовых сенсоров с целью выбора сенсоров для разработки многосенсорного газоанализатора для систем жизнеобеспечения ответственных объектов.

Ключевые слова: газовый сенсор, газоанализатор, скорость отклика, диапазон измерений, точность, срок службы

Brezhneva E. O., Drejzin V. E. Choice of sensors for development of multisensor gas analyzer

The characteristics and the choice of the different types of industrial gas sensors for the creation of multi gas analyzer for life support systems for critical facilities.

Keywords: gas sensor, gas analyzer, response time, range of the measurements, accuracy, lifetime

Для систем жизнеобеспечения ответственных объектов необходимо контролировать концентрацию различных газов в воздушной среде помещений. К числу контролируемых газов относятся кислород O_2 , углекислый газ CO_2 , угарный газ CO , водород H_2 и метан CH_4 . При этом мониторинг воздушной среды должен производиться непрерывно в автоматическом режиме. Поэтому здесь неприменимы универсальные газоанализаторы на основе газовой хроматографии и ИК-спектроскопии. Отечественной промышленностью выпускается множество типов газоанализаторов, способных работать в автономном режиме, в том числе и на указанные газы, основанные на различных методах: каталитических, электрохимических, оптических и на основе полупроводниковых сенсоров. Причем, эти газоанализаторы предназначены для измерения концентраций каждого из указанных газов в отдельности. Газоанализаторов, позволяющих отдельно контролировать концентрацию различных газов, одновременно присутствующих в газовой смеси, промышленность не выпускает. Более того, сами газовые сенсоры в промышлен-

ных масштабах в России не выпускаются и закупаются за рубежом или изготавливаются производителями соответствующих газоанализаторов для собственных нужд (последнее касается, в основном, электрохимических сенсоров).

Учитывая, что большая часть используемых в газоанализаторах сенсоров обладает перекрестной чувствительностью к нескольким газам, для разделения их влияния необходима совместная обработка сигналов, получаемых от различных сенсоров с преимущественной чувствительностью к различным газам. Это и определяет актуальность создания многосенсорных газоанализаторов с совместной обработкой информации, получаемой от различных сенсоров. Кроме того, газоанализаторы позволят существенно уменьшить общее количество необходимых приборов при реализации систем жизнеобеспечения и мониторинга распределенных объектов. Отсюда и возникает задача оптимального выбора комплекта сенсоров для создания таких многосенсорных газоанализаторов. Авторы считают, что данная статья поможет облегчить такой выбор.

Общими требованиями при выборе сенсоров для многосенсорных газоанализаторов являются следующие:

— совокупность сенсоров по возможности должна включать сенсоры с различными принципами действия, что снижает вероятность взаимной корреляции между их выходными сигналами при анализе различных газовых смесей;

— сенсоры должны иметь оптимальный диапазон измерений, учитывающий предельную допустимую концентрацию (ПДК) токсичных газов и нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) горючих газов;

— сенсоры должны обладать высокой точностью, хорошей воспроизводимостью показаний в течение всего срока службы и низким технологическим разбросом характеристик;

— время реакции сенсоров на целевой газ должно быть минимально возможным;



— сенсоры должны иметь большой срок службы и обладать устойчивостью к деградации;

— наличие перекрестной чувствительности не является препятствием для применения сенсора при использовании его в многосенсорном газоанализаторе с совместной обработкой получаемой от сенсоров информации;

— наличие моделей, адекватно описывающих зависимость выходных сигналов сенсоров от концентраций газов и других влияющих факторов, поможет существенно облегчить задачу поиска алгоритмов обработки сигналов, но их отсутствие не должно служить ограничением при выборе сенсоров.

Теперь рассмотрим альтернативные варианты выбора сенсоров с преимущественной чувствительностью к каждому из анализируемых газов.

Выбор сенсора кислорода. Для нормального дыхания человека необходимо, чтобы объемная концентрация кислорода в воздухе составляла 21 %. При снижении концентрации кислорода менее 18 % начинается кислородное голодание (гипоксия). Информация о процентном содержании кислорода в воздухе необходима также для корректной работы самого газоанализатора, так как процессы, протекающие в большинстве сенсоров газа (полупроводниковых, каталитических), напрямую зависят от концентрации кислорода.

Для детектирования кислорода главным образом используются электрохимические сенсоры. На рынке существует много фирм, производящих электрохимические сенсоры кислорода. Среди них ведущими являются: Figaro Engineering Inc. (Япония), Nemoto & Co. Ltd (Япония), City Technology (Великобритания), Alphasense (Великобритания), Membrapor (Швейцария). Однако у большинства производителей (City Technology, Alphasense, Membrapor) данные сенсоры имеют весьма ограниченный срок службы (2–3 года). Одним из основных факторов при выборе такого сенсора является срок службы.

Сравнительный анализ сенсоров кислорода Ltd C/2 Ci-TiceL фирмы-производителя City Technology, Industrial O2-Sensor (International Technologies) и KE-25 (Figaro) представлен в табл. 1 [1–3].

Из данной таблицы видно, что наилучшими характеристиками обладает сенсор Industrial O2-Sensor (International Technologies). Так, данный сенсор имеет практически самый длительный срок службы среди электрохимических сенсоров кислорода. Исключение составляет сенсор KE-50 (Figaro), который имеет еще больший срок службы (10 лет), но при этом сильно уступает в точности по сравнению с сенсором KE-25 и составляет 2 % (против 1 % у KE-25). Однако отсутствие достаточной информации о дрейфе сенсоров кислорода фирмы

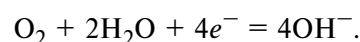
Таблица 1

Сравнительный анализ электрохимических сенсоров кислорода

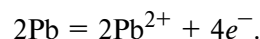
Характеристики	Тип сенсора (фирма-производитель)		
	Ltd C/2 CiTiceL (City Technology)	Industrial O2-Sensor (International Technologies)	KE-25 (Figaro)
Диапазон измерений, % O ₂	0...25	0,5...35	0...100
Срок службы	18 мес	6 лет	5 лет
Время отклика, с	<10	<5	12
Точность, %	—	—	1
Дрейф	Менее 5 % сигналов в год	<3 % сигналов в месяц	—
Ошибка нелинейности	0,5 % при 10 % O ₂	0...2 % O ₂ : ±0,1 % абсолютная, 2,1...35 % O ₂ : ± 0,5 % относительная	—

Figaro, а также значительное отличие в нормировании характеристик усложняет его сравнение с аналогичными сенсорами других производителей.

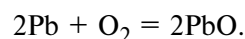
Сенсор кислорода Industrial O2-Sensor (International Technologies) представляет собой гальваническую ячейку, формирующую отклик, пропорциональный парциальному давлению кислорода [4]. Кислород диффундирует через кислородопроницаемую мембрану и затем восстанавливается на поверхности катода. В результате процесса восстановления генерируется ток, величина которого пропорциональна парциальному давлению кислорода. Реакция, протекающая на катоде, в общем виде выглядит следующим образом:



Материал анода окисляется по следующей реакции:



Общая химическая реакция, протекающая в ячейке:



Скорость диффузии кислорода через мембрану зависит от температуры. Для того чтобы скомпенсировать температурную зависимость, в цепь сигнала включается терморезистор, который имеет обратную температурную характеристику. Электрохимические сенсоры International Technologies имеют линейный сигнал, настолько хороший, что практически отсутствует гистерезис даже для больших диапазонов парциальных давлений. Срок службы сенсора зависит от тока, массы анодного материала и эффективности его потребления. Эф-

фективность анодного процесса определяется конструкцией анода, методом проводки и химическим составом анодного материала.

Основным законом, описывающим зависимость выходного сигнала от концентрации газа, для электрохимических сенсоров является закон Нернста [5]. Для идеального элемента разность потенциалов

$$E = (RT/2nF)\ln(p/p_r) \text{ или}$$

$$E = 0,9926 \cdot 10^{-4}(T/n)\ln(p/p_r),$$

где R — универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль · К); F — постоянная Фарадея, равная 96 500 Кл; n — число электронов молекулы газа, участвующих в реакции; T — абсолютная температура элемента, К; p , p_r — парциальное давление газа, Па, у измерительного электрода и у опорного электрода.

Обычно E составляет от нескольких десятков до нескольких сотен милливольт. Однако закон Нернста не учитывает влияние сопутствующих газов на выходной сигнал сенсора.

Выбор сенсора диоксида углерода. Диоксид углерода CO_2 , бесцветный газ со слегка кисловатым запахом и вкусом. Диоксид углерода не токсичен, но не поддерживает дыхание. Большая его концентрация в воздухе вызывает удушье. Для диоксида углерода максимальная разовая ПДК составляет 27 000 мг/м³.

Основными типами сенсоров, способных детектировать диоксид углерода, являются оптические и электрохимические сенсоры. Оптические сенсоры являются наиболее селективными, имеют более длительный срок службы, более высокую скорость отклика и обладают хорошей воспроизводимостью показаний (табл. 2) [6–8].

Как видно из табл. 2, оптические сенсоры разных производителей по основным характеристикам отличаются незначительно. Однако сенсоры фирмы City Technology имеют более высокую стоимость по сравнению с оптическими сенсорами других производителей.

Для определения целевого газа инфракрасные оптические сенсоры фирмы-производителя DuPont используют недисперсионный инфракрасный (NDIR) принцип [6].

Сенсор содержит источник излучения, имеющий длительный срок службы, оптическую кювету, в которую диффундирует газ, пироэлектрический инфракрасный детектор, обеспечивающий двойную температурную компенсацию и интегральный термистор, контролирующий внутреннюю температуру. Пироэлектрический детектор содержит два детектора, каждый из которых имеет индивидуальный чувствительный элемент и опти-

Таблица 2

Характеристики оптических и электрохимического сенсоров углекислого газа

Характеристики	Тип сенсора (фирма-производитель)		
	Оптический MSH-P-CO ₂ /NC/TC (Dynamet)	Оптический City Technology (IRceL® CO ₂)	Электрохимический CO ₂ -D1 (Alphasense)
Измеряемый диапазон, %	0...5	0...5	0...5
Срок службы, лет	>5	>5	>2
Минимальное разрешение	0,005 % CO ₂ для нуля, 0,15 % CO ₂ для диапазона	1 % от изменяемого диапазона	100 ppm
Точность (–20 °С...+50 °С)	±(0,1 % объема CO ₂ + 4 % от концентрации)	—	—
Время отклика	<35 с	<30 с	2...4 мин
Дрейф нуля	<80 ppm CO ₂ в месяц	±50 ppm CO ₂ в месяц при 20 °С	±3 мВ/день
Воспроизводимость показаний для нуля	< ±0,003 % CO ₂	±50 ppm CO ₂ при 20 °С	—
Воспроизводимость показаний для 5 % CO ₂	< ±0,075 % CO ₂	±50 ppm при 20 °С	—

ческие фильтры, обеспечивающие отклик на определенные полосы инфракрасного излучения. Чувствительные элементы, индивидуально буферированы на миниатюрных полевых транзисторах, чтобы обеспечивать достаточный выходной сигнал. Оптические фильтры, связанные с чувствительным рабочим элементом, пропускают излучение в рамках той полосы инфракрасных длинных волн, которые абсорбируются определяемым газом.

Оптические фильтры, соединенные с чувствительным элементом сравнения, пропускают излучения в рамках нейтральной полосы инфракрасных волн, которые не абсорбируются определяемым газом. Элемент сравнения контролирует интенсивность инфракрасного излучения и используется для компенсации любых изменений в характере излучения, которое не абсорбируется целевыми газами. Эталонный элемент также обеспечивает первичные средства температурной компенсации.

Двойной пироэлектрический детектор производит два выходных сигнала в ответ на импульсное изменение излучения от источника:

1) рабочий сигнал, который уменьшается в присутствии определяемого газа;

2) эталонный сигнал, который используется для контроля за интенсивностью излучения источника.

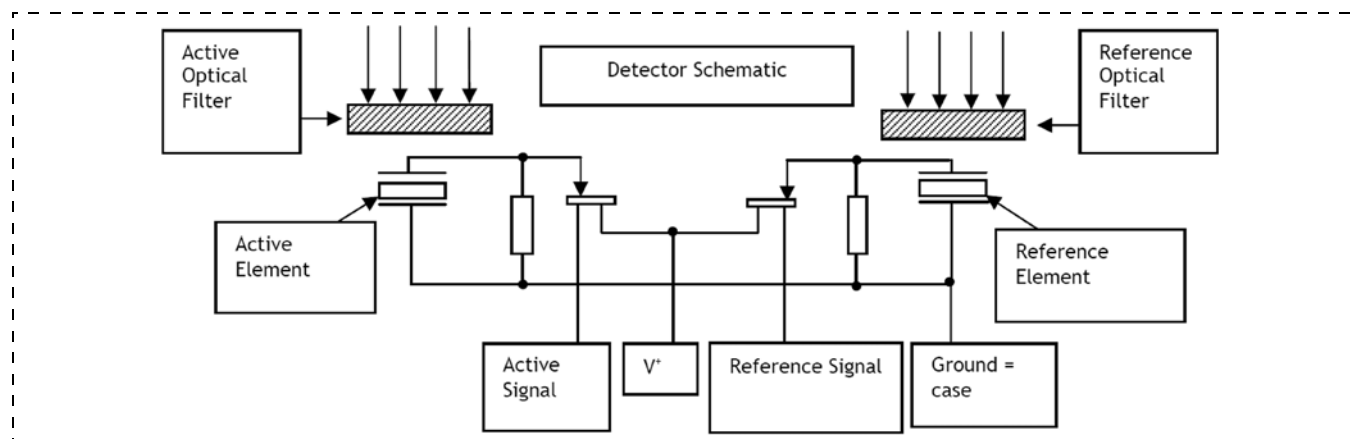


Схема детектора оптического сенсора газа фирмы Dynapent

Схема детектора оптического сенсора газа фирмы Dynapent представлена на рисунке.

Основной закон поглощения оптического излучения, на котором основано применение эффекта абсорбции для исследования и анализа вещества, объединенный закон Бугера—Ламберта—Бэра [9—12].

$$I = I_0 \exp(-\sigma Nl),$$

где I — интенсивность прошедшего света; I_0 — интенсивность монохроматического светового потока; l — толщина слоя среды; N — концентрация определяемого вещества; σ — сечение поглощения определяемого вещества на данной длине волны падающего излучения.

Однако закон справедлив, только если излучение является монохроматическим. Он также не учитывает влияние давления, температуры и сопутствующих газов [13]. Для устранения или уточнения источников ошибок обычно применяются приборы, работающие по двухлучевой схеме, что и используется в технологиях фирмы Dynapent.

Достоинствами оптических сенсоров является высокая чувствительность, селективность, точность, стабильность характеристик, воспроизводимость показаний, широкий диапазон измеряемых газов и

длительный срок службы сенсоров. Они нечувствительны к электромагнитным и радиационным полям, способны передавать аналитический сигнал без искажения на большие расстояния.

К их недостаткам следует отнести невысокую скорость отклика сенсора, нелинейность характеристик, достаточно высокую, хотя и селективную чувствительность к световым помехам, сильное влияние температуры и высокую стоимость.

Выбор сенсора угарного газа. Предельно допустимая концентрация монооксида углерода в воздухе (суточная доза) составляет 20 мг/м^3 . Концентрация его в воздухе более 0,1 % (по объему) приводит к смерти в течение одного часа.

Основными типами сенсоров, способных детектировать оксид углерода, являются электрохимические и полупроводниковые сенсоры газа. В табл. 3 приведены основные характеристики сенсоров оксида углерода [14—17].

Как видно из таблицы полупроводниковые сенсоры обладают большим быстродействием и имеют более длительный срок службы, чем электрохимические. Среди полупроводниковых сенсоров в соотношении цены и качества лидируют сенсоры фирмы Figaro, что обусловлено хорошо налажен-

Таблица 3

Основные характеристики сенсоров на оксид углерода

Характеристики	Тип сенсора (фирма-производитель)			
	Полупроводниковый TGS2442 (Figaro)	Полупроводниковый AS-MLG (AppliedSensor)	Электрохимический CO-D4 (Alphasense)	Электрохимический CO/S-1000 (Membrapor)
Диапазон измерений, ppm	30...1000	0,5...500	0...1000	0...1000
Время отклика, с	<2	<2	<25	<35
Срок службы	Более 5 лет	Более 5 лет	>24 мес	3 года
Селективность	Незначительная чувствительность к метану, диоксиду углерода и т. д.	Незначительная чувствительность к водороду и углеводородам	Чувствителен к оксиду азота, водороду, этилену	Чувствителен к оксиду азота, водороду, сероводороду

ным массовым производством. Полупроводниковые сенсоры фирмы Figaro производятся на основе оксида олова. Принцип действия сенсоров основан на изменении электропроводности полупроводниковой пленки вследствие адсорбции газа на ее поверхности. На трубчатую подложку из оксида алюминия наносится тонкий слой оксида олова. Для повышения чувствительности полупроводника к конкретному типу газа используется легирование элементами, обладающими каталитическими свойствами (Pt, Si, Ni, Pd).

При нагреве сенсора до рабочей температуры (около 400 °С) при помощи нагревательного элемента, встроенного в сенсор, происходит адсорбция содержащегося в воздухе кислорода на поверхность сенсора, имеющую мелкозернистую структуру. Протекание адсорбции зависит от концентрации газа примеси. В результате поверхностных эффектов изменяется электрическая проводимость сенсора. Отклик датчика выражается через изменение его сопротивления в зависимости от концентрации газа, изменяющего адсорбцию кислорода на материале сенсора.

Полупроводниковые сенсоры обладают чувствительностью по отношению к нескольким различным газам одновременно. Для данного типа сенсоров характерно два способа повышения селективности. Во-первых, в оксид олова вводятся специальные легирующие добавки (катализаторы) на этапе изготовления, во-вторых, для каждого выбирается своя оптимальная рабочая температура сенсора, что достигается подачей на нагревательный элемент определенного постоянного напряжения. Данные способы повышения селективности сенсора и используются фирмой Figaro.

Соотношение между сопротивлением сенсора и концентрацией газа примеси задается выражением:

$$R = K[C]^{-x},$$

где R — электрическое сопротивление сенсора; $[C]$ — концентрация газа примеси, ppm; K и x — постоянные, зависящие от природы газа и природы чувствительного слоя сенсора (безразмерные величины).

Однако данное выражение не учитывает влияние температуры, влажности, парциального давления кислорода и сопутствующих газов на показания сенсора. В настоящее время активно ведется поиск модели, наиболее адекватно описывающей зависимость выходного сигнала полупроводникового сенсора от концентрации газа.

Выбор сенсора водорода. Водород при смеси с воздухом образует взрывоопасную смесь — так называемый гремучий газ. Наибольшую взрывоопас-

ность этот газ имеет при объемном отношении водорода и кислорода 2 : 1. или водорода и воздуха приблизительно 2 : 5. Также водород пожароопасен. Взрывоопасными являются смеси водорода с кислородом при концентрациях водорода от 4 до 96 % по объему.

Водород способен детектировать и полупроводниковые, и каталитические, и оптические, и электрохимические сенсоры. Основные требования, предъявляемые к сенсорам водорода: быстродействие (время отклика менее 20 с), высокая точность и надежность.

По этим критериям наиболее подходящими сенсорами для определения водорода являются каталитические и полупроводниковые сенсоры, при этом вторые значительно уступают первым в точности. Использование электрохимических и оптических сенсоров для определения водорода нежелательно, что связано с длительным откликом таких сенсоров (от 60 с). Помимо этого электрохимические сенсоры имеют ограниченный диапазон измерений (0...1000 ppm). Поэтому выбор возможен между полупроводниковыми и каталитическими сенсорами. Наилучшими среди них являются полупроводниковый сенсор HLS-440 (AppliedSensor) на основе полевых транзисторов и каталитический сенсор NP-AHS (Nemoto). Они имеют одинаковый диапазон измерений (0...4 %), высокую скорость отклика (2 и 8 с соответственно) и длительный срок службы (5 лет), но значительно различаются в точности. Точность полупроводникового сенсора NLS-440 (AppliedSensor) составляет ± 3000 ppm, в то время как точность каталитического сенсора NP-AHS (Nemoto) — ± 200 ppm [18, 19].

Каталитический сенсор фирмы Nemoto состоит из спиралевидной платиновой проволоки, встроенной в керамическую гранулу [20]. Поверхность гранулы покрыта слоем благородного металла с сильно развитой поверхностью, который нагревается и действует как катализатор, стимулирующий окисление горючих газов. Для нагрева до рабочей температуры гранула и, следовательно, каталитический слой разогреваются током, проходящим по расположенной внутри платиновой спирали. В присутствии горючего газа или горючих паров горячий катализатор способствует реакции окисления. Так как при окислении выделяется дополнительная теплота, то температура катализатора и расположенных под ним гранулы и спирали повышается. Повышение температуры изменяет электрическое сопротивление спирали, которое и представляет собой сенсорный сигнал.

Каталитические сенсоры всегда производятся в паре: активный катализируемый элемент дополняется подобным элементом, который не содержит



катализатора и исключает окисление горючих газов на его поверхности. Такой компенсирующий элемент используется как элемент сравнения, с которым сравнивается сигнал датчика, тем самым устраняя эффект влияния окружающей среды.

Однако модели, учитывающей наличие сопутствующих газов в анализируемой смеси, к которым чувствителен сенсор, а также влияние окружающей температуры и влажности на сигнал каталитического сенсора найдено не было.

Основные достоинства сенсоров фирмы Nemoto [20]:

- 1) линейность выходного сигнала в диапазоне 0...100 % НКПР;
- 2) быстрый отклик;
- 3) практически отсутствует влияние температуры и влажности окружающей среды на показания сенсора;
- 4) долгосрочная стабильность;
- 5) отличная воспроизводимость показаний;
- 6) определение минимальных концентраций газов (до 50 ppm).

Выбор сенсора метана. Сам по себе метан CH_4 — простейший углеводород, бесцветный газ без запаха не токсичен и не опасен для здоровья человека. Однако он взрывоопасен при концентрации в воздухе от 5 до 15 %. Наиболее взрывоопасная концентрация — 9,5 %.

Для определения концентрации метана в воздухе, как правило, используются каталитические сенсоры газа. Кроме них выпускаются оптические, электрохимические и полупроводниковые сенсоры на метан, однако скорость отклика таких сенсоров меньше скорости отклика каталитических сенсоров и составляет от 10 до 30 с.

Основным недостатком каталитических сенсоров является низкая селективность. Они чувствительны к широкому спектру горючих газов. Схожие физические и химические свойства горючих газов, а также неселективность самой протекающей в сенсоре реакции, значительно усложняет процесс избирательного определения газов. Ингибирование и отравление катализатора также приводит к снижению селективности сенсора. Способами повышения селективности каталитических сенсоров является применение компенсирующего элемента и выбор соответствующего каталитического материала.

Вторым недостатком каталитических сенсоров является невысокая стабильность. Дрейф характеристик сенсора возникает как в результате изменений параметров окружающей среды, так и механизмов отравления и ингибирования катализатора. В первом случае снизить дрейф помогает наличие компенсирующего элемента, во втором

Таблица 4

Характеристики сенсоров метана

Характеристики	Тип сенсора (фирма-производитель)		
	Каталитический NP-17 (Nemoto)	Электрохимический CAT16 (Sity Technology)	Оптический MSH-НС/ТС (Dynamet)
Диапазон измерений, % НКПР	0...100	0...100	0...100
Чувствительность	20 мВ (% CH_4 /воздух)	12 мВ (% метана)	11 % для 100 % НКПР CH_4
Время отклика, с	<8	<10	<30
Точность	± 1 % НКПР CH_4	—	—
Долгосрочный дрейф чувствительности	$< \pm 0,5$ % НКПР/месяц	<3 % сигнала/год	—
Долгосрочный дрейф нуля	$< \pm 1/2$ мВ/месяц	<3 % НКПР CH_4 /год	$< \pm 1$ % НКПР CH_4 /месяц
Срок службы, лет	>5	>5	>5

использование специальных конструктивных решений, например фильтров.

Для работы большинства каталитических сенсоров необходимым условием является наличие кислорода (причем не менее 20 %), что обусловлено лежащей в основе принципа работы каталитического сенсора реакции окисления. Сравнительный анализ каталитических сенсоров на метан представлен в табл. 4 [21—23].

Как видно из этой таблицы, каталитические сенсоры фирмы Nemoto не только имеют длительный срок службы и малое время отклика, но и не уступают другим типам сенсоров по стабильности характеристик, что обусловлено применением в них вышеперечисленных методов снижения дрейфа.

Выводы. Данный обзор показывает целесообразность использования сенсоров различного типа для построения многосенсорного газоанализатора, что помимо потенциальной оптимальности набора их метрологических и эксплуатационных характеристик в силу различий их принципов действия предполагает снижение взаимной корреляции между их выходными сигналами и является предпосылкой для отдельного измерения концентраций компонентов в многокомпонентной газовой смеси. Для создания такого многосенсорного газоанализатора необходимо иметь математические модели, описывающие поведение выходных сигналов сенсоров не только от концентрации основного компонента, но и сопутствующих газов, влажности и температуры. Однако фирмы-производители промышленно выпускаемых сенсоров не снабжают модели потребителей таким математическими моделями, что создает дополнительные сложности на пути создания многосенсорных газоанализаторов.

Их можно преодолеть путем построения математической модели с использованием обработки сигналов, получаемых от сенсоров с помощью искусственной нейронной цепи, обученной на статистически достоверной выборке газовых смесей, получаемых с помощью автоматизированного испытательного комплекса на основе синтезатора газовых смесей с задаваемыми парциальными концентрациями компонентов.

Список литературы

1. <http://www.platan.ru/pdf/ec219.pdf>
2. <http://www.it-wismar.de/>
3. <http://www.citytech.com/PDF-Datasheets/c2.pdf>
4. **Официальный сайт** фирмы International Technologies: <http://www.it-wismar.de/index.html>
5. **Левченко А.** Твердотельные электрохимические сенсоры активных газов / А. Левченко, Ю. Добровольский. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. — 2008. № 1. С. 66—71.
6. <http://www.dynamment.com/infrared-sensor-data/tds0004.PDF>
7. <http://www.citytech.com/PDF-Datasheets/ircelco2.pdf>
8. <http://www.alphasense.com/pdf/CO2DI.pdf>
9. **Egorov A. A., Egorov M. A., Tsareva Yu. I., Chekhlova T. K.** Study of the integrated-optical concentration sensor for gaseous substances // Laser Physics. — 2007. — V. 17. — P. 50—53.
10. **Egorov A. A., Egorov M. A., Smoliakov R. B., Chekhlova T. K., Timakin A. G.** Integrated-optical low-loss PbO₂ diffusion waveguide sensitive chemical sensor // Journal of Radio Electronics. — 2007. — N 5.
11. **Хансперджер Р.** Интегральная оптика: Теория и технология. — М.: Мир, 1985.
12. **Демтрёдер В.** Лазерная спектроскопия: Основные принципы и техника эксперимента. — М.: Наука, 1985.
13. **Аш Ж.** Датчики измерительных систем. В 2-х книгах. Кн. 2. / Ж. Аш и др. — М.: Мир, 1992. — 424 с.
14. http://www.figaro.co.jp/en/data/pdf/20091110164409_14.pdf
15. <http://www.gassensor.ru/data/files/pdf/Alphasense/COD4.pdf>
16. http://www.appliedsensor.com/pdfs/AS-MLC_CO_0809.pdf
17. <http://www.gassensor.ru/data/files/pdf/Membrapor/CO/CO-S-1000.pdf>
18. <http://eng.gassensor.ru/data/files/pdf/Nemoto/ds-npahs.pdf>
19. <http://www.gassensor.ru/data/files/hydrogen/NP-AHS.pdf>
20. http://www.nemoto.co.jp/en/column/09_ecco.html
21. <http://www.gassensor.ru/data/files/pdf/Nemoto/ds-np30.pdf>
22. <http://www.sixthsens.ru/pdf/Sixth-Sense/CAT-16-Element.pdf>
23. <http://www.dynamment.com/infrared-sensor-data/tds0001.pdf>

УДК 621.438

И. Г. Гоголев, д-р техн. наук, проф., **Т. А. Николаева** д-р пед. наук, проф.,
А. М. Дроконов, канд. техн. наук, проф., Брянский государственный технический университет
E-mail: heat@tu.bryansk.ru

Генерация и методы снижения вибрации в турбомашинах

Приведены результаты исследования вибрационных характеристик газотурбинных установок. Рассмотрены способы снижения виброактивности турбомашин.

Ключевые слова: турбомашинa, подшипник, виброскорость, виброперемещение

Gogolev I. G., Nikolaeva T. A., Drokonov A. M. The generation and methods of reduce vibration in the turbomachines

The research's results of vibration characteristics of gas turbines have been given. The ways of reduce the vibration activity of turbomachinery have been considered.

Keywords: turbomachinery, bearing, vibrovelocity, vibrodisplacement

Надежность работы энергоблоков в значительной мере определяется их вибрационным состоянием. Непосредственным источником вибрации турбоагрегатов является валопровод, передающий

при вращении через масляную пленку динамическую неуравновешенность на корпуса опорных подшипников, которые оказывают вибровоздействие на оболочки цилиндров и фундаменты установок.

Вибрация турбоблока может происходить в трех взаимно перпендикулярных направлениях — вертикальном, горизонтально-осевом и горизонтально-поперечном, параметры которых регистрируются в подшипниках с помощью датчиков.

Негативные последствия даже умеренных вибраций имеют свойство накапливаться и проявляться в различной форме. Это может найти выражение в появлении усталостных трещин в роторе, штоках регулирующих клапанов, чугунных опорах; опасности повреждения уплотнений турбины, водородных уплотнений генератора и системы охлаждения; полусухого трения в подшипниках; в ухудшении работы системы регулирования. Необходимо учитывать также негативное воздействие вибрации на обслуживающий персонал.



Опыт эксплуатации показывает, что примерно 20 % времени вынужденных простоев турбомашин связано с вибрационной наладкой.

При классификации причин вибрации следует учитывать два фактора: основные силы, вызывающие колебательные процессы, и условия, формирующие их интенсивность, т. е.

$$q = f(Q, \mu),$$

где q — интенсивность вибрации; Q — нестационарные силы; μ — условия проявления динамических нагрузок (жесткость и характеристики демпфирования системы, степень ее отстройки от резонанса).

Уровень воздействия каждого из факторов зависит от конструктивных особенностей машины, а потому повышенная вибрация свидетельствует о неточности и недостаточности исходных данных, несовершенстве методов расчета и проектирования. В процессе производства, монтажа, ремонта и эксплуатации агрегата возможно отклонение параметров системы от установленных, что вызывает отличие условий ее функционирования и, как следствие, повышенную виброактивность.

Анализ колебательных процессов в турбомашинах показал, что вибрация подшипников, валов и других элементов во многих случаях носит негармонический характер, когда на колебания основной частоты, соответствующей частоте вращения ротора, накладываются составляющие высших и низших порядков, а присутствие существенных по амплитуде высших гармоник свидетельствует о действии на колеблющуюся систему значительных нагрузок.

Если в частотном спектре вибрации энергоустановки преобладает синусоида с наибольшей амплитудой, совпадающая с частотой вращения, то такую вибрацию называют вибрацией оборотной частоты.

В случае, когда определяющая спектр вибрация машины имеет частоту, равную примерно половине частоты вращения, ее относят к низкочастотной, а если она оказывается вдвое выше частоты вращения, считают, что ротор подвержен высокочастотной вибрации.

Каждый вид вибрации имеет свою природу возникновения, а потому необходимы особые меры их устранения. Рассмотрим эту проблему подробнее.

1. Вибрация оборотной частоты возникает из-за несовпадения центров тяжести отдельных сечений ротора с осью вращения. Причиной могут служить следующие факторы.

1.1. Неуравновешенность ротора, возникающая на стадиях изготовления, монтажа, ремонта и эксплуатации, формирующая прецессионный характер его движения, что может быть устранено балансировкой валопровода. При этом следует учи-

тывать, что осуществить идеальную балансировку невозможно, а потому ротор будет всегда иметь остаточный небаланс, вызывающий вибрацию установившейся. В этом случае мероприятия по снижению виброактивности системы следует разрабатывать с учетом частоты и распределения возмущающих сил вдоль оси валопровода, а также его динамических характеристик.

Следует также иметь в виду, что действительная критическая частота вращения может отличаться от расчетной и оказаться близкой к рабочей вследствие неравномерного теплового расширения корпусов подшипников, изменения податливости масляных клиньев из-за колебаний температуры смазывающего агента и возможного изменения конфигурации расточки вкладышей при ремонте.

1.2. Прогибы ротора, возникающие вследствие тепловой анизотропии, образующейся при неравномерном затвердевании его отливки или в процессе термообработки поковки. Для исключения из производства заготовок с тепловой анизотропией каждая поковка ротора должна проходить тепловую пробку.

Причиной термического дисбаланса может быть также задевание деталей ротора о статор, а в барабанных конструкциях — протечка теплоносителя или масла внутрь полостей валопровода через различные неплотности.

Важнейшим диагностическим признаком тепловой разбалансировки является значительный рост вибрации на первой критической частоте вращения (для гибкого вала) при выбеге в нагретом состоянии.

1.3. Нарушение плотности посадки деталей (дисков рабочих колес, втулок уплотнений). На определенных частотах вращения возможно появление зазора в зоне посадочных поясов и смещение насадных элементов.

1.4. Недостаточная жесткость опорной системы способствует появлению вибрации, амплитуда которой обратно пропорциональна ее динамической жесткости, т. е.

$$A = P/\mu_g,$$

где P — амплитуда возникающей силы; μ_g — динамическая жесткость системы.

Изменение μ_g происходит за счет снижения жесткости опор, что может быть вызвано "опрокидыванием" корпуса турбины, нарушением связи корпуса с опорами, появлением трещин в несущих элементах фундамента и его деформацией, ослаблением креплений.

Возникающая по этой причине вибрация, как правило, имеет оборотную частоту и синусоидаль-

ную форму. Ее отличительной особенностью является зависимость от теплового состояния турбины.

Следует также учитывать, что из-за ослабления жесткости опорной системы или особенностей ее конструкции при рабочей частоте вращения ротора возможно появление резонанса отдельных опор (корпуса подшипника, элементов фундамента), а потому необходимо повышенное внимание обслуживающего персонала к техническому состоянию последних.

2. Низкочастотная вибрация, основной причиной возбуждения которой служит потеря ротором динамической устойчивости на масляном слое опорных подшипников, считается наиболее опасной.

Устойчивость вращения зависит от конструкции ротора и его вибрационных характеристик. Так, жесткие роторы мало подвержены низкочастотной вибрации.

Различают два фактора, возбуждающих низкочастотную вибрацию: масляный (гидродинамический), источником которого является масляный слой подшипника, и газодинамический, создаваемый в проточной части энергией рабочего тела.

Опыт эксплуатации показывает, что возбуждение низкочастотных колебаний гидродинамическими силами зависит в основном от температуры масла, окружной скорости шейки вала и удельной нагрузки на подшипник. Последний параметр свидетельствует о необходимости очень точной центровки роторов. При этом следует учитывать, что центровка может быть нарушена в условиях эксплуатации, например, при установке вблизи колонн фундамента теплообменников, за счет чего возможно непредусмотренное их расширение, или при неравномерной осадке фундамента агрегата.

Низкочастотная вибрация может возникнуть и под воздействием неуравновешенных газодинамических сил: "венцовых", создаваемых неравномерностью окружного усилия на венце рабочих лопаток; "надбандажных", вызываемых неравномерным распределением давления по окружности бандажных каналов, и "лабиринтовых", обусловленных неравномерным распределением давления по окружности уплотнений (диафрагменных, промежуточных, концевых) [1]. Эффективным методом уменьшения последних является соответствующее конструктивное оформление уплотнений, например, в виде сотовых вставок для роторов облегченного типа (авиационных машин).

Уровень низкочастотной вибрации может быть снижен и за счет выполнения специальных мероприятий, например в период ремонта агрегатов:

— проверки и восстановления формы вкладышей подшипников;

— устранения перекосов осей вкладышей подшипников по отношению к оси валопровода;

— проверки и восстановления радиальных зазоров в уплотнениях;

— центровки роторов по полумуфтам с учетом эксплуатационных перемещений подшипников.

3. Высокочастотная вибрация создается под воздействием несимметрии сечения вала (анизотропии ротора). Такие колебания не связаны с неуравновешенностью последнего, а потому не могут быть устранены балансировкой.

Основными источниками высокочастотных вибраций, например в парогенераторе, служат:

— электрический генератор, имеющий высокую разножесткость сечений ротора;

— ухудшение крепежа отдельных деталей валопровода;

— шпоночные пазы дисков, колес насосов и др.

4. Особо следует учитывать влияние на вибрационное состояние агрегатов некоторых конструктивных и режимных параметров, которые в зависимости от ряда факторов могут содействовать интенсификации различных форм колебаний системы с развитием при определенных условиях резонанса.

4.1. Влияние дефектов муфт. Подвижные и гибкие муфты способны компенсировать расцентровку и излом осей практически без изменения условий работы соединяемых валопроводов, в то время как жесткие — полностью передают это влияние на опоры.

Вместе с тем, опыт эксплуатации мощных турбоагрегатов с гибкими соединениями показал, что они требуют тщательного монтажа и подгонки рабочих элементов и при возникновении расцентровки валов сами становятся источником повышенной вибрации, причем в этом случае их работа существенно ухудшается с ростом передаваемого крутящего момента (мощности турбины), а также при повышении дисбаланса роторов. Кроме того, увеличение вибрации подвижных муфт вызывается отсутствием контакта рабочих поверхностей на кулачках за счет их недостаточной чистоты или излома, плохой смазки. В связи с этим в крупном энергомашиностроении наибольшее распространение получили полужесткие и, особенно, жесткие муфты. Следует отметить, что на вибрационное состояние последних существенно влияют дефекты сопряжения, такие как коленчатость, излом оси, небаланс.

Дефекты сопряжения муфт, как и их несоосность вследствие изгиба концов роторов при вращении, по характеру вызываемой вибрации близки к дисбалансу.

4.2. Влияние несоосности жесткосвязанных валов. Несоосность роторов относительно центров



расточки подшипников может образоваться вследствие неравномерности тепловых деформаций фундамента, при нарушении организованного теплового расширения цилиндров турбомашин и др. Образующееся при этом перераспределение нагрузок между опорами зависит от дисбаланса роторов и связано со смещением цапф в подшипниках и изменением характеристик демпфирования масляного слоя.

Изменение вибрации опор из-за несоосности валопровода в наибольшей степени сказывается на характере первой гармоники спектра колебаний, имеющей оборотную частоту, за исключением случаев потери устойчивости вала на масляном слое, когда, например, в результате перераспределения статических сил тяжести опоры становятся разнонагруженными, что вызывает формирование низкочастотных возмущений.

4.3. Продольная вибрация радиальных подшипников. Нестационарные силы в опорных системах турбомашин могут быть вызваны угловыми перемещениями шеек ротора, вращающегося с прогибом; конструктивной асимметрией опор; противофазными колебаниями газовпускных и выхлопных патрубков. Так, угловые перемещения шейки в вертикальной плоскости передаются масляной пленке, которая переносит их на корпус подшипника, вызывая продольные колебания последнего.

Конструктивная асимметрия подшипника (несовпадение оси его симметрии с осью приложения нагрузки) приводит к возникновению возмущающей силы и изгибающего момента в осевом направлении, вызывая в опорной системе адекватные колебательные процессы.

4.4. Тепловые и вибрационные деформации фундаментов. Исследования группы фундаментов мощных энергетических установок свидетельствуют о достаточно высокой их виброактивности, интенсивность которой даже в однотипных конструкциях изменяется в широких пределах, что вызвано различиями в технологии изготовления плит и колонн, возможными отступлениями от проекта и др.

После пуска турбоагрегатов происходит прогрев машины, ее опор и фундамента, причем в последнем этот процесс завершается через 1,5...2 недели. В результате возникают тепловые расширения, от равномерности которых зависит относительное положение подшипников и, следовательно, центровка валопровода, оказывающая влияние на характер вибрации.

В процессе импульсных нагрузок, генерируемых агрегатами, проявляются остаточные деформации фундаментов, что также нарушает соосность турбоустановок и вызывает необходимость

повторных центровок валопровода. Учитывая это, рекомендуется проводить такую операцию по специальной технологии, учитывающей эксплуатационные факторы.

4.5. Возмущающие электромагнитные силы. Среди особых причин, вызывающих вибрацию паротурбинных блоков, следует выделить возмущающие электромагнитные силы, возникающие вследствие нарушения электромагнитной симметрии генератора, величина которых в значительной степени зависит от вырабатываемой мощности.

Принимая во внимание, что каждому турбоагрегату свойственна определенная виброактивность, "Правилами технической эксплуатации" предусмотрены жесткие нормы их допустимых значений для энергетических установок различных классов.

Периодический мониторинг вибрации основного и вспомогательного оборудования, а также трубных обвязок, позволяет оценить:

- надежность работы турбоблока;
- гигиенические показатели при эксплуатации энергоустановки (в сравнении с санитарными нормами);
- эффективность выполненных мероприятий по виброгашению.

Так, санитарными нормами вибрация рабочих площадок обслуживания турбомашин ограничивается виброскоростью на уровне 2,0 мм/с на частотах более 8 Гц (ГОСТ 12.1.012—2004).

Основной целью нормирования технических уровней вибрации является решение диагностической задачи — создание условий эксплуатации, при которых имеется возможность обнаружения даже незначительных повреждений деталей на начальной стадии их формирования. Для этого производится нормирование вибрации опор подшипников, корпусов цилиндров, фундаментов и маслопроводов.

Вибрационное состояние турбоблока следует оценивать по наибольшему значению виброскорости его элементов, так как разрушительные свойства вибрации определяются преимущественно энергией колебаний.

Нормы вибрации предусматривают возможность длительной эксплуатации установки при виброскорости корпусов подшипников не более 2,8 мм/с, что эквивалентно размаху колебаний 15 мкм. Допускается кратковременная работа агрегата при ее значении 4,5 мм/с, а при превышении уровня 7,1 мм/с (размахе более 40 мкм) эксплуатация турбомашин должна быть прекращена.

Для детального изучения вибрационного состояния турбоблоков необходимы специальные виброакустические исследования, в процессе которых могут быть установлены следующие факто-

ры: характер вибрационных процессов, причины повышенной вибрации, явления, способствующие интенсификации колебательных процессов в элементах машин. Изучение основных динамических характеристик агрегатов при различных условиях эксплуатации позволит оценить надежность системы валопровод—опоры—фундамент (м. б. поставить тире), проанализировать состояние вибрационной отстройки ротора и других элементов турбогруппы, изучить уровень дисбаланса вдоль линии валопровода, а также факторы, формирующие нестационарные явления.

По результатам вибрационных исследований может быть выполнен временной, частотный и статистический анализ динамических характеристик системы.

Временной анализ позволяет посредством изучения трех основных гармоник определить причины возникновения нестационарных процессов; частотный — включает две основные области: низкочастотного (до ~150 Гц) и высокочастотного (до 1...2 кГц) спектров, из которых первая характеризует конкретные дефекты оборудования (потеря устойчивости, дисбаланс), а вторая используется для вибродиагностики системы.

Статистический анализ позволяет произвести разработку нормативных критериев, служащих для оценки и сравнения однотипных машин.

С целью накопления и систематизации таких материалов были выполнены исследования виброактивности энергетических установок средней мощности. Объектом изучения служили газоперекачивающие агрегаты (ГПА) типов ГТК-10-4 и ГТ-6-750, в которых на номинальных режимах эксплуатации были исследованы вибрационные характеристики опорно-упорных подшипников компрессора, турбины и нагнетателя газа, а также рабочих площадок обслуживания установки.

При изучении виброактивности ГПА типа ГТК-10-4 с нагнетателем типа 520-12-1 в качестве анализируемых параметров использованы среднеквадратические значения (СКЗ) виброскоростей крышек подшипников V_e (мм/с) и амплитуда их смещения S (мкм), регистрация которых производилась в октавной полосе в частотном диапазоне 8... 10³ Гц.

Гигиенические характеристики ГПА типа ГТ-6-750 с нагнетателем типа Н-300-1,23 оценивались по величинам СКЗ виброскоростей рабочих площадок обслуживания — V (мм/с), замеры которых выполнялись на частотах 2...63 Гц (согласно СНиП).

На рис. 1 проиллюстрированы СКЗ виброскоростей опорно-упорных подшипников компрессора, турбины и нагнетателя ГПА типа ГТК-10-4, за-

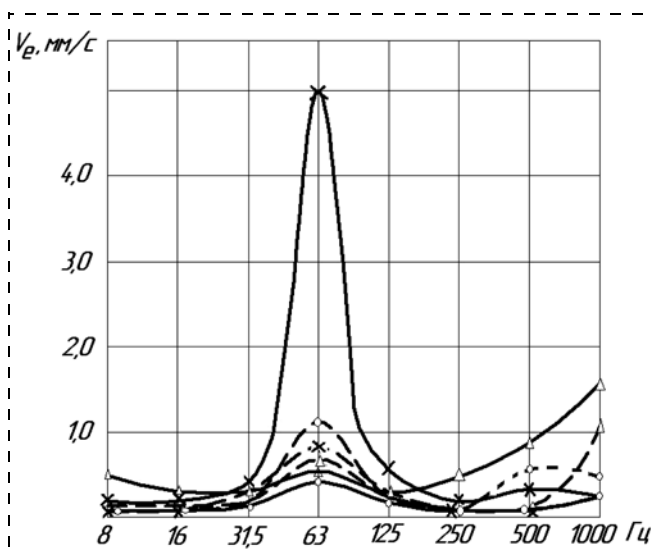


Рис. 1. СКЗ виброскоростей опорно-упорных подшипников газоперекачивающего агрегата типа ГТК-10-4:

○ — компрессора; × — турбины; Δ — нагнетателя; --- — вертикальное направление; — — поперечно-горизонтальное направление

фиксированные в вертикальном и поперечно-горизонтальном направлениях, где их величины имели наибольшие значения.

Как видно, подшипник компрессора обладает повышенной виброактивностью в вертикальном направлении, где ее значения на частоте 63 Гц составили $V_e^B = 1,2$ мм/с (при числе оборотов ротора $n_{ТВД} = 95$ 1/с). На этом режиме и, в поперечной плоскости рассматриваемый узел имеет наибольшие уровни вибрации — $V_e^H = 0,5$ мм/с.

Максимальные значения СКЗ виброскоростей опорно-упорного подшипника турбины зарегистрированы также на частоте 63 Гц (при числе оборотов $n_{ТВД} = 85$ 1/с), но ее экстремальные уровни наблюдались в поперечном направлении, где этот показатель составил $V_e^H = 5,0$ мм/с, что превышает допустимые значения.

Анализ вибрационного состояния подшипника нагнетателя свидетельствует о том, что жесткость его системы существенно отличается от жесткости опорных узлов турбомашин, что вызвало смещение пика виброактивности в область повышенных частот (см. рис. 1).

На рис. 2 проиллюстрированы результаты измерения амплитуды колебаний подшипника турбины. Из рисунка видно, что наибольшие уровни амплитуды также наблюдаются на частоте 63 Гц, составляя в поперечном направлении $S_p = 1,8$ мкм.

Таким образом, интенсивность колебательных процессов в подшипниках ГПА исследованного класса имеет тенденцию к росту на частоте 63 Гц, близкой к частоте вращения ротора турбомашин,

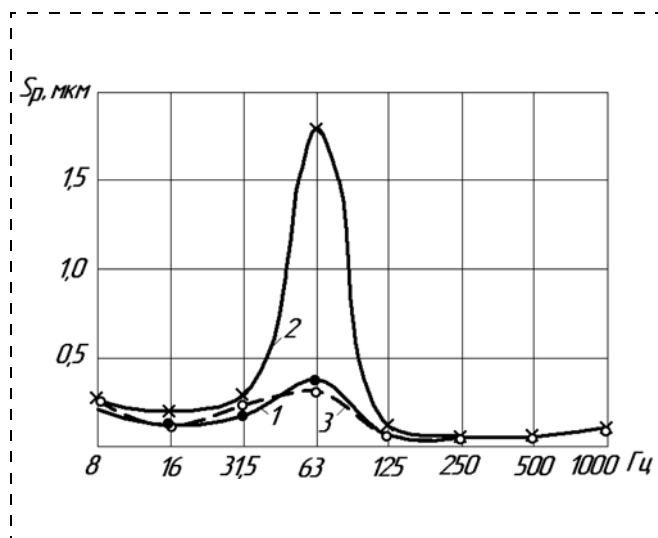


Рис. 2. Амплитуда виброперемещения опорно-упорного подшипника турбины установки типа ГТК-10-4:

1 — вертикальное направление; 2 — поперечно-горизонтальное; 3 — продольно-горизонтальное

являющейся источником возбуждения колебаний системы, и только опорный узел нагнетателя увеличивает свою виброактивность при ее дальнейшем возрастании.

В целом вибрационное обследование ГПА типа ГТК-10-4 свидетельствует о необходимости снижения уровня вибраций, генерируемых турбоблоками такого класса, посредством их технической модернизации.

С целью изучения гигиенических условий работы персонала при обслуживании ГПА на установке типа ГТ-6-750 выполнены измерения вибрационных характеристик поверхности ремонтных площадок в зонах компрессора, турбины и нагнетателя газа. Замеры проводились на расстоянии 1,5...2 м от корпусов агрегата. Вибродатчики устанавливались на поверхности пола и позволяли регистрировать виброперемещения последнего в вертикальном и поперечно-горизонтальном направлениях.

В процессе исследований в контрольных точках определялись в октавных полосах частот уровни СКЗ виброскоростей площадок V . Измерения показали, что на частоте 63 Гц значения этих параметров существенно превосходят предельно допустимые нормы (рис. 3), а потому необходимо оборудование площадки обслуживания ГПА специальными амортизирующими устройствами или применение пола на упругом основании.

Опыт энергомашиностроения показал, что наиболее эффективным способом уменьшения виброактивности турбоблоков является разработка мер по снижению динамической неуравновешенности

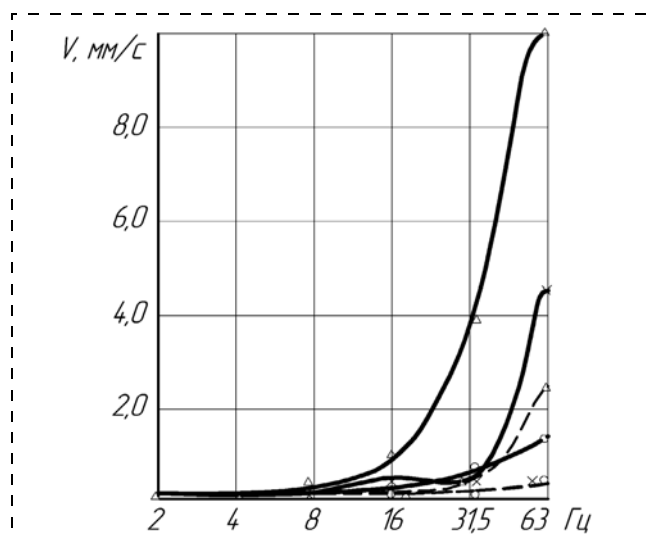


Рис. 3. СКЗ виброскоростей площадок обслуживания газоперекачивающего агрегата типа ГТ-6-750:

Δ — нагнетателя; \circ — компрессора; \times — турбины; ---- — вертикальное направление; — — поперечно-горизонтальное направление

системы в источниках ее формирования при конструкторской проработке как на стадии проектирования, так и модернизации и доводки технических образцов.

Вместе с тем, на тепловых и компрессорных станциях широко используются "пассивные" способы сокращения генерируемых в системах нестационарных колебательных процессов, распространяющихся по структуре турбомашин. Такие виды гашения возмущающих сил могут быть реализованы на практике путем конструктивной амортизации оборудования и составляющих элементов установок с помощью как специальных опорных систем (резинометаллических, цельнометаллических и металлотканых амортизаторов, опор с регулирующей жесткостью, вибропоглотителей, динамических гасителей колебаний, виброизоляторов и др.), так и неопорных устройств (гибких вставок в трубопроводы и присоединительные к механизму валопроводы, резонансных преобразователей, гибких участков кабелей и т. д.).

Важным средством уменьшения вибрации, излучаемой отдельными элементами энергоустановок, является оборудование их системами виброгашения, оснащенными высокоэффективными вибродемпфирующими материалами, вибропоглощающими покрытиями и конструкциями.

Список литературы

1. Гоголев И. Г. Аэродинамические факторы и надежность турбомашин / И. Г. Гоголев, А. М. Дроконов, А. Е. Зарянкин. — Брянск: Изд-во "Грани", 1993. — 168 с.

УДК 551.510.42

Т. Д. Агаев, Сумгаитский государственный университет
E-mail: agayev_tahir@mail.ru

Использование показателя потенциала загрязнения атмосферы для обеспечения безопасной жизнедеятельности населения городов

Рассмотрены возможности использования показателя потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА) для обеспечения чистоты воздушного бассейна городов. Расчет ПЗА основан на результатах изучения влияния метеорологических характеристик на величину концентрации примеси в приземном слое и подчиняется логарифмическому нормальному закону. Показано, что мероприятие по обеспечению чистоты воздуха городов следует планировать на те периоды, когда наиболее вероятны неблагоприятные метеорологические условия. При выборе района для строительства новых промышленных объектов необходимо учесть данные о ПЗА.

Ключевые слова: загрязнения атмосферы, потенциал загрязнения атмосферы, вредные вещества, неблагоприятные метеорологические условия

Agayev T. D. Usage of the indicator of potential pollution of atmosphere for guarding of the life activities

In the article are considered possibilities of use of the indicator of air pollution potential (APP) for guarding of the life activities. Calculation which is based on results of studying of influence of meteorological characteristics on impurity size of concentrations of an in a ground layer and submits to the logarithmic normal law. At a choice of area for building of new industrial targets it is necessary to consider the data about APP.

Keywords: air pollution, potential of pollution of the atmosphere, harmful substances, adverse weather conditions

Метод исследования

Для выявления причин, сопутствующих формированию уровня загрязнения воздуха городов, можно воспользоваться значениями показателя потенциала загрязнения атмосферы, расчет которого основан на результатах изучения влияния метеорологических характеристик на величину концентрации примеси в приземном слое и подчиняется логарифмическому нормальному закону. ПЗА имеет низкие значения в тех районах, где часты метеороло-

гические условия, при которых не происходит накопление концентрации вредных примесей в приземном слое воздуха, т. е. наблюдаются условия, благоприятные для рассеивания примесей и жизнедеятельности городского населения. Наоборот, при неблагоприятных метеорологических условиях наблюдаются высокие значения ПЗА. В этой работе предложен подход к определению ПЗА для выявления условий безопасной жизнедеятельности городского населения Апшеронского промышленного района.

1. Теоретическая часть

Статистическая обработка результатов включает: получение средних значений концентрации примеси (\bar{q} , мг/м³), расчеты показателя изменчивости концентрации примеси, т. е. дисперсии (σ^2 , мг/м³), коэффициента вариации (V), повторяемости превышения ПДК (g , %), выбор максимального значения (q_m , мг/м³) и др. Значения σ и \bar{q} близки между собой, т. е. изменчивость зависит от уровня загрязнения воздуха, и чем он выше, тем больше изменчивость [2, 3, 5].

Распределение повторяемости концентрации q , полученное по результатам измерений в данном пункте, зависит от мощности источников выбросов, режима их работы, а также от метеорологических условий. Это распределение всегда асимметрично, поскольку концентрации примеси имеют только положительные значения. Часто для описания асимметричного распределения используется логарифмический нормальный закон [3, 5]. Плотность распределения вероятности концентрации примесей в этом случае выражается формулой:

$$f(q) = \frac{1}{sq\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\ln^2 \frac{q}{m}}{2s^2}},$$

где s и m — параметры логарифмически нормального распределения с тем условием, что распределение исследуемых величин является логарифмически нормальным.

В работах [1, 2, 4] приведены аналитические выражения для среднего значения концентрации



примеси \bar{q} , дисперсии σ^2 , коэффициента вариации V :

$$\bar{q} = m e^{s^2/2}; \quad (1)$$

$$\sigma^2 = m^2 e^{s^2} (e^{s^2} - 1); \quad (2)$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{q}} = \sqrt{e^{s^2} - 1}. \quad (3)$$

Для логарифмически нормального закона характерно, что коэффициент вариации близок к единице. По данным наблюдения установлено, что он находится в пределах 0,5...2.

Проверка выполнимости логнормального закона производилась графически [1, 4], для чего различные значения концентрации примесей для городов Апшерона разбивались на градации и вычислялись повторяемости P и накопленные повторяемости P_K каждой градации. На приведенном графике (рис. 1) по оси ординат откладывались значения концентрации примеси в логарифмическом масштабе, а по оси абсцисс значение аргумента z_K , интегральной функции нормального (гауссовского) распределения $\Phi(z_K)$, что совпадает со значением накопленной повторяемости $\Phi(z_K) = P_K$ (табл. 1).

Линейный характер расположения точек на графике свидетельствует о том, что распределение является логарифмически нормальным. Угловой коэффициент этой прямой равен s , а медианное значение (соответствующее аргументу $z_K = 0$) равно m . Применимость логнормального закона для распределений концентрации сернистого газа, окиси

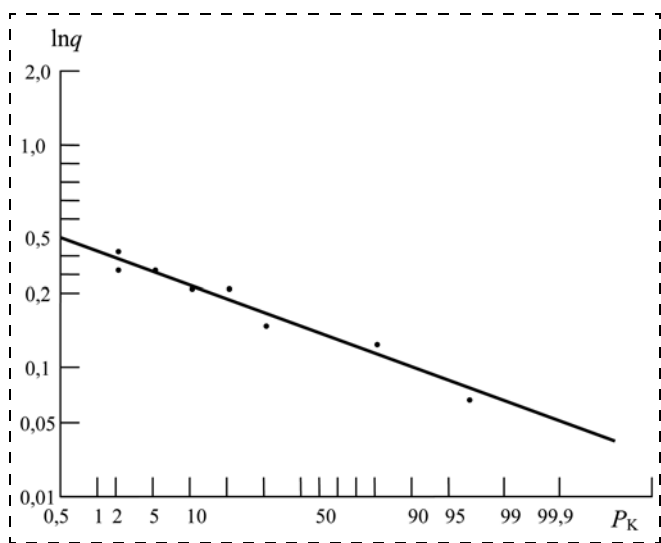


Рис. 1. Распределение концентрации вредной примеси по данным наблюдения в одном пункте г. Баку

Таблица 1

Результаты расчета повторяемости P и P_K и значений z_K

Параметр	Концентрация примеси, мг/м ³				
	0,0...0,10	0,11...0,20	0,21...0,30	0,31...0,40	0,41...0,50
$P, \%$	38	42	15	3	2
$P_K, \%$	100	62	20	5	2
z_K	3,86	0,27	-0,67	-1,57	-2,17

углерода и двуокиси азота была подтверждена также данными наблюдений в 30 городах [2].

Выше была показана возможность применения логарифмического нормального закона для описания плотности распределения концентрации примеси. А если будут известны вероятности P_1 и P_2 реализации некоторых метеорологических условий, при которых будут наблюдаться концентрации примеси выше $q_{п1}$ и $1,5q_{п1}$, то параметры m и s в формуле (1) могут быть выражены через эти вероятности. При заданных постоянных выбросах среднее значение концентрации будет определяться вероятностями некоторых метеорологических условий, когда указанные уровни превышаются. В этом случае

$$P_1(q > q_{п1}), P_2(q > 1,5q_{п1}). \quad (4)$$

Подставим данные условия для выражения плотности распределения вероятности концентрации примесей. Чтобы сократить дальнейшие записи, введем величины b_1 и b_2 :

$$b_1 = 1 - 2P_1(q > q_{п1}) = \Phi(z_1); \quad (5)$$

$$b_2 = 1 - 2P_2(q > 1,5q_{п1}) = \Phi(z_2); \quad (6)$$

$$z_1 = \frac{\ln(q_{п1}/m)}{s\sqrt{2}}; \quad (7)$$

$$z_2 = \frac{\ln(1,5q_{п1}/m)}{s\sqrt{2}}, \quad (8)$$

где $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ — интеграл вероятностей.

Из равенств (7) и (8) следует, что

$$m = q_{п1} \exp\left(-\frac{0,4}{b_r - 1}\right), \quad (9)$$

$$b_r = z_2/z_1. \quad (10)$$

А из уравнений (7) и (9) параметр s принимает вид:

$$s = \frac{0,4}{\sqrt{2}(b_r - 1)z_1}. \quad (11)$$

После подстановки (9) и (11) в (1) средняя концентрация примеси может быть выражена следующим образом:

$$\bar{q} = q_{\text{п}} \exp \left[\frac{0,04}{(b_r - 1)^2 z_1^2} - \frac{0,4}{b_r - 1} \right]. \quad (12)$$

где параметры b_r и z_1 определяются через аргументы интеграла вероятности $\Phi(z)$, при которых Φ связано с P_1 и P_2 соотношениями (5) и (6), а b_r можно найти из соотношения (10).

2. Практическая часть

В формуле (12) большой интерес представляет точное определение значения $q_{\text{п}}$. Используя отношения (при заданных выбросах) средних концентраций примеси в конкретном (\bar{q}_i) и условном (\bar{q}_0) районах введем относительный показатель потенциала загрязнения атмосферы Π :

$$\Pi = \bar{q}_i / \bar{q}_0, \quad (13)$$

где значения \bar{q}_i и \bar{q}_0 находятся из выражения (12). При определении Π значение $q_{\text{п}}$ сокращается, так как \bar{q}_i и \bar{q}_0 определяются для условия равных выбросов. Значит относительный показатель потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА) показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в конкретном районе будет выше при реальной повторяемости неблагоприятных для рассеивания примесей метеорологических условий, чем в условном. Для условного района выбираются минимальные значения P_1 и P_2 , соответственно равные 0,10 и 0,05. При расчете показателя ПЗА для городских условий следует учесть такие метеорологические условия, которые оказывают воздействие на распространение примеси от преобладающих в городе низких ис-

точников. Для городских условий можно принять, что превышение концентрации примеси $q_{\text{п}}$ будет происходить при наличии приземных инверсий, при слабых ветрах, застоях и туманах. А еще можно полагать, что этот уровень будет повышен при застоях воздуха и туманах в 1,5 раза, т. е. принимается $r = 1,5$ ($q > 1,5q_{\text{п}}$). Поэтому при расчете \bar{q} и соответственно показателя ПЗА для городских условий можно использовать сумму вероятностей приземных инверсий, слабых ветров без приземных инверсий и туманов P_1 , а также сумму вероятностей застоев и туманов P_2 .

Учитывая значения P_1 и P_2 для условного района вычисление показателя ПЗА выполняется следующей формулой:

$$\Pi = 2,54 \exp \left[\frac{0,04}{(b_r - 1)^2 z_1^2} - \frac{0,4}{b_r - 1} \right]. \quad (14)$$

Использование данного метода позволило оценить потенциал загрязнения атмосферы Апшеронского полуострова и показать, какое влияние оказывают метеорологические условия на формирование среднего уровня загрязнения воздуха. В табл. 2 приведена временная изменчивость ПЗА и соответствующих характеристик загрязнения воздушного бассейна г. Баку в отдельные годы для концентраций примеси SO_2 и NO_2 . Установлено, что каждому временному ряду характеристик m , s и \bar{q} соответствует конкретно определенное значение $q_{\text{п}}$, изменения которого сопровождаются изменением одной из характеристик значений m , s и \bar{q} . Для концентраций примеси SO_2 значения \bar{q} в указанные годы находятся в пределах — (0,1815...0,2874 мг/м³), а для NO_2 — (0,0576...0,0875 мг/м³). Эти характеристики тесно связаны с вероятностью определенных метеорологических условий данного региона.

Таблица 2

Временная изменчивость ПЗА и соответствующих характеристик загрязнения воздушного бассейна г. Баку

Годы	$q_{\text{п}}$, мг/м ³	m	s	\bar{q} , мг/м ³	$\bar{q}/q_{\text{п}}$	z_1	z_2	P_1 , %	P_2 , %	s/P_2	ПЗА
SO₂											
1994	0,2063	0,2064	0,6300	0,252	1,222	-0,0024	0,4526	50,14	26,28	2,40	2,7
1995	0,1815	0,1814	0,7623	0,243	1,339	-0,0020	0,3758	50,11	29,91	2,54	3,0
1996	0,1876	0,1877	0,6560	0,233	1,242	-0,0038	0,4351	50,22	27,09	2,42	2,8
1997	0,2874	0,2876	0,6022	0,345	1,200	-0,0028	0,4748	50,15	25,28	2,38	2,7
1999	0,2396	0,2399	0,5945	0,286	1,194	-0,0043	0,4794	50,24	25,08	2,37	2,7
NO₂											
1994	0,0719	0,0720	0,7424	0,095	1,321	0,0128	0,3773	50,72	29,83	2,49	3,0
1995	0,0675	0,0676	0,6830	0,085	1,259	-0,0090	0,4159	50,51	27,39	2,44	2,7
1996	0,0813	0,0813	0,7754	0,110	1,353	-0,0035	0,3700	50,20	30,19	2,56	3,0
1997	0,0875	0,0876	0,6091	0,107	1,223	-0,0083	0,4330	50,46	26,26	2,39	2,8
1999	0,0576	0,0577	0,6091	0,069	1,198	-0,0135	0,4640	50,75	25,76	2,36	2,7



Таблица 3

Повторяемость (%) различных метеорологических условий, создающих ПЗА на Апшеронском полуострове (в течение года)

Метеорологические условия	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Приземная инверсия, %	17	13	13	22	31	25	13	17	18	16	19	16	19
Приподнятая инверсия, %	67	73	71	54	45	46	54	55	56	57	63	71	59
Скорость ветра 0,1 м/с, %	13,5	10,0	10,5	13,0	13,3	13,0	11,7	11,9	10,9	10,0	12,3	14,7	12,1
Застой, %	5	3	3	6	8	7	5	4	4	4	6	5	5
Туман, %	0,1	0,2	0,2	0,7	0,7	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4
ПЗА	2,6	3,5	3,8	2,8	2,5	2,3	2,1	2,1	2,0	2,0	2,1	2,3	2,5

Таблица 4

Изменение ПЗА на Апшеронском полуострове в течение года (по отдельным срокам)

Сроки, ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
03	2,4	2,5	2,6	2,9	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1	2,9	2,6	2,6
09	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	2,0	2,2
15	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	2,2	2,2
21	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2,2	2,1

Расчеты показали, что значение ПЗА на Апшеронском регионе в течение года колеблется от 2,0 до 3,8, с высокими значениями в зимне-весенние месяцы и низкими — летне-осенние месяцы (табл. 3). Максимальные значения ПЗА в г. Баку отмечаются в марте месяце (3,8), а в г. Сумгаите в апреле (3,1). В теплый период года высокие значения ПЗА имеют место в вечерне-ночные часы, а в холодный период года в дневные часы (табл. 4). Согласно расчетам диапазон изменения ПЗА городов

Апшеронского полуострова относится к повышенной зоне загрязнения воздуха городов [2].

Проведенный анализ данных показывает, что между значениями m и q_{Π} разница составляет всего 0,0001, т. е. с точностью 0,0001 можно принять, что $q_{\Pi} = m$. Тогда из формулы (12) получается:

$$\text{ПЗА} = 2,24 \frac{\bar{q}}{q_{\Pi}} \quad (15)$$

С учетом $\Phi(z)$, (12) и (15) получается:

$$\text{ПЗА} = 2,24 e^{s^2/2} \quad (16)$$

Из выражения (12) следует, что при определении ПЗА параметр распределения s играет важную роль. По сравнению с формулой (12) формула (16) более простая, но результаты расчета по ним почти одинаковы. Результаты расчета показывают, что между s и P_2 существует связь $s = 2,93 P_2$, представляет собой сумму повторяемости приподнятых инверсий над источником выброса ($P_{\text{ин}}$), а также штилевых условий в указанном ($P_{\text{шт}}$) слое. Подставляя значения s в формулу (16) получаем:

$$\text{ПЗА} = 2,24 e^{2,93^2 P_2^2/2} \quad (17)$$

Таким образом, предложенными аналитическими выражениями (15—17) с учетом значения s , P_2 и \bar{q} можно определить значение показателя ПЗА.

Установлено, что ПЗА часто хорошо согласуется с изменениями средней концентрации $q_{\text{ср}}$ атмосферных загрязнителей. Это можно проследить на рис. 2, где показаны годовые изменения среднемесячных концентраций сернистого газа и показателя ПЗА для г. Баку. Как видно, изменения значения концентрации сернистого газа и показателя ПЗА имеют почти одинаковый годовой ход, с максимальными значениями q_{max} весной и минимальными — летом и в начале осени. Некоторое отклонение имеет место в конце лета, когда увеличивается концентрация сернистого газа от высотных источников промышленных объектов.

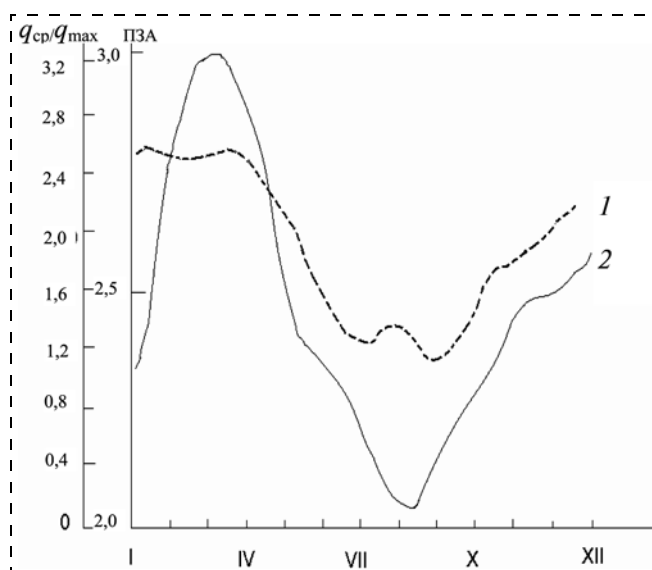


Рис. 2. Годовой ход концентрации сернистого газа (1) и показателя ПЗА (2) в г. Баку

Выводы

Зимне-весеннее высокое значения ПЗА на Апшеронском полуострове определяются частой повторяемостью антициклональной погоды, обуславливающие слабые ветры и устойчивую стратификацию атмосферы. В это время повторяемость приземных инверсий превышает 30 %. Вероятность появления этих инверсий в вечерне-ночные часы велико. Такая ситуация, при высоком показателе ПЗА, способствует сохранению застоя воздуха в пограничном слое и ограничивает рассеивания вредных примесей в атмосфере.

Мероприятия по обеспечению безопасной жизнедеятельности городского населения следует планировать на те периоды, когда наиболее вероятны неблагоприятные метеорологические условия, т. е. высокие значения ПЗА. Понятно, что невозможно избежать таких погодных условий, но на промышленных объектах, расположенных в этих районах,

большое внимание следует уделять очистным сооружениям и эффективности их работы. При выборе района для строительства новых промышленных объектов необходимо учесть данные о ПЗА, а также надо учесть экономическую целесообразность.

Список литературы

1. Агаев Т. Д. Метеорологический потенциал загрязнения атмосферы / Тр. геогр. общ. Азербайджана. — Баку, 2004. — IX. — С. 333—337.
2. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 184 с.
3. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 448 с.
4. Горчиев А. А., Рафиев Р. М., Агаев Т. Д. Методы определения фоновых значений концентраций вредных примесей в атмосфере, для оценки экологической нагрузки на окружающую природную среду // Докл. АН Аз ССР. — Баку, 1987. — Т. XLIII. — № 5. — С. 42—47.
5. Губель Э. Статистика экстремальных значений. — М.: Мир, 1965.

УДК 628.517.2

В. Ф. Асминин, д-р техн. наук, проф, У. Ю. Корда, асп.,
Воронежская государственная лесотехническая академия
E-mail: slimt@inbox.ru

Об одном из путей снижения шума в сложившейся жилой застройке, прилегающей к остановочным пунктам общественного автотранспорта

На основе экспериментальных измерений уровней шума приведены данные анализа шумообразования в жилой застройке, прилегающей к автомагистрали, в местах расположения остановок общественного транспорта, на пешеходных тротуарах. Предложено в качестве шумозащитных экранирующих конструкций использовать имеющиеся сооружения остановочных пунктов общественного транспорта, для повышения эффективности которых необходима их реконструкция.

Ключевые слова: шум, улично-дорожная сеть, типовая жилая застройка, остановочные пункты общественного автотранспорта

Asminin V. F., Korda U. Y. One of the noise minimizing processes in the living area attached to the public bus stops

The issue of noise generated by the auto roads is urgent. On the basis of experimental measurements of noise levels the analysis noise generated in a housing estate adjoining to a highway, in the locations of stops of public

transport, on foot sidewalks is carried out. It is offered in quality noise proof shielding designs to use available constructions of stopping points of public transport for which increase of efficiency their reconstruction is necessary.

Keywords: noise, street road system, typical living area, public bus stops

На рубеже XX—XXI веков в связи с резким увеличением количества автотранспорта, в основном, за счет транспортных средств, принадлежащих физическим лицам, и как следствие, с повышением интенсивности и плотности транспортного потока, значительно ухудшилась шумовая обстановка в прилегающей жилой застройке (эквивалентный уровень звука возрос на 15...20 дБА) [1]. Причем шумовому загрязнению наиболее подвержены жилые дома пониженной этажности, прилегающие к автомагистрали. Во внутренней жилой застройке более поздних лет акустическая обстановка лучше и причиной тому — экранирующий эффект от малоэтажных домов прежней застройки.



В городах с населением от 300 тыс. до 1 млн человек жилая застройка наиболее интенсивно проводилась в 1950—1970 гг. и в настоящее время она определяет облик городов и улично-дорожную сеть. Характерными особенностями застройки того времени являлись:

- близкое расположение жилых зданий к городским автомагистралям (15...20 м);
- не учитывался рост интенсивности транспортных потоков в перспективе;
- жилые дома возводились небольшой этажности (3-х, 5-ти, позднее 9-ти этажные). Вся последующая жилая застройка, проводимая в более поздние годы, как правило, представляет собой жилые дома повышенной этажности и располагается за имеющимися "фасадными" зданиями, прилегающими к автомагистралям [2].

На загородных автомагистралях проблема снижения шума в прилегающей застройке решается за счет возведения защитных экранирующих сооружений, что неприменимо в условиях городской застройки [3]. Таким образом, обозначилась проблема снижения шума и улучшения акустической обстановки в квартирах домов, прилегающих к автомагистралям, а также на тротуарных проходах между домами и городскими автомагистралями. Интерес к данной проблеме обусловлен постоянным увеличением объема и мощности автопарка городов, влияющих на акустический комфорт [1, 2].

Борьба с шумом может осуществляться как в источнике его возникновения, так и на путях распространения. К решению проблемы снижения шума от автотранспортных потоков (комплексного источника) можно использовать следующие подходы:

- применение специальных методов и средств снижения шума на пути его распространения [3, 4];
- рациональная организация дорожного движения [1].

Реализация первого подхода достигается путем возведения экранирующих сооружений вдоль автомагистралей — это экраны различного конструктивного исполнения, многорядные полосы зеленых насаждений, заглубление автомагистралей (подземные тоннели) [4].

Реализация второго подхода — в основном через оптимизацию светофорного регулирования. Увеличению транспортного шума способствуют частые торможения и остановки транспортных средств, поэтому параметры управления дорожным движением должны обеспечивать стабильность скоростного режима и снижение числа и продолжительности остановок транспортных средств [4].

Реализация первого подхода в сложившейся при магистральной жилой застройке осложнена в условиях города малым расстоянием между автомагистралью и

жилой застройкой, а также недопустимостью возведения изолирующей преграды между ними.

Оптимизация светофорного регулирования является одним из приемов, когда организация дорожного движения непосредственно влияет на шумовой режим в жилой застройке (снижение эквивалентного уровня шума составляет в среднем 5...7 дБА). Однако в местах непосредственного расположения светофорного объекта акустическая обстановка в квартирах прилегающих домов ухудшается, так как для данных мест характерны частые трогания и остановки транспортных средств, а также их максимальная концентрация. В местах дислокации светофорных объектов, как правило, присутствуют наземные пешеходные переходы, остановочные пункты общественного транспорта, что способствует скоплению людей, также подвергающихся шумовой нагрузке.

Таким образом, в зданиях, находящихся в непосредственной близости от светофорных объектов, акустическая обстановка наиболее проблемная. В качестве шумовой характеристики транспортных потоков установлен эквивалентный уровень звука $L_{A_{\text{экв}}}$ на определенном базисном расстоянии от транспортного потока. Согласно исследованиям [3], расчетный эквивалентный уровень звука автотранспортного потока можно определить по формуле:

$$L_{A_{\text{экв}}} = L_{A_{\text{экв}7,5}} + \sum_{i=1}^n \Delta A_i,$$

где $L_{A_{\text{экв}7,5}}$ — эквивалентный уровень звука на расстоянии 7,5 м от оси нижней полосы движения транспорта на высоте 1,2 м от поверхности проезжей части для некоторых стандартных условий: проезжая часть дороги представляет собой прямолинейный горизонтальный участок с асфальтобетонным покрытием, в окрестностях которого в радиусе 50 м отсутствует застройка, перекрестки, сооружения, отражающие звук; ΔA_i — поправки; теоретический расчет осуществляется с учетом следующих поправок: доли грузового и общественного транспорта в общем потоке автомобилей, средневзвешенной скорости движения транспортного потока, продольного уклона автомагистрали, условий застройки.

Как видно, эта методика расчета не дает всеобъемлющей картины шумообразования в сложившейся жилой застройке, прилегающей к автомагистрали, так как в ней изначально накладываются ограничения на присутствие застройки и сооружений, отражающих звук, в радиусе 50 м.

Для получения достоверной картины шумообразования в сложившейся жилой застройке, прилегающей к автомагистрали, были проведены экспериментальные измерения шума на Ленинском проспекте (г. Воронеж) в местах расположения

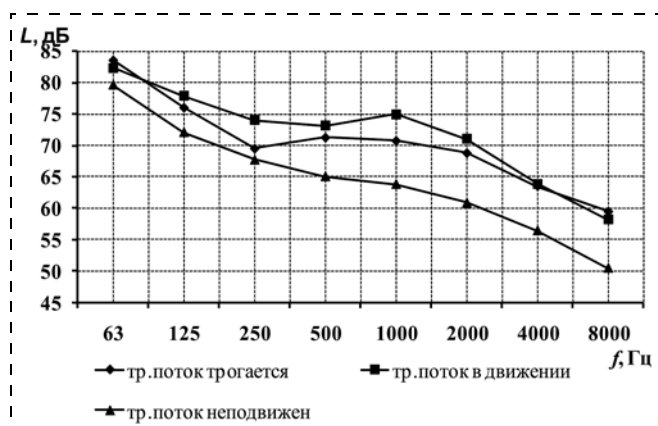


Рис. 1. Спектральные характеристики шума от транспортного потока, измеренные у края проезжей части на остановке общественного транспорта "П. Осипенко" г. Воронеж

светофоров вблизи остановок общественного транспорта: "П. Осипенко", "Нижняя", "пер. Гвардейский". Следует отметить, что прилегающая жилая застройка и Ленинский проспект типичны и характерны для многих городов с жилой приагостальной застройкой 1950—1970-х гг. и могут служить натурным объектом для измерений.

На рис. 1 представлены спектральные характеристики шума от транспортного потока, измеренные у края проезжей части на остановке общественного транспорта "П. Осипенко". Как видно из приведенных спектральных характеристик шум, излучаемый от транспортного потока, является низко- и среднечастотным. Причем, при трогании и в движении транспортного потока его значения — максимальны. Помимо этого, изменение режима движения транспортных средств (торможение, остановки, ускорения) приводит к варьированию величин уровня звука в пределах 2...5 дБА.

Распространению звука от автомагистрали в глубь жилой застройки препятствуют различные сооружения, которые могут выступать в качестве экранирующих конструкций, что, по сути, является реализацией упомянутого выше первого подхода по снижению шума от автотранспортных потоков. Таковыми могут являться торговые павильоны (например, "Роспечать", торговые киоски и т. п.), сооружения остановочных пунктов общественных транспортных средств, рекламные щиты и т. п.

На рис. 2 схематично показан возникающий шумозащитный эффект, образуемый сооружениями на остановочных пунктах общественного транспорта (СООТ) за счет создаваемой за ними акустической тени. Как видно, защитный экранирующий эффект сооружений зависит от расстояния между источником шума — транспортным потоком и экранирующим сооружением — СООТ, а также соотношения высот жилого здания (h_2) и сооружения (h_1), т. е. h_2/h_1 .

На рис. 3 приведены спектральные характеристики шума от транспортного потока, измеренные: у края проезжей части; за торговыми павильонами (СООТ), расположенными между проезжей частью и первой линией застройки; в разрыве между данными торговыми павильонами (СООТ).

Из приведенных выше спектральных характеристик виден экранирующий эффект сооружений остановочных пунктов общественного транспорта. Причем, в высокочастотном диапазоне достигается снижение шума до 10 дБА, в среднечастотном — эффект составляет 6...7 дБА. Данные, полученные экспериментальным путем, подтверждают правомерность подхода использования СООТ в качестве экранирующих сооружений для снижения шума в жилой застройке, прилегающей к автомагистрали, в

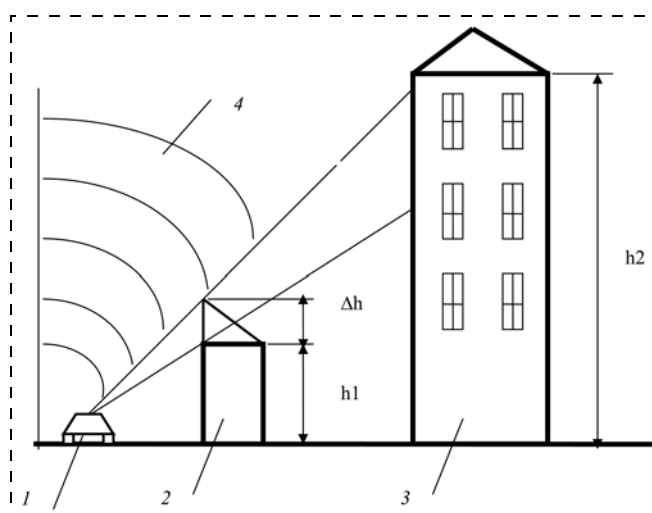


Рис. 2. Принципиальная схема образования шумозащитного эффекта (акустической тени) от СООТ:

1 — источник шума (транспортный поток); 2 — экранирующее сооружение (СООТ); 3 — защищаемый объект (жилой дом); 4 — акустическая тень

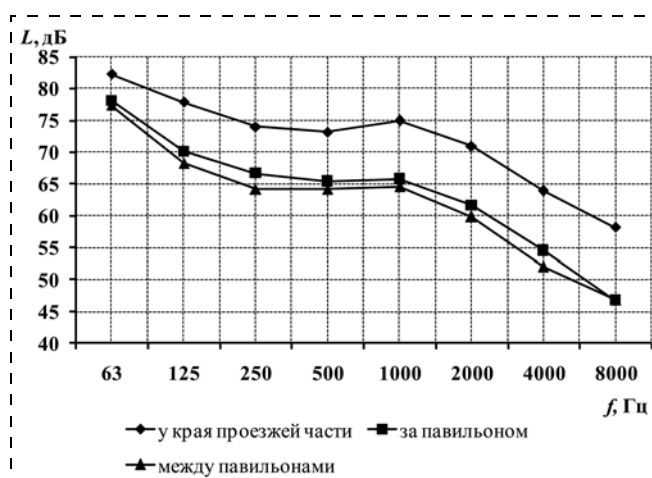


Рис. 3. Спектральные характеристики шума от транспортного потока с использованием экранирующего эффекта СООТ



местах расположения остановок и на тротуарах. Очевидно, что разработка единой концепции при проектировании СООТ с учетом их экранирующего эффекта позволит положительно изменить шумовую обстановку в прилегающей жилой застройке и на тротуарных проходах между домами и городскими автомагистралями. При проектировании типовых СООТ следует учитывать дополнительную функцию акустического экранирования. Причем, область акустической тени может быть расширена за счет увеличения высоты СООТ h_1 на дополнительную величину Δh , рассчитываемую в зависимости от высоты жилого дома h_2 (см. рис. 2). Это может достигаться, например, размещением рекламных щитов на фронте СООТ.

Таким образом, на основе анализа известных методов снижения транспортного шума и результатов экспериментальных исследований шумообразования в сложившейся жилой застройке и на тротуарных проходах между домами и городскими автомагистралями предложено использовать СООТ. На сегодняшний день нет единой концепции применения данных сооружений в качестве экранирующих конструкций от транспортного шума автомагистралей, непосредственно прилегающих к селитебной

зоне. Концептуальный подход к типовому проектированию и строительству СООТ позволит значительно улучшить шумовую обстановку в жилой застройке, прилегающей к автомагистрали, и в местах скопления людей, каковыми являются светофорные объекты, пешеходные переходы, остановочные пункты общественного транспорта. Причем, проектирование и строительство новых, а также модернизация существующих СООТ улучшит эстетическое оформление улично-дорожной сети города и не потребует значительных материальных затрат.

Список литературы

1. **Верзилин В. А.** Автомобильный транспорт: организация, безопасность, эффективность. — Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2001. — 256 с.
2. **Ковригин С. Д.** Архитектурно-строительная акустика. — М.: Высшая школа, 1980. — 184 с.
3. **Корда У. Ю.** Анализ шумовой обстановки на автотранспортных магистралях городов // Актуальные проблемы социально-политического и экономического развития России и мира: материалы IV Всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых. В 2 ч. Ч. 2. — Воронеж: Воронеж, гос. ун-т (ВГУ) — Междунар. ин-т комп. технологий (МИКТ), 2010. — 199 с.
4. **Руководство** по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума / НИИСФ Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1980. — 17 с.

УДК 502.36

Д. Л. Хасаншин, асп., Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева (КГТУ), **Л. М. Амирова**, д-р хим. наук, ПИ "Союзхимпромпроект" КГТУ
E-mail: cxpp@kgts.ru

Комплексная переработка нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов

Приведены данные анализа различных видов переработки нефтезагрязненных почв и нефтешламов, показана эффективность и экономическая целесообразность предлагаемого вида переработки. Предложена схема установки для переработки нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов.

Ключевые слова: нефтезагрязненная почва, нефтешламы, установка по переработке нефтешламов

Khasanshin D. L., Amirova L. M. *Integrated handling of oily-contaminated soils, grounds and oily sludges*

Different types of handling of oily-contaminated soils and sludges are analyzed. The efficiency and economical practicability of the developed type of handling are demonstrated. The scheme of the apparatus for handling of oily-contaminated soils, grounds and oily sludges is suggested.

Keywords: *oil-contaminated soil, oily sludge, apparatus for oily sludge handling*

Основными источниками загрязнения нефтью и нефтепродуктами являются добывающие предприятия, станции перекачки и транспортировки, хранилища нефтепродуктов и нефтебазы. Количество хранимых отходов, образованных в результате аварий, зачистки оборудования, варьируется в широких пределах, в зависимости от региона занятых добычей, транспортировкой и переработкой нефти и нефтепродуктов. Эти отходы хранятся в так называемых шламонакопителях (шламовый амбар), построенных в 1960—1970 гг., которые были предназначены для предотвращения нефтезагрязнения. С течением времени эти шламонакопители превратились в постоянно действующие источни-

ки загрязнений почвы, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха углеводородами, сероводородом и другими веществами.

По составу нефтешламы чрезвычайно разнообразны и представляют собой сложные гетерофазные системы, состоящие из нефтепродуктов, воды и минеральной части (песок, глина, ил и др.), соотношения которых варьируется в очень широких пределах. Чем больше срок хранения нефтешламов, тем сложнее процесс переработки и набор оборудования для осуществления этого процесса.

При хранении нефтешламы из-за различия физико-химических характеристик их компонентов, как правило, разделяются на три слоя, имеющих довольно значительные переходные пограничные области. Полного расслоения не происходит по причине образования в нефтешламе стойких дисперсных систем. В верхнем слое в основном концентрируются относительно легкие жидкие углеводороды. Средние слои характеризуются большим содержанием воды. В нижнем донном слое сосредотачиваются тяжелые фракции углеводородов и сопутствующие нефти элементоорганические соединения, смолы, асфальтены и частицы твердой минеральной фазы. Толщина слоя зависит как от происхождения, так и от условий хранения, температуры окружающей среды и геометрических параметров шламового амбара.

На сегодняшний день предлагаются различные виды технологий для переработки и утилизации нефтезагрязненных почв и нефтешламов. Каждая технология имеет свои преимущества и недостатки, ориентированные на различные виды нефтезагрязненных почв и нефтешламов.

1. Биологический: биоремедиация, фитомелиорация [7].

2. Механический: обваловка загрязнения, откачка нефти в емкости, агротехнические мероприятия.

3. Сжигание: на поверхности разлива, на специальных установках [6].

4. Физико-химический: промывка почвы, дренирование почвы, экстракция растворителями, сорбция, термическая десорбция, флотация [1].

Наиболее рациональным способом утилизации нефтезагрязненных почв и нефтешламов является физико-химический. Далее рассмотрим некоторые частные случаи применения данного способа.

Флотация — способ очистки нефтезагрязненных грунтов [1]. Сущность этого способа состоит в аэрировании очищаемой суспензии пузырьками воздуха. К пузырькам прилипают нефтезагрязнения и другие гидрофобные вещества. Эти комплексы пузырьки — нефтезагрязнения всплывают, образуя постоянно удаляемый пенный слой. Эффективность очистки грунта от загрязнений зависит от времени флотации, объемного соотношения

грунт — вода, начального загрязнения, температуры промывной воды и добавления вспенивателя.

Для очистки нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов предлагается установка [2], эффективность работы которой достигается с помощью системы струйной промывки, бункера, винтового конвейера, вибросита и т. д.

Существует способ очистки загрязненного грунта от нефтепродуктов и устройство для его осуществления [3], включающий бункер с перемешивающим устройством, расположенный в емкости, заполненной горячей водой. Нефтешлам с помощью загрузочного транспортера подается в бункер, где отмывается нефть, и далее перетекает в емкость через отверстия в верхней части бункера, а очищенный грунт оседает на дно бункера и затем при открытии шибера выгружается на транспортер.

В работе [4] предложена установка для утилизации замазученной снежной массы и нефтешлама. Установка содержит отстойник и приемную емкость, имеющие разделительные решетки, связывающие их коммуникации, теплообменник и линию подачи теплоносителя. Отстойник снабжен шламоборником, разделительная решетка приемной емкости и шламоборник установлены с возможностью их механизированного подъема для очистки от шлама, а линия подачи теплоносителя выполнена в виде линии подачи горячей воды. Отстойник снабжен системами контроля уровней и раздельного сбора нефти и воды.

Недостатки описанных установок заключаются в том, что каждая установка предназначена только для отмывки определенных видов нефтешламов (жидких, замазученных снежных масс, твердых). В настоящее время требуются универсальные и мобильные технологии переработки нефтешламов, так как разливы нефти и нефтешламовые амбары располагаются в различных регионах России.

Схема установки для переработки нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов [5], предложенная авторами, приведена на рисунке.

Нефтешлам при помощи ковша погрузчика 18 подается на загрузочное устройство 2, встроенное в верхнюю часть бункера 1, который является смесителем. Моющая жидкость, в качестве которой используется водный раствор ПАВ (поверхностно-активные вещества), подается как внутрь бункера 1, так и через разбрызгиватель 11. При помощи вибратора 12, который установлен с возможностью горизонтального и вертикального перемещения и разбрызгивателя 11 нефтешлам пропускается через сетку размером 100 × 100 мм загрузочного устройства 2, где задерживаются крупные камни и ветки, при их наличии. Скопившийся мусор сталкивается в емкость для отходов с последующей утилизацией. Вибратор 12 служит для снижения вязкости и размыва нефтешлама. В бункере 1 в области



разбивания и эмульгирования комков нефтешлама происходит перемешивание при помощи перемешивающего устройства — горизонтально расположенной лопастной мешалки 3 с приводом 19. Крупные твердые включения (камни, щебень, гравий) оседают на дно бункера 1 за счет гравитационной силы тяжести и удаляются через заслонку 5 при их скоплении.

В бункере 1 в процессе взаимодействия раствора ПАВ с измельченным и диспергированным нефтешламом происходит вымывание и эмульгирование нефти из шлама. Перемешивание необходимо вести интенсивно с помощью горизонтально расположенной лопастной мешалки, чтобы избежать оседания нефтешлама на дно бункера. При этом происходит не только эмульгирование нефти в воде, но и "взвешивание" мелких твердых частиц, которые в бункере не отстаиваются. Такой процесс удлиняет время контакта нефтешлама с раствором ПАВ и таким образом повышает степень отмытки грунта. Полученная дисперсия (раствор ПАВ, нефть и мелкие твердые частицы) из бункера 1 перетекает с помощью шнека 4 в емкость перелива 6, где за счет гравитационных сил происходит частичное разделение твердой фазы от жидкой. Твердая фаза удаляется при помощи винтового конвейера 7, в верхней части которого происходит отжим оставшейся жидкой фазы за счет системы отверстий 10 в стенке его корпуса, обеспечив частичное обезвоживание шлама, а за счет направляющих 9 отжатая жидкость стекает внутрь емкости перелива 6. Твердая фаза через канал удаления твердой фазы 8 идет на складирование.

При интенсивном перемешивании происходит не только эмульгирование нефти в воде, но и образование устойчивой дисперсии мелких твердых частиц (песка, ила), которые в емкости 6 не от-

стаиваются. Для удаления этих частиц необходим гидроциклон 13. Дисперсия (раствор ПАВ, нефть и мелкие твердые включения) всплывает и перетекает в боковую емкость 21, откуда она поступает в сборную емкость 16, из нее насосом 17 направляется в гидроциклон 13, в котором происходит отделение песка и ила за счет центробежных сил, возникающих из-за тангенциального ввода суспензии насосом. Выделенные песок и ил направляются на складирование. Далее эмульсия направляется в другую сборную емкость 16 и насосом 17 подается в сепаратор 14. Прошедшая через сепаратор 14 эмульсия разделяется на нефть и водный раствор ПАВ. Нефть направляется на дополнительное обезвоживание и стабилизацию на установку комплексной подготовки нефти. Регенерированный раствор ПАВ направляется в емкость для приготовления раствора 15, куда при необходимости добавляется концентрированный раствор ПАВ и вода. Из емкости 15 раствор ПАВ подают на разбрызгиватель 11 в начало цикла.

Раствор ПАВ предварительно подготавливают в емкости 15, в эту же емкость поступает отсепарированный из нефтешлама водный раствор ПАВ и при необходимости с помощью насосов добавляется концентрированный раствор ПАВ и вода. Раствор ПАВ подогревается до температуры 50...60 °С. Из емкости 15 подготовленный раствор подают на разбрызгивание в бункер 1 и на вибратор 12. Замкнутая система подачи и регенерации моющей жидкости позволяет повысить экономичность установки. Бункер 1 теплоизолирован снаружи для поддержания теплового режима.

Хотелось бы отметить, что данная физико-химическая технология позволяет получить очищенный и обезвоженный грунт, который можно использовать в

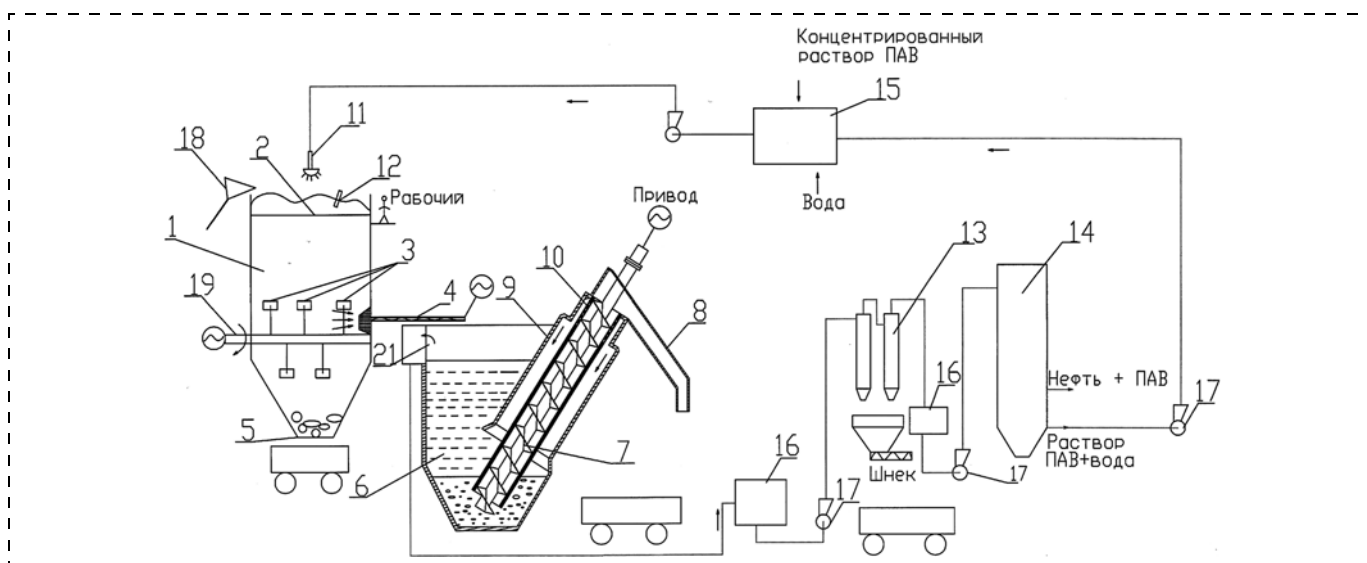


Схема установки для переработки нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов

дальнейшем для промышленных целей. В процессе переработки выделяя "товарную нефть" и используя замкнутую систему подачи и регенерации моющей жидкости, получаем положительный экономический эффект. И, самое главное, есть возможность очистить нефтешламные амбары. Эффективность предложенной установки по сравнению с другими заключается в том, что регулируя скорость перемешивания, концентрацию подаваемого ПАВ, время пребывания нефтешлама, степень отжима в винтовом конвейере, последовательность подачи в циклон и в илоотделитель, можно достичь заданной степени очистки вне зависимости от типа нефтешлама.

Список литературы

1. Ксенофонов Б. С., Дуплина Н. Г., Дулина Л. А. Очистка грунтов от нефтезагрязнений флотацией // Безопасность жизнедеятельности — 2004. — № 2. — С 34—37.
2. Пат. РФ № 2244686, МПК C02F1/40. Линия для очистки нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов / А. Б. Курченко. — № 2003119697/15; Заяв. 30.06.2003; Оpubл. 20.01.2005.
3. Пат. РФ № 2027825, МПК E02B 15/04. Способ очистки загрязненного грунта от нефтепродуктов и устройство для его осуществления / Д. А. Горюнов, Т. А. Хасанов, С. Г. Линцов и др. — № 4952344/15; Заяв. 27.05.91; Оpubл. 27.01.95. Бюл. № 3.
4. Пат. РФ № 2119005, МПК E02B 15/04. Установка для утилизации замасуленной снежной массы и нефтешлама / А. В. Головин, А. В. Шкарупа. — № 96118612/13; Заяв. 24.09.96; Оpubл. 20.09.98.
5. Пат. РФ № 2330734, МПК B09C 1/00. Установка для переработки нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов / Л. М. Амирова, А. Б. Култашев, Л. Г. Новширванов, Д. Л. Хасаншин и др. — № 2007102110/15; Заяв. 19.01.2007; Оpubл. 10.08.2008. Бюл. № 22.
6. Дудышев В. Д. Утилизация нефтешламов // Экология и промышленность России — 2002. — № 5. — С. 20—23.
7. Салем К. М., Перминова И. В., Гречищева Н. Ю., Мурыгина В. П., Мещеряков С. В. Биорекультивация нефтезагрязненных почв гуминовыми препаратами // Экология и промышленность России. — 2003. — № 4. — С. 19—20.

УДК 577.4:282.252.1:597

Л. М. Чухлебова, канд. биол. наук, Хабаровский филиал Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра
E-mail: ljubovchu@mail.ru

Оценка экологической безопасности промысловых рыб Амурского водного бассейна

Рассмотрены вопросы безопасности рыб бассейна реки Амур по содержанию в ней допустимых уровней токсичных веществ: тяжелых металлов, пестицидов, содержание в ней биогенных аминов: гистамина, нитрозоаминов, азота летучих оснований, а также уровня бактериальной обсемененности тканей.

Показано, что влияние токсичных соединений приводит к нарушению барьерных функций кожного покрова рыб, интродукции бактерий в их ткани и изменению консистенции с образованием летучих веществ, вызывающих формирование специфических запахов.

Ключевые слова: река Амур, промысловые рыбы, токсичные соединения, биогенные амины, бактериальная обсемененность мышц

Chukhlebova L. M. Evaluation of environmental safety commercial fish species of Amur river basin

The article deals with the safety of fish basin Amur on the content in it permissible levels of toxic substances: heavy metals, pesticides, content in her biogenic amines: histamine, nitrosamines, nitrogen, volatile bases, as well as the level of bacterial contamination of tissues.

It is shown that the effect of toxic compounds leads to disruption of the barrier function of the skin of fish, introduction of bacteria in their tissues and change in consistency with the formation of volatile substances, causing the formation of specific odors.

Keywords: Amur river, commercial fish, toxic compounds, biogenic amines, bacterial contamination of the muscles

Введение

Одной из актуальных экологических проблем Хабаровского края является ухудшение качества природных вод и рыбы на Нижнем Амуре, особенно в период зимней межени. Так, зимой 1996—1997 гг. было отмечено появление посторонних запахов у воды, у частиковых, осетровых, лососевых (корюшка) рыб [1]. По данным Амурской рыбной инспекции, значительная часть рыбы (лососевые и частиковые), выловленной на Нижнем Амуре в период с декабря по апрель 1999—2002 гг. была забракована из-за сильного постороннего "химического" запаха.



Известно, что особенности ответных реакций рыб на изменение экологических параметров среды зависят от их образа жизни и типа питания. Состояние окружающей среды влияет на разнообразие и воспроизводство рыб, качество рыбной продукции, особенности ее порчи (появление нехарактерных запахов), а также на длительность сохранения пищевой ценности в замороженном состоянии [2]. Снижение защитных функций рыб от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды и изменение их обмена веществ чаще всего происходит вследствие биоаккумуляции суперэкоксикантов (ионы тяжелых металлов, хлорированные органические соединения, полиароматические углеводороды и др.), которые вызывают в тканях и органах рыб морфофизиологические и морфопатологические отклонения. В настоящее время приоритетными загрязнителями поверхностных и подземных вод признаны стойкие органические соединения и тяжелые металлы, которые часто содержатся в природных водах в виде микропримесей (10^{-9} и 10^{-12} г/л) и оказывают существенное влияние на функционирование водных экосистем и гидробионтов [3].

В данной работе использован комплексный подход по выявлению причин изменения органолептических показателей у рыб реки Амур в период зимней и летней межени. Микробиологический анализ состояния мышц рыб в сочетании с современными физико-химическими методами определения токсических веществ позволил оценить степень загрязнения водной среды органическими соединениями различного происхождения, возможность аккумуляции отдельных элементов и вклад микробиологических процессов в образование летучих токсичных продуктов, участвующих в формировании "химических" запахов у свежей рыбы.

Объекты и методы исследования

Материалом для микробиологических исследований служили мышечные ткани амурских видов от более 450 экз. рыб (карась серебряный — 122, конь пестрый и конь-губарь — 47, кета — 27, сазан — 25, лещ белый амурский — 23, хариус верхнеамурский — 22, верхогляд — 21, сом амурский — 16, язь амурский — 18, краснопер монгольский — 14, сиг амурский — 10, толстолоб белый — 9, красноперка — 8, налим — 7, пескарь амурский — 6, ленок острорылый, горчак амурский — по 5, такие виды рыб как подуст, чернобрюшка, желтощек, змееголов, востробрюшка уссурийская, ауха, калуга, ротан-головешка и др. представлены от 1 до 3 экз.), отловленных из разных водоемов бассейна реки Амур в периоды зимней межени (ноябрь—март) и открытой воды (апрель—октябрь) 1998—2004 гг. ставными сетями, а также орудиями ручного лова. При обобще-

нии материалов учитывали рекомендации СанПиН 2.3.1078-01, и для оценки качества рыбы использовали определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ-метод). Нормативные требования метода: в мышечной ткани свежей рыбы может содержаться не более $5 \cdot 10^4$ колониеобразующих единиц (КОЕ/г), количество бактериальных клеток в препарате-отпечатке не более 10 в 10 полях зрения микроскопа (увеличение $\times 900$) [4].

Безопасность рыбного сырья определяли по допустимым уровням токсичных элементов: пестицидов, солей тяжелых металлов в мышцах. Пестициды определяли на газовом хроматографе HP 5890 серия II с капиллярной колонкой Ultra (США) $25 \text{ м} \times 0,32 \text{ мм} \times 0,52 \text{ мкм}$ согласно методическим указаниям (МЗ СССР, № 2482—81) по определению в рыбе хлорорганических пестицидов: дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и его метаболитов (ДДЕ, ДДД), гексахлорциклогексана (ГХЦГ). Ионы тяжелых металлов (ТМ) определяли методом электротермической атомизации (ГОСТ 30178—96, МУК 4.1.991—00) с использованием атомно-абсорбционного спектрометра Hitachi Z-9000. Ртуть определяли методом беспламенной атомной абсорбции на ртутном анализаторе "Юлия-2" согласно ГОСТ 26927—86.

Наряду с определением в мышцах рыб содержания ТМ, пестицидов для оценки безопасности рыбы необходима оценка уровня содержания в ее мышцах биогенных аминов: гистамина, нитрозоаминов, общего азота летучих оснований. Гистамин определяли фотометрически с учетом дополнений к документу СанПиН 42-123-4083—86. Анализ триметиламина (ТМА) проводили на спектрофотометре (HP 8452 A) с использованием пикриновой кислоты в безводном толуоле при длине волны 415 нм. Определение летучих оснований проводили согласно ГОСТ 7636—85, п. 3.2. Летучие спирты, альдегиды и кетоны определяли по модифицированной методике парафазной газовой хроматографии (хроматограф М3500) с использованием колонки "Полисорб 1" и идентифицированных эталонов летучих компонентов газовой фазы над рыбой.

Результаты и их обсуждение

Микробиологическая оценка качества рыбы

Из результатов санитарно-микробиологических исследований 1998—2004 гг. (более 450 различных видов рыб) следует, что рыба, отловленная в основном русле реки Амур в период зимней межени, часто не соответствовала требованиям, предъявляемым к рыбному сырью и не подлежала хранению даже в замороженном виде. Несмотря

на существенные различия в гидрологическом режиме водоемов бассейна реки Амур в различные годы (2001 г. экстремально маловодный по сравнению с 1999—2000 гг.) рыба из основного русла содержала высокую численность бактерий в мышцах и жабрах по сравнению с теми же видами, выловленными из протоков, что связано с высокой численностью микроорганизмов в этой водной среде, в которой накапливаются органические соединения различного происхождения [5].

Последние исследования показали, что со стоком реки Сунгари, полностью протекающей по территории Китая, в амурские воды поступают разнообразные азотсодержащие минеральные и органические соединения, фосфаты, трудноминерализуемые ароматические соединения [6, 7]. Оценка степени бактериальной обсемененности мышечных тканей рыб, отловленных в зимнюю межень 1999—2000 гг. ниже устья реки Сунгари, по микробиологическим показателям (МАФАНМ-метод) была на два порядка выше, чем у тех же видов рыб, но отловленных из протоки реки Серебряной [5]. Существенные различия в качестве одних и тех же видов рыб в период зимней межени могут быть связаны с изменением их физиологического состояния под влиянием факторов среды обитания, ослаблением защитных механизмов по отношению к интродукции микроорганизмов в мышечные ткани [8].

Проведенные в зимнюю межень 2001—2002 гг. комплексные исследования на участке между го-

родами Хабаровск—Комсомольск-на-Амуре показали, что на качество воды реки Амур существенное влияние оказывают находящиеся в водной среде различные органические соединения. К факторам, снижающим барьерные функции поверхностных тканей рыб, относятся: низкие температуры, лимит кислорода и присутствие токсичных соединений. Высокая степень бактериальной обсемененности мышц сома, коней, чебака, налима, карася, возможно связана с ослаблением их защитных функций и интродукцией микроорганизмов через кожные покровы и жабры в мышечные ткани. Критический уровень бактериальной обсемененности мышечных тканей отмечен у рыб, выловленных в основном русле реки Амур ниже г. Хабаровска ($1,95 \cdot 10^3 \dots 2,2 \cdot 10^4$ КОЕ/г). При микроскопировании мазков-отпечатков отмечено расслоение волокон мышечной ткани. Как правило, в протоках, не подверженных влиянию реки Амур, рыба соответствовала нормативным требованиям по санитарно-микробиологическим показателям, предъявляемым к рыбе, и характеризовалась минимальной бактериальной обсемененностью их тканей.

Проведенные исследования показали, что при низком уровне водности реки (1998, 1999, 2001 гг.) качество рыбы по микробиологическим показателям ухудшалось (табл. 1).

Таблица 1

Оценка качества амурской рыбы по МАФАНМ-методу

Год	Общее число экземпляров	Бактериальная обсемененность мышечной ткани, КОЕ/г	
		Зимняя межень	Открытая вода
1998	40	<u>100 (краснопер)...53 000 (конь)</u> 26 550	—
1999	62	<u>200 (сиг)...72 500 (косатка)</u> 36 350	<u>380 (щука)...31 200 (карась)</u> 15 790
2000	48	—	<u>720 (хариус)...9340 (косатка)</u> 5030
2001	69	<u>95 (сиг)...111 000 (конь)</u> 55 548	<u>60 (верхогляд)...86 000 (косатка)</u> 43 030
2002	74	<u>185 (краснопер)...6630 (чебак)</u> 3408	<u>140 (краснопер)...3550 (конь)</u> 1845
2003	53	<u>90 (лещ)...29 200 (косатка)</u> 14 645	—
2004	44	<u>40 (лещ)...6900 (карась)</u> 3470	<u>400 (верхогляд)...52 950 (конь)</u> 26 675

Примечание. Здесь и в табл. 4, 5, 6 — в числителе приведены интервалы показателей, в знаменателе — средние величины, прочерк — нет данных.



Содержание летучих продуктов в мышечных тканях рыб

Изменение качества рыбы происходит при проникновении микроорганизмов в ткани, вследствие чего изменяется их консистенция и окислительно-восстановительный потенциал за счет гидролитического ферментативного расщепления белков [9]. Эти изменения можно наблюдать как при микроскопировании мазков-отпечатков мышечной ткани, так и при химическом определении летучих соединений. В амурской рыбе (уссурийский сиг, амурский осетр, калуга, желтощек, проходная малоротая корюшка) с характерным "химическим" запахом методом газовой хроматографии была выявлена группа летучих органических соединений, участвующих в его формировании: этанол, метанол, ацетон, уксусный альдегид, этилацетат, изопропанол, метилэтилкетон, эфиры масляной кислоты и другие (табл. 2).

Аналогичные соединения обнаружены в результате экспериментального моделирования процессов, происходящих при ферментативном расщеплении белков мышечных тканей желтощека (табл. 3).

Изменение качества рыбы может сопровождаться образованием комплекса летучих продуктов, в том числе разнообразных азотсодержащих соединений (сумма летучих азотистых оснований, гистамин, триметиламин). Высокие концентрации азотистых летучих оснований (от 193 до 410 мг/кг

Таблица 2

Качественный состав летучих компонентов газовой фазы над рыбой, имеющей "химический" запах

Время удерживания, с	Компонент	Содержание в газовой фазе, мг/м ³				
		Сиг	Осетр	Калуга	Желтощек	Корюшка
100	Метанол	3	5	6	12	—
114	Уксусный альдегид	42	9	42	42	11,2
130	х-1*	3,5	—	—	4	—
175	Этанол	4,4	24	21	23	1,8
268	Ацетон + i-пропанол	45	11	18	44	42
330	х-2*	10	96	6	18	22
410	х-3*	—	14	0,9	6,7	3
500	х-4*	—	—	1,2	3,7	3
610	Метилэтилен-кетон	—	—	—	—	5,8
1200	Метилловый эфир масляной кислоты	—	—	—	—	6,8
1440	Этиловый эфир масляной кислоты	—	—	—	—	34

* х-N — не идентифицированные продукты.

Таблица 3

Идентификация продуктов, участвующих в формировании запаха желтощека

Субстрат, условия ферментации	Доминирующие продукты	Сопутствующие продукты
Мышечная ткань, контроль	Ацетон, уксусный альдегид	Этанол, метанол
Мышечная ткань не стерильная, ферментация 7 суток, 25 °С	Изобутанол, этанол	Этилацетат, Х-1*, Х-2*
Мышечная ткань стерильная, автоклавирование 20 мин, 120 °С	Этанол	Ацетон, уксусный альдегид
Мышечная ткань стерильная, инокулят протеолитических бактерий	Изобутанол	Этилацетат, Х-1*, Х-2*
Низкомолекулярный белок (пептон), инокулят протеолитических бактерий	Этанол, изобутанол	Уксусный альдегид, ацетон, метанол, изопропиловый спирт

* Х-1, Х-2 — не идентифицированные продукты с соответствующим временем удерживания, с.

Таблица 4

Показатели сезонного изменения содержания летучих азотсодержащих органических веществ в амурской рыбе, мг/кг сырой массы

Летучие вещества	Зимняя межень	Открытая вода
Азотистые основания	$\frac{70,0...410,0}{240,0}$	$\frac{75,0...263,0}{169,0}$
Триметиламин	$\frac{0,03...6,2}{3,1}$	$\frac{0...0,5}{0,3}$
Гистамин	$\frac{10,0...28,7}{19,4}$	$\frac{10,0...36,5}{23,3}$

сырой массы) в период зимней межени обнаружены в амурской рыбе, выловленной в основном русле реки Амур ниже г. Хабаровска (табл. 4).

Гистамин является причиной резкого острого вкуса и запаха, его вклад в формирование "химического" запаха амурской рыбы в определенных нами концентрациях не играет существенной роли. Многие амины являются не только источником неприятного химического запаха, но и служат предшественниками канцерогенных нитрозоаминов (НА), которые также обладают довольно широким спектром биологического воздействия, вызывая мутагенный и трансплацентарный эффект [10]. В холодное время года происходит отмирание и разложение фитопланктона и обогащение воды аммиаком, служащим предшественником НА. Под влиянием микробных ферментов декарбоксилаз в кишечнике рыб из аминокислот (лейцина, валина, орнитина и др.) образуются биогенные амины, которые

взаимодействуют с окислами азота. Качество рыбы может значительно ухудшаться за счет синтеза эндогенных НА. Обнаруженные концентрации триметиламина в период зимней межени были значительно выше, чем в период открытого русла реки Амур. Высокие концентрации ТМА (2,4...6,2 мг/кг) были характерны для всех видов рыб (амурский сом, налим, чебак, конь пестрый), отловленные из основного русла реки Амур.

Содержание тяжелых металлов в амурской рыбе

Токсикологический стресс при загрязнении водных экосистем тяжелыми металлами приводит к различным аномалиям в организме гидробионтов [11]. Впервые было исследовано более 160 экземпляров рыб, выловленных в летний и зимний периоды 2002 г. из основного русла, проток и пойменных озер экосистемы реки Амур. При оценке уровня загрязнения рыб токсичными элементами: медью, свинцом, кадмием, мышьяком (Сu, Pb, Cd, Zn, As) превышения ПДК по пищевым показателям не обнаружено, исключение составила ртуть (Hg) (табл. 5). Накопление ртути в донных отложениях и рыбе реки Амур отмечается уже в течение нескольких лет. Содержание тяжелых металлов у различных видов рыб значительно отличалось в зависимости от места вылова и сезонности [12]. Так, в период зимней межени ниже г. Хабаровска в одной из правобережных протоков была выловлена рыба с высоким содержанием кадмия, свинца, мышьяка.

Максимальное содержание тяжелых металлов обнаружено в соме из различных мест обитания.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в амурской рыбе, мг/кг сырой массы

Тяжелый металл	ПДК для пищевых продуктов	Зимняя межень	Открытая вода
Cu	10,0	$\frac{0,25...1,41}{0,83}$	$\frac{0,19...1,09}{0,64}$
Pb	1,0	$\frac{0...0,13}{0,065}$	$\frac{0...0,25}{0,13}$
Cd	0,2	$\frac{0...0,05}{0,025}$	$\frac{0...0,12}{0,06}$
Zn	40,0	$\frac{1,94...11,16}{6,55}$	$\frac{2,85...13,07}{7,96}$
Hg	0,6	$\frac{0,04...0,72}{0,38}$	$\frac{0,02...0,30}{0,16}$
As	1,0	$\frac{0...0,07}{0,035}$	$\frac{0,04...0,19}{0,12}$

Так, содержание ртути (0,72 мг/кг) превышало значение ПДК (0,6 мг/кг). Можно предположить, что она могла накапливаться при хроническом загрязнении водной среды по трофическим цепям. Подобные уровни накопления ртути у рыбы отмечались и ранее в период зимней межени 1996—1997 гг. в основном русле реки Амур, тогда отлавливалась рыба (сом) с максимальной концентрацией ртути (0,65 мг/кг), превышающей ПДК [13]. В рыбе из проток ртуть содержалась в минимальном количестве независимо от сезона года, тогда как максимальное содержание в рыбе свинца, цинка и мышьяка было характерно для открытого русла. Уровень накопления в рыбе тяжелых металлов летом 2002 г. несколько отличался от характера их накопления в зимний период. Так, летом отмечалось более высокое содержание в рыбе свинца, кадмия, цинка и мышьяка, которые относятся к токсическим веществам антропогенного происхождения, они могут поступать в водные экосистемы как со сточными водами, с поверхностным стоком, так и из атмосферы. И зимой, и летом самым загрязненным тяжелыми металлами был сом.

Содержание в рыбе хлорсодержащих пестицидов

Высокой токсичностью характеризуются хлорсодержащие органические пестициды (ХОП), относящиеся к группе ДДТ и ГХЦГ. Установлено, что часть пестицидов поглощается гидробионтами и постепенно метаболизируется, другая часть сорбируется на взвешенных частицах ила, мигрирует и оседает на дно и может сохраняться там десятки и даже сотни лет [14].

Впервые в 2002 г. методом газожидкостной хроматографии проведено крупномасштабное исследование содержания пестицидов в амурской рыбе, выловленной в периоды зимней межени и открытого русла. В зимнее время практически во всей обследованной рыбе обнаружены изомеры ГХЦГ, а также ДДТ и его метаболиты (табл. 6). Согласно современным нормативным требованиям превышения ПДК для пищевых продуктов по содержа-

Таблица 6

Содержание хлорорганических пестицидов в амурской рыбе, мг/кг сырой массы

Пестициды	ПДК (для пищевых продуктов)	Зимняя межень	Открытая вода
Сумма ДДТ и его метаболитов	0,3	$\frac{0,0024...0,075}{0,039}$	$\frac{0...0,004}{0,002}$
Линдан (γ-ГХЦГ)	0,03	$\frac{0,0018...0,025}{0,013}$	$\frac{0...0,001}{0,0005}$



нию пестицидов в амурской рыбе не отмечено, однако все обнаруженные ингредиенты способны оказывать значительное влияние на органолептические свойства выловленной рыбы.

Максимальное содержание ДДТ и его производных обнаружено зимой в красноперке (0,0623 мг/кг) и в соме (0,0751 мг/кг), отловленных в основном русле реки Амур. Диапазон концентраций самого токсичного изомера γ -ГХЦГ в различных видах рыб составлял от 0,0019 до 0,0249 мг/кг. Летом загрязнение рыб пестицидами было значительно меньше, чем зимой. Средние концентрации ГХЦГ в рыбе, отловленной летом, были ниже в 4 раза, а содержание ДДТ и продуктов его деструкции более чем в 10 раз меньше. В 8 из 30 проб рыб было зарегистрировано присутствие низких концентраций продукта трансформации ДДЕ. Вероятнее всего при благоприятных летних температурных условиях пестициды быстрее выводятся из организма рыб. Минимальные концентрации отдельных изомеров ГХЦГ и остаточные концентрации лишь одного из стойких метаболитов ДДЕ обнаружены в озерной рыбе. Из литературы известно, что ХОП могут вызывать патологию внутренних органов: печени, почек, сердца, роговых покровов, они способствуют нарушению обмена веществ, появлению летальных мутаций, уродств, рождению нежизнеспособной молодежи рыб [10, 15].

Современный критерий экологического риска основан на предотвращении попадания хлорсодержащих пестицидов в организм человека через различные продукты питания, в том числе с рыбой.

Комплексные исследования показали, что совокупность факторов приводит к комбинированным эффектам, благодаря которым у исследованных видов амурских рыб нарушаются защитные механизмы, изменяются органолептические показатели, которые сопровождаются выделением летучих органических веществ с резким "химическим" запахом. Это создает реальную опасность как для воспроизводства рыбных ресурсов, так и для здоровья населения нижнего Амура.

Заключение

Таким образом, на основании комплексных микробиологических и физико-химических методов исследования амурских видов рыб в период зимней межени и открытого русла показано, что совокупность факторов (природных и антропогенных), влияющих на качество водной среды, приводит к комбинированным эффектам, образованию и накоплению отдельных предшественников токсичных соединений. В формировании органолептических показателей рыбы принимают участие различные группы летучих соединений: спирты, альдегиды, кетоны, амины и др. В результате комбинированного воздействия ХОП и ио-

нов тяжелых металлов (ниже пищевых ПДК) ослабляются защитные механизмы рыб от неблагоприятного воздействия природных факторов (низкие температуры, лимит кислорода), усиливается чувствительность рыбы к другим менее токсичным веществам; нарушаются барьерные функции кожного покрова и жабр от внедрения сапрофитных и патогенных микроорганизмов. Интродукция бактерий в мышечные ткани сопровождается изменением их консистенции и образованием летучих соединений, некоторые из которых для рыбной продукции не нормируются.

Автор выражает глубокую благодарность В. Л. Рапопорту за помощь в определении летучих соединений в рыбе, химикам-аналитикам В. Е. Зазулиной, Л. С. Боконенко и Л. В. Васильевой за определение в рыбе ионов тяжелых металлов и пестицидов.

Список литературы

1. Каретникова Е. А. Оценка экологического риска фенольного загрязнения водных экосистем: автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Хабаровск, 2002.
2. Голова Ж. А., Дедюхина В. П. Микробиология рыбы и рыбных продуктов. — М., 1986. — 148 с.
3. Майстренко В. Н., Хамитов Р. З., Будников Г. К. Эколого-аналитический мониторинг суперэкоксикантов. — М., 1996. — 319 с.
4. Инструкция по санитарно-микробиологическому контролю производства пищевой продукции из рыбы и морских беспозвоночных № 5319—91. — Л.: Гипрорыбфлот, 1991. — 94 с.
5. Чухлебова Л. М. Экотоксикологическая оценка состояния рыб экосистемы реки Амур: автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2004.
6. Кондратьева Л. М., Гаретова Л. А., Чухлебова Л. М. Микробиологическая оценка экологического риска трансграничного загрязнения р. Амур // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже III тысячелетия: материалы междунар. конф. Томск, 3—7 сент. 2000 — Томск, 2000. — С. 332—335.
7. Левшина С. И. Растворенное и взвешенное органическое вещество вод Амура и Сунгари // Водные ресурсы. — 2008. — Т. 35. — № 6. — С. 745—753.
8. Исаева Н. М., Козиненко И. И. Иммуномоделирующее действие бактерий (их продуктов) на рыб // Вопросы ихтиологии. — 1999. — Т. 39. — № 4. — С. 527—534.
9. Антонов Н. А., Денисова С. А., Шевченко В. В. Экспертиза мяса убойных животных, птицы, рыбы. — СПб. — 1994. — С. 29—42.
10. Жигунова Л. Н. Закономерности образования и мониторинг нитрозоаминов в окружающей среде: дис. в виде научного доклада... д-ра техн. наук. Минск, 2002.
11. Голованова И. Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. — 2008. — № 1. — С. 99—108.
12. Ивашов П. В., Сиротский С. Е. Тяжелые металлы в биообъектах водных экосистем бассейна р. Амур // Геолого-геохимические и биогеохимические исследования на Дальнем Востоке. — Владивосток: Дальнаука, 1998. — Вып. 8. — С. 49—59.
13. Водно-экологические проблемы бассейна реки Амур. — Владивосток, 2003. — 87 с.
14. Мельников Н. Н., Волков А. И., Короткова О. А. Пестициды и окружающая среда. — М., 1977. — 240 с.
15. Коновалов А. Ф., Болотова Н. Л. Применение методов морфологической индикации рыб для оценки загрязнения Белого озера тяжелыми металлами. — Сыктывкар, 2001. — С. 83—84.

УДК 614.8

А. Д. Галеев, канд. техн. наук, доц., **С. И. Поникаров**, д-р техн. наук, проф.,
А. А. Салин, инж., Казанский государственный технологический университет
E-mail: galeev-ainur@mail.ru

Прогнозирование зон токсического поражения при испарении с поверхности аварийного пролива соляной кислоты

Представлена математическая модель для расчета зон токсического поражения при испарении с поверхности аварийного пролива соляной кислоты. Выполнен численный анализ влияния скорости ветра и степени устойчивости атмосферы на размеры зон, ограниченных летальной и пороговой токсодозой.

Ключевые слова: соляная кислота, испарение, рассеяние примеси, численное моделирование

Galeev A. D., Ponikarov S. I., Salin A. A.
Prediction of toxic zones due to hydrochloric acid evaporation from surface of accidental spill

A model for calculating of toxic zones due to hydrochloric acid evaporation from surface of accidental spill is presented. The numerical analysis of the influence of wind velocity and degree of stability of the atmosphere on the dimensions of zones bounded by lethal and threshold toxic dose was carried out.

Keywords: hydrochloric acid, evaporation, pollutant dispersion, numerical simulation

Введение

Достоверное прогнозирование зон токсического поражения при возможных аварийных выбросах (разливах) имеет большое значение для принятия эффективных управленческих решений по обеспечению промышленной безопасности химически опасных производственных объектов. Решение данной задачи осуществляется путем математического моделирования двух взаимосвязанных процессов — поступления опасного вещества при испарении с поверхности аварийного пролива и его рассеяния в поле ветрового потока. Недостатки стандартных эмпирических и аналитических моделей [1] связаны с неполной параметризацией источника поступления опасного вещества в окружающую среду. Так, в рамках существующих методик не учитываются:

— изменение интенсивности поступления опасного вещества со свободной поверхности пролива вследствие изменения состава испаряющейся жидкости;

— локальные особенности местонахождения пролива, связанные с наличием препятствий или перепада высот [2];

— влияние на динамику испарения концентрационного положительного градиента плотности, возникающего над зеркалом разлива и проявляющегося в подавлении турбулентного перемешивания [3].

В связи с этим для решения подобных задач представляется наиболее эффективным метод численного моделирования, основанный на построении вычислительных сеток и численном решении трехмерных нестационарных уравнений гидродинамики и теплообмена. Численные модели базируются на фундаментальных законах сохранения и выведены с привлечением минимума гипотез и допущений. Благодаря этому повышается достоверность прогнозных оценок для широкого ряда аварийных ситуаций.

В настоящей работе представлена численная модель прогнозирования зон токсического поражения при испарении с поверхности аварийного пролива бинарного раствора. В качестве иллюстрации использования предлагаемого метода излагаются результаты численного анализа влияния метеорологических условий на характеристики испарения и размеры зон токсического поражения для случая аварийного пролива соляной кислоты. В модели учтена нестационарность испарения соляной кислоты, связанная с уменьшением содержания хлористого водорода в жидкости со временем.

Математическая модель расчета зон токсического поражения

Предлагаемая модель включает систему уравнений для описания процесса распространения газообразного вещества в атмосфере и граничные условия в форме пристеночных функций, описывающих массовый поток газа с поверхности аварийного пролива. Математическая модель распространения примеси в поле ветрового потока содержит осредненные по Рейнольдсу уравнения



Навье-Стокса для трех компонент вектора скорости, уравнения неразрывности, адвективно-диффузионного переноса газообразного компонента и уравнение переноса теплоты. Учет влияния эффектов турбулентности выполнен с помощью Realizable k-ε модели турбулентности. Подробное описание указанных дифференциальных уравнений и значения коэффициентов можно найти в литературе [4–6], поэтому в данной статье не приводятся. Особенностью предлагаемого метода является модификация граничных условий для описания процесса испарения токсичного вещества с поверхности аварийного пролива бинарного раствора.

Система дифференциальных уравнений решалась методом контрольных объемов [4, 7]. Расчетная область (рис. 1) разбивалась на конечное число непересекающихся контрольных объемов так, что в каждом объеме содержался только один узел сетки. Дискретные аналоги получались путем интегрирования соответствующих уравнений по каждому контрольному объему. Интегралы вычислялись с использованием кусочных профилей, описывающих изменение функций между узловыми точками. Расчеты выполнялись с использованием программного комплекса FLUENT.

На входе в расчетную область задавались профили скорости и турбулентных характеристик, полученные из численного решения задачи движения воздушного потока над ровной поверхностью. Это достигается тем, что в качестве рассматриваемых профилей берутся профили скорости и параметров турбулентности на выходе из расчетной области. Температура на входной границе принималась постоянной. На боковых и верхней границах области ставилось условие симметрии, т. е. равенство нулю нормальной к границе компоненты скорости и нормальных производных остальных переменных. На нижней границе ($y = 0$) задавалось

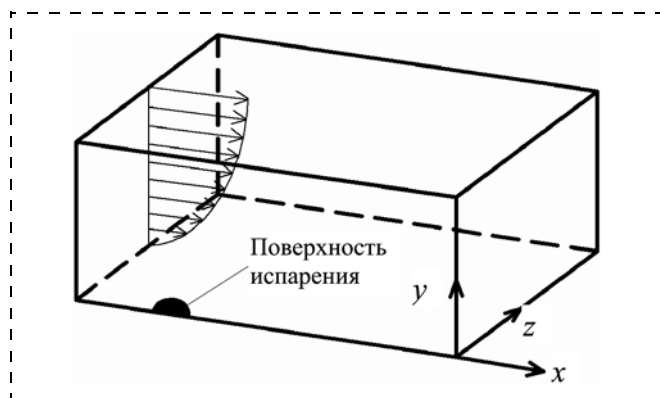


Рис. 1. Расчетная область

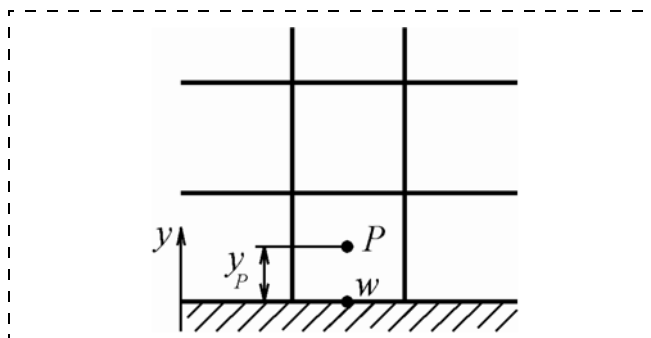


Рис. 2. Расположение пристеночного узла расчетной сетки

условие прилипания. На выходной границе фиксировалось нулевое избыточное давление.

Для удобства изложения математической модели испарения обозначим точку на поверхности пролива буквой w , соседний к проливу узел расчетной сетки — буквой P , расстояние по нормали от поверхности испарения до соседнего узла расчетной сетки обозначим как y_p (рис. 2).

При разработке модели испарения соляной кислоты были сделаны следующие допущения:

- жидкость считается перемешанной по высоте слоя;
- свободная граница жидкости при испарении считается неподвижной;
- не учитывается химическая реакция хлористого водорода с парами воды в атмосфере;
- испарение воды из пролива не учитывается.

Последнее допущение считается целесообразным, так как парциальное давление паров воды на границе раздела фаз на порядок ниже парциального давления растворенного газа (рис. 3). К тому же наличие в окружающем воздухе определенного количества водяных паров снижает движущую силу процесса испарения воды.

Концентрация хлористого водорода на межфазной поверхности определялась исходя из гипотезы о насыщенности паров у поверхности раздела. Таким образом, мольная доля компонента на межфазной границе, моль/моль

$$Y_{g,w} = \frac{P_{g,w}(X_g, T_l)}{P_0}, \quad (1)$$

где $P_{g,w}(X_g, T_l)$ — парциальное давление компонента над раствором при температуре T_l и массовой доле компонента в растворе X_g , Па; P_0 — давление в окружающей среде, Па.

Массовый поток хлористого водорода с поверхности пролива определялся на основе стандартных функций стенки [4, 9, 10] с учетом поправки на стефановский поток [11, с. 94–97] (конвективный поток парогазовой смеси, индуцируемый диффу-

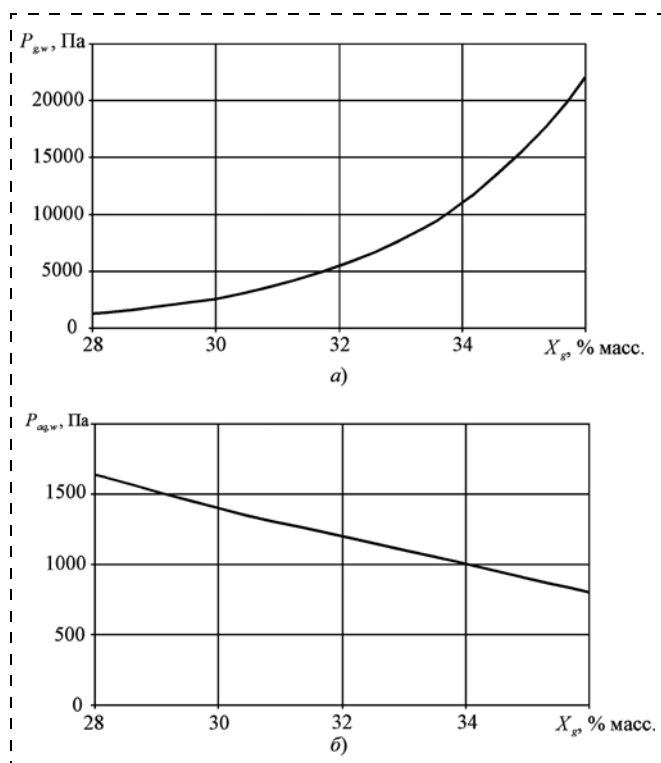


Рис. 3. Парциальные давления хлористого водорода $P_{g,w}$ (а) и паров воды $P_{a,g,w}$ (б) над раствором соляной кислоты в зависимости от массовой доли хлористого водорода в растворе X_g при температуре 303 К [8]

зионным потоком компонентов при непроницаемой поверхности раздела фаз и направленный от поверхности жидкости в парогазовую среду:

$$J_{g,w} = K \frac{(C_{g,w} - C_{g,p}) \rho u_*}{C^+}; \quad (2)$$

$$C^+ = \begin{cases} Sc \cdot y^+ & \text{при } (y^+ < y_C^+) \\ Sc_t(u^+ + P_C) & \text{при } (y^+ > y_C^+) \end{cases}; \quad (3)$$

$$y^+ = \frac{\rho u_* y_P}{\mu}; \quad (4)$$

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) - \Delta B; \quad (5)$$

$$\Delta B =$$

$$= \begin{cases} 0 & \text{при } K_{S,l}^+ < 2,25 \\ \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{K_{S,l}^+ - 2,25}{87,75} + C_Z K_{S,l}^+ \right) \times \\ \quad \times \sin \{ 0,4258 (\ln K_{S,l}^+ - 0,811) \} & \text{при } 2,25 < K_{S,l}^+ < 90 \\ \frac{1}{\kappa} \ln(1 + C_Z K_{S,l}^+) & \text{при } K_{S,l}^+ > 90 \end{cases}; \quad (6)$$

$$K_{S,l}^+ = \frac{\rho K_{S,l} u_*}{\mu}; \quad (7)$$

$$P_C = 9,24 \left[\left(\frac{Sc}{Sc_t} \right)^{3/4} - 1 \right] \times \\ \times [1 + 0,28 \exp(-0,007 Sc / Sc_t)]; \quad (8)$$

$$K = \frac{\ln(1/(1 - Y_{g,w}))}{Y_{g,w}}; \quad (9)$$

где $J_{g,w}$ — массовый поток компонента с поверхности аварийного пролива, кг/(м²·с); K — коэффициент, учитывающий влияние на интенсивность испарения стефановского потока; $C_{g,w}$ и $C_{g,p}$ — массовая доля компонента на свободной поверхности пролива и соседнем узле расчетной сетки соответственно, кг/кг; ρ — плотность паровоздушной смеси, кг/м³; u_* — скорость трения, м/с; $u_* = (\tau_w/\rho)^{0,5}$; τ_w — напряжение трения на стенке, Па; $Sc = \mu/(\rho D_m)$ и Sc_t — молекулярное и турбулентное числа Шмидта соответственно; D_m — коэффициент молекулярной диффузии, м²/с; y_P — расстояние по нормали от поверхности испарения (стенки) до соседнего узла расчетной сетки, м; μ — коэффициент динамической молекулярной вязкости паровоздушной смеси, кг/(м·с); κ — константа Кармана, равная 0,41; E — константа в логарифмическом законе стенки для скорости, равная 9,1; y_C^+ — безразмерное расстояние от стенки, определяемое в точке пересечения линейного и логарифмического закона изменения концентрации у стенки; C_Z — коэффициент; $K_{S,l}$ — высота шероховатости поверхности пролива, м; $K_{S,l}^+$ — безразмерная высота шероховатости поверхности пролива.

В программе FLUENT для учета влияния шероховатости поверхности пролива следует задать два параметра — высоту шероховатости $K_{S,l}$ и константу шероховатости C_Z . Соотношение, связывающее аэродинамическую шероховатость y_0 с высотой $K_{S,l}$, имеет вид [12]:

$$K_{S,l} = \frac{9,793 y_0}{C_Z}. \quad (10)$$

Значение аэродинамической шероховатости для поверхности пролива принималось равным $y_0 = 0,001$ м [1]. Таким образом, при расчете задавали $C_Z = 1$, высоту шероховатости для поверхности пролива $K_{S,l} = 0,0098$ м.



Определенная таким образом интенсивность поступления паров $J_{g,w}$ использовалась в качестве граничного условия в области источника в задаче распространения примеси в атмосфере.

Плотность газовой смеси ($\text{кг}/\text{м}^3$) определяется по уравнению состояния идеального газа с учетом влияния массовых концентраций компонентов:

$$\rho = \frac{P_0}{R_0 T \left(\frac{C_g}{M_g} + \frac{1 - C_g}{M_a} \right)}, \quad (11)$$

где R_0 — универсальная газовая постоянная; $R_0 = 8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$; T — температура паровоздушной смеси, К; C_g — массовая доля хлористого водорода в паровоздушной смеси, $\text{кг}/\text{кг}$; M_g и M_a — молекулярные массы хлористого водорода и воздуха соответственно, $\text{кг}/\text{моль}$.

Изменение массы хлористого водорода в жидкой фазе рассчитывалось из уравнения:

$$\frac{dm_g}{dt} = -J_{g,w}, \quad (12)$$

где m_g — масса компонента жидкости, отнесенная к единице площади поверхности пролива, $\text{кг}/\text{м}^2$.

Для упрощения изменение температуры жидкости со временем не учитывалось ввиду низкого значения теплоты испарения хлористого водорода из соляной кислоты (230 000 Дж/кг при температуре 303 К [13, с. 10]). Ниже будет показана обоснованность данного допущения.

В рассматриваемой задаче удельная теплоемкость C_p , коэффициенты молекулярной вязкости μ и теплопроводности λ паровоздушной смеси определялись через массовые доли и удельные теплоемкости, коэффициенты молекулярной вязкости и теплопроводности чистых компонентов:

$$C_p = C_g C_{pg} + (1 - C_g) C_{pa}, \quad (13)$$

$$\mu = C_g \mu_g + (1 - C_g) \mu_a, \quad (14)$$

$$\lambda = C_g \lambda_g + (1 - C_g) \lambda_a, \quad (15)$$

где C_{pg} и C_{pa} — удельные теплоемкости хлористого водорода и воздуха соответственно, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; μ_g и μ_a — коэффициенты динамической молекулярной вязкости хлористого водорода и воздуха соответственно, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$; λ_g и λ_a — коэффициенты молекулярной теплопроводности хлористого водорода и воздуха соответственно, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Результаты расчетов

Выполнен численный расчет размеров зон токсического поражения в случае испарения концентрированного раствора соляной кислоты (36 % масс.) с поверхности аварийного пролива размерами

$20 \times 20 \text{ м}^2$. Расчет проводился для значений скорости ветра 1,2 и 3 м/с на высоте 10 м. Степень устойчивости атмосферы для каждого значения скорости ветра учитывалась путем задания соответствующего распределения температуры в слое грунта. При изотермии (нейтральной стратификации) температура поверхности грунта принималась равной температуре воздушного потока ($T_0 = 303 \text{ К}$), при конвекции (неустойчивой стратификации) — на 5°С выше, а при инверсии (устойчивой стратификации) — на 3°С ниже температуры воздушного потока. Температура на нижней границе подстилающего слоя высотой 5 м задавалась равной 281 К. Принималось, что температура линейно понижается с глубиной. Температурный профиль в атмосферном пограничном слое получен из решения нестационарной сопряженной задачи теплообмена воздушного потока с твердым подстилающим слоем. При расчете удельная теплоемкость C_{ps} , коэффициент теплопроводности λ_s и плотность материала ρ_s подстилающего слоя задавались равными $C_{ps} = 1130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, $\lambda_s = 1,28 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $\rho_s = 2300 \text{ кг}/\text{м}^3$. Температура жидкости принималась равной 303 К.

Остальные параметры имели следующие значения: коэффициент молекулярной диффузии хлористого водорода в воздухе $D_m = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; $\mu_g = 1,72 \cdot 10^{-5} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$; $\mu_a = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$; $C_{pg} = 800 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $C_{pa} = 1006 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $\lambda_g = 0,015 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\lambda_a = 0,0242 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

На рис. 4 представлены зависимости осредненной по поверхности пролива интенсивности испарения $J_{g,w}$ соляной кислоты от времени. Наблюдается падение $J_{g,w}$ со временем, связанное с уменьшением содержания хлористого водорода в жидкой фазе. Начиная с определенного момента времени величина $J_{g,w}$ меняется слабо. Влияние температурной стратификации атмосферы на интенсивность испарения тем ниже, чем выше скорость ветра. Данная закономерность отражает снижение влияния эффектов плавучести на турбулентную структуру течения с увеличением скорости ветра.

Из представленных результатов можно сделать вывод об обоснованности допущения о постоянстве температуры жидкой фазы со временем. Покажем, что отвод теплоты при испарении может быть полностью компенсирован теплопритоком от солнца.

Тепловой поток от солнца q_s , $\text{Вт}/\text{м}^2$, с учетом отражения от зеркала пролива определялся по формуле [14]:

$$q_s = 1110(1 - 0,0071\omega^2)(\sin\varphi - 0,1), \quad (16)$$

где ω — коэффициент облачности, изменяющийся от 0 до 10 (для безоблачного неба $\omega = 0$); φ — высота солнцестояния, угловые градусы.

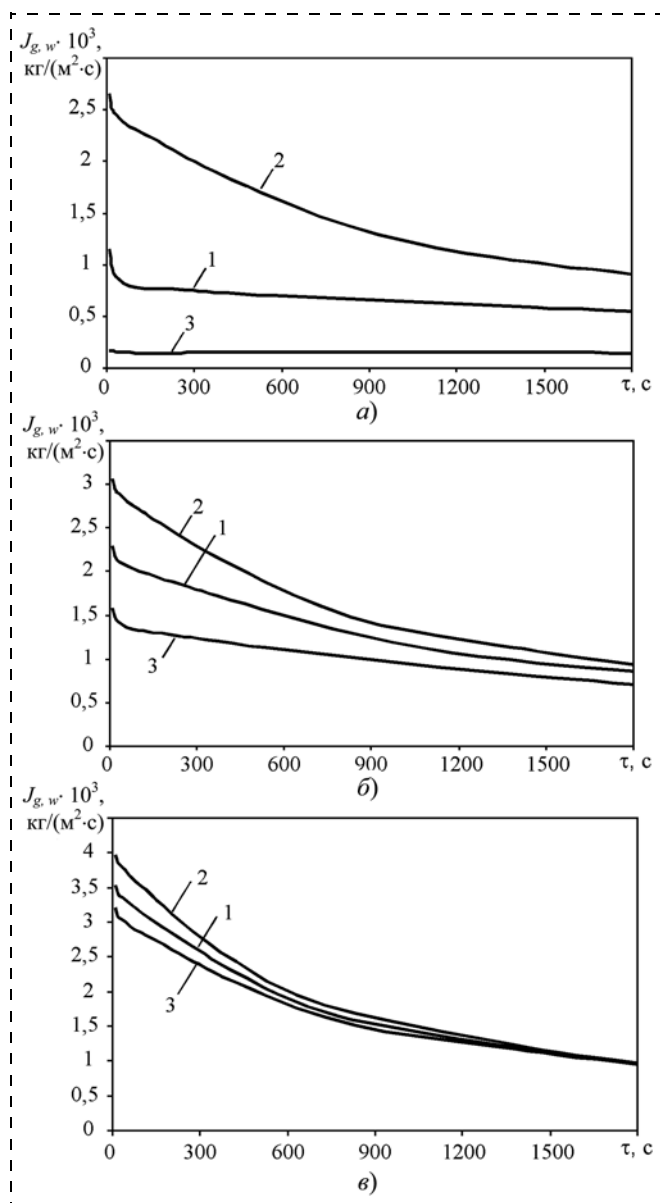


Рис. 4. Осредненная по поверхности пролива интенсивность испарения $J_{g,w}$ в зависимости от скорости ветра, устойчивости атмосферы и времени τ :

а, б, в — скорость ветра 1, 2 и 3 м/с соответственно; 1, 2, 3 — изотермия, конвекция, инверсия соответственно

Зависимость φ от временных параметров, т. е. от времени года и суток, а также от широты местности имеет вид [15]:

$$\sin \varphi = \sin \varphi_1 \sin \vartheta - \cos \varphi_1 \cos \vartheta \cos(\pi\tau/12); \quad (17)$$

$$\varphi_1 = \alpha(1 - |n - 6|/3),$$

где ϑ — широта местности, угловые градусы; $\alpha = 23,5^\circ$ — угол наклона плоскости экватора к плоскости эклиптики; n — номер месяца года: i — январь и т. д.; τ — текущее время суток, ч.

Для широты Москвы ($\vartheta = 55,75^\circ$) находим, что в июне максимум q_s (т. е. в полдень при безоблачном небе) равен $635 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Потери теплоты q_p , $\text{Вт}/\text{м}^2$, вследствие длинноволнового излучения поверхности пролива [14]:

$$q_p = e\sigma T_l^4, \quad (18)$$

где e — степень черноты жидкости; $e = 0,93$; σ — константа Стефана—Больцмана; $\sigma = 5,667 \cdot 10^{-8}$.

Теплоприток q_{ar} , $\text{Вт}/\text{м}^2$, к проливу вследствие длинноволнового излучения атмосферы [14]:

$$q_{ar} = (1 - r)f\sigma T_0^4, \quad (19)$$

где r — коэффициент отражения жидкостью длинноволнового излучения; $r = 0,03$; f — коэффициент атмосферного излучения; $f = 0,8$.

Радиационный баланс на поверхности пролива

$$R = q_s + q_{ar} - q_p \quad (20)$$

Подставляя рассчитанные значения, получим:

$$R = 635 + (1 - 0,03) \cdot 0,8 \cdot 5,667 \cdot 10^{-8} \cdot 303^4 - 0,93 \cdot 5,667 \cdot 10^{-8} \cdot 303^4 = 561,4 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Таким образом, максимальное значение интенсивности испарения, при котором теплоотвод вследствие испарения полностью компенсируется теплопритоком от солнца, должно составлять $0,00244 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{c})$ при теплоте испарения $230\,000 \text{ Дж}/\text{кг}$. Чтобы происходило падение температуры при испарении, интенсивность испарения должна превышать оценочное значение, однако расчетные значения (см. рис. 4) либо ниже, либо превышают оценочное только на начальном этапе испарения.

Границы зоны токсического поражения хлористым водородом оценивались по значению показателя токсодозы $D_g(x, y, z)$:

$$D_g(x, y, z) = \int_0^{\tau_{\text{эксп}}} C_g(x, y, z, \tau) d\tau = \sum_N C_g(x, y, z, t) \Delta t, \quad (21)$$

где $\tau_{\text{эксп}}$ — время экспозиции; Δt — шаг по времени; N — число шагов по времени.

Для хлористого водорода значения летальной и пороговой токсодоз равны соответственно $20\,000$ и $2000 \text{ мг} \cdot \text{мин}/\text{м}^3$ [1].

Время экспозиции $\tau_{\text{эксп}}$ при расчете размеров зон поражения принято равным 1800 мин, что соответствует предположению о возможности выхода человека за это время из опасной зоны.

На рис. 5—7 представлены изолинии токсодоз (начало координат совмещено с подветренным краем пролива). В целом полученные результаты

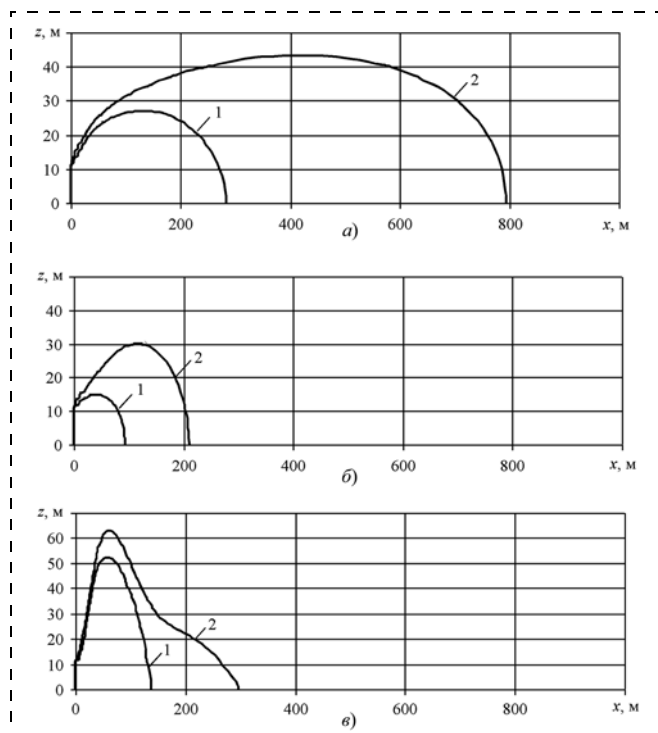


Рис. 5. Изолинии летальной (1) и пороговой токсодоз (2) при скорости ветра 1 м/с:

а, б, в — изотермия, конвекция и инверсия соответственно

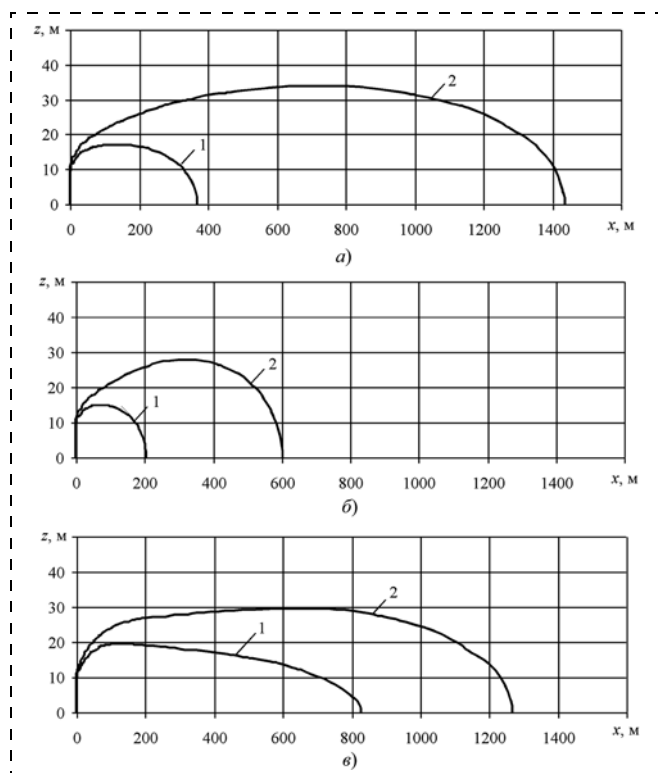


Рис. 6. Изолинии летальной (1) и пороговой токсодоз (2) при скорости ветра 2 м/с:

а, б, в — изотермия, конвекция и инверсия соответственно

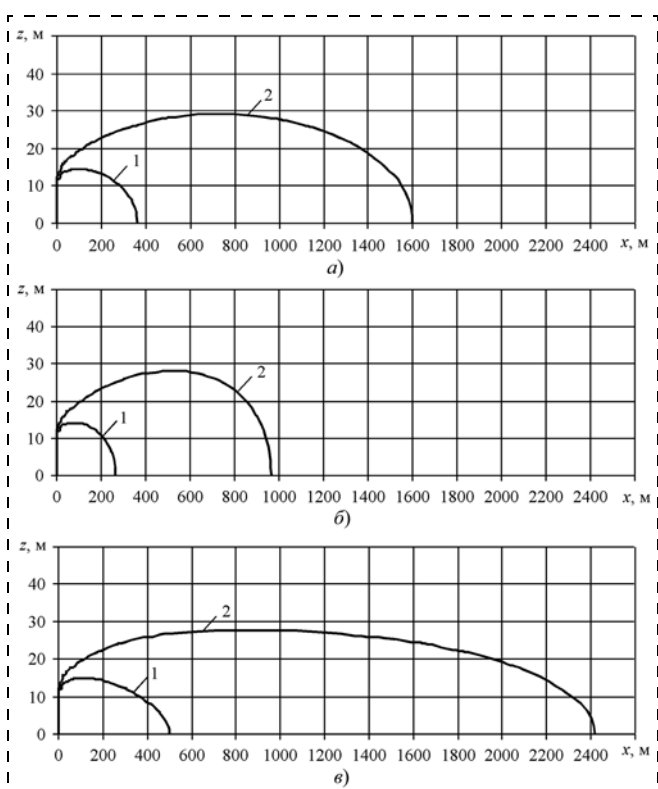


Рис. 7. Изолинии летальной (1) и пороговой токсодоз (2) при скорости ветра 3 м/с:

а, б, в — изотермия, конвекция и инверсия соответственно

согласуются с существующим представлением о влиянии степени устойчивости атмосферы на размеры зон опасных концентраций. При неустойчивой стратификации зоны поражения меньше, чем при изотермии и инверсии, так как конвективные потоки обуславливают более интенсивное рассеяние примеси. При скорости ветра 1 м/с влияние температурной стратификации неоднозначно: протяженность зоны токсического поражения по направлению ветра при инверсии ниже, чем при изотермии, однако ширина больше. Это объясняется тем, что, во-первых, при устойчивой стратификации скорость движения потока ниже вблизи подстилающей поверхности; во-вторых, при устойчивой стратификации почти на порядок ниже интенсивность испарения. Положительный градиент плотности при инверсии способствует растеканию газа в поперечном к ветру направлении, что способствует увеличению ширины опасной зоны.

С увеличением скорости ветра протяженность зоны (см. рис. 6, 7), ограниченной пороговой токсодозой, увеличивается в направлении ветра при всех типах термической стратификации. При изотермии и инверсии данная тенденция связана с возрастанием интенсивности поступления хлорис-

Результаты расчета зон поражающего воздействия

Скорость ветра, м/с	Площадь зоны летального поражения		
	Изотермия	Конвекция	Инверсия
1	12 384	2366	9 798
2	10 680	5176	25 034
3	8 624	6296	11 604

того водорода с зеркала пролива при увеличении скорости ветра, при конвекции — ослаблением влияния конвективных течений на рассеяние при увеличении скорости ветра.

Протяженность зоны летального поражения неоднозначно зависит от скорости ветра. При конвекции и изотермии увеличение скорости ветра сопровождается увеличением размера зоны летального поражения в направлении ветра. При инверсии зона летального поражения имеет максимальную протяженность при скорости ветра 2 м/с.

Значения площадей зон, ограниченных летальной токсодозой, при различных метеорологических условиях представлены в таблице. Площадь зоны поражения с увеличением скорости ветра уменьшается при изотермии и увеличивается при конвекции. Зона летального поражения имеет максимальную площадь при инверсии и скорости ветра 2 м/с.

Заключение

На основе численного моделирования определены размеры зон летального и порогового воздействия при испарении с поверхности аварийного пролива соляной кислоты. В модели учтено изменение поступления хлористого водорода из пролива вследствие уменьшения его содержания в жидкой фазе. Учет нестационарности испарения позволяет более адекватно оценивать возможные последствия аварий на объектах обращения соляной кислоты, не завышая степени опасности последней. Установлено, что интенсивность испарения соляной кислоты значительно зависит от термической стратификации атмосферы. Влияние вертикального градиента температур тем выше, чем ниже скорость ветра. Выявлено, что выбор в качестве наихудших условий скорости ветра 1 м/с и инверсии не обеспечивает необходимой консер-

вативности оценки размеров зон токсического поражения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК-2879.2010.8).

Список литературы

1. РД-03-26—2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 декабря 2007 г. № 859).
2. Галеев А. Д., Поникаров С. И. Прогнозирование зон токсической опасности и пожаровзрывоопасности при авариях на объектах хранения нефтепродуктов // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 5. — С. 29—34.
3. Галеев А. Д., Поникаров С. И. Моделирование формирования взрывоопасного облака при испарении с поверхности аварийного пролива нефти // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19. — № 2. — С. 22—27.
4. Versteeg Н. К., Malalasekera W. An introduction to computational fluid dynamics. The finite volume method. — Longman Scientific & Technical, 1995. — 257 p.
5. Комплексный анализ моделей турбулентности, алгоритмов и сеточных структур при расчете циркуляционного течения в каверне с помощью пакетов программ VP2/3 и FLUENT. Часть 1. Влияние схемных факторов / С. А. Исаев, П. А. Баранов, Н. А. Кудрявцев и др. // Теплофизика и аэромеханика. — 2005. — Т. 12. — № 4. — С. 587—608.
6. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб / Ю. А. Быстров, С. А. Исаев, Н. А. Кудрявцев, А. И. Леонтьев. — СПб.: Судостроение, 2005. — 392 с. (С. 16—28).
7. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 150 с.
8. Frit J. J., Fuget C. R. Vapor pressure of aqueous hydrogen chloride solutions, 0 to 50 °C // Industrial and Engineering Chemistry. — 1956. — V. 1. — P. 10—12.
9. Launder В. Е., Spalding D. B. The Numerical Computation of Turbulent Flows // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. — 1974 — V. 3. Issue 2. — P. 269—289.
10. Белов И. А., Исаев С. А., Коробков В. А. Задачи и методы расчета отрывных течений несжимаемой жидкости. — Л. Судостроение, 1989. — 256 с.
11. Померанцев В. В., Арефьев К. М., Ахмедов Д. Б. Основы практической теории горения. — Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 312 с.
12. Blocken В., Stathopoulos T., Carmeliet J. CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems // Atmospheric environment. — 2007. — V. 41. — Issue 2. — P. 238—252.
13. Левинский М. И., Мазанко А. Ф., Новиков И. Н. Хлористый водород и соляная кислота. — М.: Химия, 1985. — 160 с.
14. Kawamura P. I., Mackay D. The evaporation of volatile liquids // Journal of Hazardous Materials. — 1987. — V. 15. — P. 343—364.
15. Воротилин В. П., Горбулин В. Д. Математическая модель процесса испарения сжиженного газа при его аварийном разливе на открытых пространствах // Химическая промышленность. — 1992. — № 6. — С. 42—47.

УДК 614.841.345.6

С. А. Бараковских¹, В. А. Иванов², д-р, техн наук, проф., А. Ю. Акулов¹

¹ Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург

² Институт транспорта Тюменского государственного нефтегазового института
E-mail: akulov-07@mail.ru

Разработка конструкций для локализации пожара на нефтегазовых объектах

Исследованы теплофизические свойства конструкции поглощающих тепловое излучение при пожарах на объектах нефтегазовой промышленности. Предложены конструкции противопожарной защиты на основе воздушно-механической пены и твердых материалов.

Ключевые слова: излучение, воздушно-механическая пена, огнезащитная конструкция, теплопроводность, плотность, теплоемкость

Barakovskih S. A., Ivanov V. A., Akulov A. Y.
Development of device for prevention of fire spread on oil and gas industry

Dependences of heat and fizical propekties of construction are probed taking in a thermal radiation at fires on objects of oil and gas industry, experimentally-searshing and theoretical job performances at development of fireproof constructions.

Keyword: thermal stream, airily-mechanical suds, fireproof construction, heat conductivity, closeness, heat capacity

Аварийные ситуации на объектах нефтегазовой промышленности, как правило, сопровождаются пожарами. Поэтому одним из основных направлений промышленной безопасности является обеспечение противопожарной защиты объектов нефтегазовой отрасли. Горение на пожарах сопровождается выделением большого количества теплоты, значительная часть которой передается к объектам, окружающим очаг пожара, посредством излучения. Падающее на смежные объекты излучение Q превышает величину критической плотности излучения для материалов или веществ с заданными свойствами, и происходит возникновение новых очагов возгораний и пожаров (рис 1 — см. 2-ю стр. обложки).

Следовательно, ограничение распространения пожара является одним из основных аспектов противопожарной защиты.

Исследованию способов и устройств, препятствующих распространению пожара, посвящено значительное количество экспериментальных и теоретических работ, направленных на уменьшение величины теплового потока за счет твердых материалов и тонкораспыленной воды. Однако при горении углеводородов основным средством тушения является воздушно-механическая пена, поэтому необходимо обосновать принципы устройств, предназначенных для ослабления теплового излучения с применением воздушно-механической пены.

Учитывая существующие способы и устройства противопожарной защиты [1—4], для ослабления теплового излучения предлагается конструкция, выполненная в виде двух параллельных плоскостей, пространство между которыми заполнено воздушно-механической пеной. Параллельные плоскости конструкций, ограничивающих распространение пожара, выполнялись из металлических сеток перфорированного стекломгнезиевого листа (СМЛ).

При работе с металлическими сетками эмпирическим путем определено, что оптимальный размер ячейки, при котором пена не будет выходить из сетчатого объема, составляет 0,094...1 мм.

На следующем этапе определили высоту конструкции. В ходе испытаний установлено, что оптимальная высота составляет 2000 мм, так как максимальное время устойчивости пены в такой конструкции достигается при высоте ее столба 2100...2200 мм. Если высота защищаемого технологического оборудования выше 2000 мм, то конструкции для ослабления теплового излучения можно выполнить в виде этажерок, т. е. через каждые 2000 мм по высоте конструкции устраивать пеноудерживающие полки (диафрагмы) и воздушно-механическую пену подавать в каждый отсек (рис 2).

Огневые испытания проводились по методике ГОСТ 25380—82 [5], основанной на измерении перепада температуры наружной и внутренней поверхности ограждающей конструкции, при этом были смоделированы условия реального пожара. Дли-

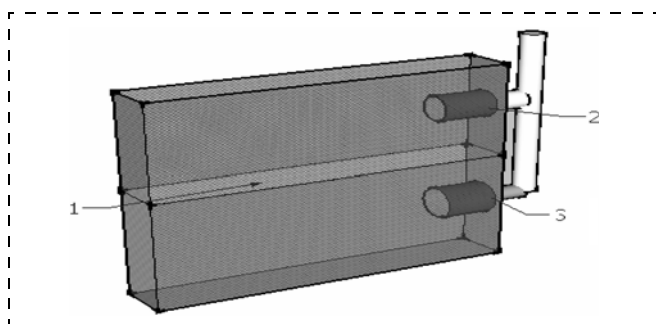


Рис. 2 Конструкция для ослабления теплового излучения:
1 — пеноудерживающая полка (диафрагма); 2, 3 — пеногенератор

тельность испытаний определялась временем разрушения 50 % объема пены в данной конструкции. В ходе испытаний установлено, что данная конструкция способна эффективно препятствовать тепловому потоку в течении 5...7 мин, затем требуется повторное заполнение конструкции пеной.

При экспериментальной работе с СМЛ определено, что величина перфорации плоскостей из СМЛ существенно не влияет на время устойчивости пены в данной конструкции. Так как общая площадь перфорации на данной плоскости из СМЛ составляет 10 % от площади всей плоскости. Исходя из этого пена удерживается в таком объеме дольше по отношению к плоскости из металлической сетки. Результаты огневых испытаний показали, что конструкция из СМЛ, заполненная воздушно-механической пеной средней кратности, способна поглощать тепловое излучение на 100 % и препятствовать тепловому потоку в течении 12 мин. При заполнении данной конструкции пеной высокой кратности время ее термического сопротивления увеличивается на 3,3 мин и составляет 15,3 мин.

Затем было проведено математическое моделирование, описывающее распространение теплоты в конструкции, наполненной средой (воздушно-механической пеной) с изменяющимися теплофизическими характеристиками. Для этого использовалось уравнение:

$$c(T)\rho(T)\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T, \tau) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right) - q(x)T(x, \tau) + f(x, \tau), \quad (1)$$

где $c(T)$ — теплоемкость проводящей среды, $\text{м}^2/(\text{с}^2 \cdot \text{град})$; $\lambda(T, \tau)$ — теплопроводность проводящей среды, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$; $\rho(T)$ — удельная плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$; $f(x, \tau)$ — функция источников теплоты внутри тела; $q(x)$ — функция источников или стоков теплоты внутри тела, пропорциональных разности температур; $\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau(x)}$ — градиент температуры в данный момент времени для точек простран-

ства; $T(x, \tau)$ — температура в момент времени для точек пространства; $\frac{\partial}{\partial x}$ — градиент температуры.

Ввиду того, что теплофизические характеристики пены менялись как по времени, так и по пространству, то получить аналитическое решение уравнения (1) оказалось затруднительным. Для решения этого уравнения использовался численный подход, основанный на методе конечных разностей. Температуру в каждой точке отрезка для заданного момента времени определяли решением системы линейных уравнений относительно неизвестных значений температуры в узлах разбиения отрезка. Затем проверили работу алгоритма на решении тестовой задачи из уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T, \tau) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right) + f(x, \tau). \quad (2)$$

Решение искали на отрезке $x = [0, 1 \text{ м}]$ и по времени $\tau = [0, 10 \text{ с}]$. Коэффициент теплопроводности выбирали в виде функции от времени при этом на наружной стороне конструкции (сторона потока теплоты) задано условие Дирихле — температура фиксирована, на внутренней — Неймана, т. е. имеется теплообмен с поверхностью, при этом, с увеличением числа интервалов разбиения отрезка в 4 раза ошибка уменьшилась практически в 10 раз.

На следующем этапе оценивали удельную теплоемкость и коэффициент теплопроводности для пены заданной кратности. Временную зависимость этих величин считали известной из результатов эксперимента. Дополнительно рассчитывалось временное изменение температуры на внутренней стороне конструкции при наличии пены. Причем отвод теплоты от внутренней стороны (стенки) осуществлялся за счет теплообмена с поверхностью конструкций.

На рис. 3 приведен график рассчитанной зависимости температуры на внутренней стороне конструкции. Наблюдается достаточно хорошее согласие с учетом того, что часть характеристик для пены экстраполировалась линейным образом от теплофизических характеристик воздуха к теплофизическим характеристикам воды. В качестве параметра для используемых теплофизических характеристик пены использовалось число ее кратности.

Коэффициент поверхностного теплообмена принят равным $\alpha = 8 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$ и относится к типичным значениям, свойственным для металлических поверхностей в отсутствии сильной конвекции. Коэффициент теплопроводности пены принят равным $\lambda = 0,6 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{град}$, и его значение обусловлено лишь теплопроводностью водяной пленки в пене. Воздух в пузырьках пены имеет коэффициент

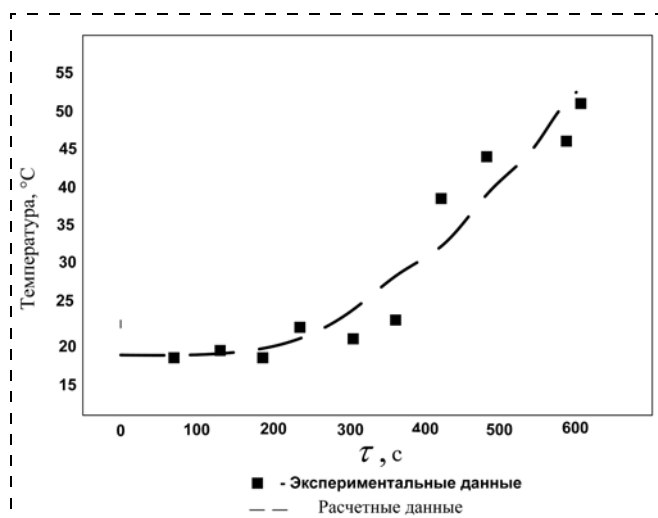


Рис. 3. Зависимость температуры от времени на внутренней стороне конструкции из металлических сеток

теплопроводности, составляющий величину $\lambda = 0,023 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$, которая в 30 раз меньше соответствующего значения для воды. Поэтому теплопроводностью за счет воздуха в данном случае пренебрегли. Для числа кратности пены 160 рассчитанное значение плотности пены составило $7,55 \text{ кг/м}^3$. Для удельной теплоемкости принята закономерность, суть которой заключается в том, что значение удельной теплоемкости напрямую связано и с плотностью пены, и с числом кратности. Если принять линейный вариант изменения удельной теплоемкости проводящей среды и считать, что максимальная кратность пены составляет 400, то для этого значения кратности пена практически состоит из воздуха и вклад в удельную теплоемкость проводящей среды от воды практически равен нулю.

Таким образом, теплофизические характеристики пены зависят от значения ее кратности. Приведенный пример расчета (см. рис. 3); основан на использовании предложенных закономерностей.

Для расчета ограждающей конструкции, в которой в качестве стенок применяется СМЛ использовались следующие теплофизические характеристики составной среды. Значение коэффициента теплопроводности для стекломатериала принимался равным среднему значению, которое находится в интервале $\lambda_{ст} = 0,8...0,21 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$. Теплопроводность воздушно-механической пены обусловлена лишь теплопроводностью водяной пленки. Плотность стекломатериала принята равной $\rho_{ст} = 1000 \text{ кг/м}^3$; плотность пенного заполнителя обусловлена числом кратности. Удельная теплоемкость стекломатериала принята равной $c = 800 \text{ м}^2/\text{с}^2 \cdot \text{град}$, а теплоемкость пены определялась числом ее кратности. На рис. 4 представлена временная зависимость температуры на внутренней

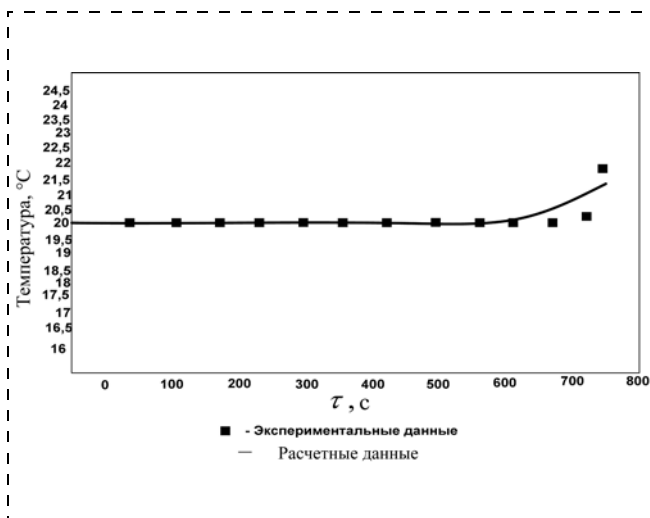


Рис. 4. Зависимость температуры от времени на внутренней стороне конструкции из стекломатериала

стороне ограждения, заполненного пеной средней кратности, и набор экспериментальных точек.

Анализ численных расчетов конструкции из СМЛ показывает, что основное падение температуры происходит в пенном слое на расстоянии порядка 20...30 см, что позволяет заметным образом сократить расход пены, так как остальная часть ограждающей конструкции работает в низком интервале перепада температур.

Таким образом, в процессе теплофизического расчета определено время термического сопротивления исследуемых устройств, а также зависимость плотности, теплоемкости и теплопроводности пены. Абсолютные величины этих характеристик увязываются с кратностью пены.

В таблице представлена краткая сравнительная характеристика двух разработанных конструкций,

Краткая сравнительная характеристика конструкций

Показатель	Конструкция из металлических сеток	Конструкция из СМЛ
Время устойчивости пены при воздействии температуры, мин	5	15
Требуемое количество пенообразователя для заполнения 1 м^3 пеной, л	0,4	0,4
Количество раз подаваемой новой порции пены*	12	5
Общее количество пенообразователя*, л	4,8	2
Стоимость, руб/ м^3	1600	370

* Количество раз подаваемой новой порции пены и общее количество пенообразователя рассчитывалось при условии воздействия температуры на конструкцию 1 м^3 в течение 60 мин.

предназначенных для поглощения теплового излучения при пожарах.

Разработанные конструкции способны поглощать тепловое излучение при пожарах. На рис. 5 (см. 2-ю стр. обложки) представлен пример использования разработанных конструкций для предотвращения распространения пожара в производственных зданиях.

Однако при использовании конструкций, выполненных из металлических сеток, потребуется большее количество пенообразователя. Кроме того, в конструкцию из СМЛ можно подавать воздушно-механическую пену высокой кратности. В связи с этим для защиты технологического оборудования от теплового излучения при возникновении пожара рекомендуется использовать конструкции, выполненные из перфорированного стекломатного листа.

Список литературы

1. Пат. 2247584 Российская Федерация, МПК7 А62С2/08. Способ создания противопожарной завесы и экранирующее устройство / Брушлинский Н. Н., Серебренников Е. А., Копылов Н. П., Усманов М. Х., Ерохин С. П., Орлов Л. А., Яйлиян Р. А., Забегаев В. И., заявитель и патентообладатель

Всерос. науч.-исслед. ин-т противопожарной обороны МВД России. — № 2002135802/12; заявл. 2002.12.30; опубл. 2005.03.10.

2. Пат. 2182025 Российская Федерация, МПК7 А62С2/08. Огнезащитное ограждение / Усманов М. Х., Брушлинский Н. Н., Касымов Ю. У., Кулдашев А. Х., Копылов Н. П., Либстер С. А., Лобанов Н. Б., Мисюченко Т. В., Серебренников Е. А., Сабилов М., заявитель и патентообладатель Усманов М. Х. — № 2000105810/12; заявл. 2000.03.13; опубл. 2002.05.10.
3. Пат. 2182024 Российская Федерация, МПК7 А62С2/08, А62С35/68. Способ ослабления потока энергии в виде света, тепла и конвективных газовых потоков и устройство к лафетному стволу для создания защитного экрана от потока энергии в виде света, тепла и конвективных газовых потоков / Усманов М. Х., Брушлинский Н. Н., Аблязис Р. А., Касымов Ю. У., Копылов Н. П., Садыков Ш. Н., Серебренников Е. А., Сабилов М.; Худоев А. Д.; заявитель и патентообладатель Усманов М. Х.; Брушлинский Н. Н.; Аблязис Р. А., Касымов Ю. У., Копылов Н. П.; Садыков Ш. Н., Серебренников Е. А., Сабилов М.; Худоев А. Д. — № 2000105809/12; заявл. 2000.03.13; опубл. 2002.05.10.
4. Пат. 2156628 Российская Федерация, МПК7 А62С2/08. Способ создания противопожарной завесы / Усманов М. Х., Копылов Н. П., Серебренников Е. А., Касымов Ю. У., Лобанов Н. Б., Гроздов Г. М., Забегаев В. И., заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т противопожарной обороны МВД России. — № 99114862/12; заявл. 1999.07.07; опубл. 2000.09.27.
5. ГОСТ 25380—82 Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции — Введ. 1983-01-01. — М.: Издательство стандартов, 1988, 12 с.

УДК 614.841. 42

В. Ф. Колпаков, канд. техн. наук, доц., Московский городской психолого-педагогический университет, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова
E-mail: v.kolpakov53@mail.ru

Один из подходов моделирования лесных пожаров с целью повышения эффективности их ликвидации

Рассмотрен один из подходов моделирования ЧС, в качестве которых были выбраны лесные пожары. Результатом работы является синтез и идентификация динамической модели лесного пожара, в которой выходной координатой является площадь пожара, а управлением — создание заградительной полосы. Модель позволяет проводить экспресс-анализ обстановки и прогнозировать развитие ситуации при варьировании темпа работ по тушению пожара.

Ключевые слова: математическое моделирование, лесные пожары, динамическая модель, идентификация параметров модели

Kolpakov V. F. One approach modeling of forest fires in order to enhance their elimination

In this paper we consider one of the approaches of modeling emergency, as were selected forest fires. Result is the synthesis and identification of a dynamic model of a forest fire, in which the output coordinate is the area of fire, and management — creating fence strip. The model allows for rapid analysis of the situation and predict the development of the situation by varying the pace of work to extinguish the fire.

Keywords: mathematical modeling, forest fires, dynamic model, the identification of model parameters

Разработка математической модели лесного пожара. Одним из основных направлений повышения оперативности, надежности, обоснованности и качества принятия управленческих решений по



предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) является создание информационных систем поддержки принятия решений на основе широкой и всесторонней автоматизации процессов управления силами и средствами, предназначенными для ликвидации ЧС.

Моделирование как средство описания и исследования, в силу своей универсальности и высокой эффективности, является широко признанным методом анализа, синтеза и оптимизации сложных динамических систем, к которым и относятся ЧС.

Рассмотрим один из подходов моделирования лесных пожаров, так как в последние годы в России природные пожары составили значительную часть чрезвычайных ситуаций. В России ежегодно возникает около 30 000 лесных пожаров и сгорает по 1...2 млн га лесов (0,2 % лесного фонда). Ежегодно у нас около 5 % лесных пожаров перерастают в угрожающе крупные, которые охватывают до 92 % всех площадей, пройденных огнем.

На протяжении последних лет ученые существенно продвинулись в разработке математических моделей лесных пожаров. На первый взгляд моделирование лесного пожара — довольно сложная задача, поскольку необходимо учитывать массу внешних факторов, в зависимости от которых пожарные команды могут приступить к тушению, используя самолеты или бульдозеры для создания защитных просек. Сегодня им помогают в этом современные компьютерные модели распространения огня, которые способны подсказать лесникам и пожарным, как свести к минимуму ущерб и сберечь жизни людей. В 2006 г. появилось несколько программ, с помощью которых можно определить оптимальное место для заброски техники и людей, не подвергая их особому риску. Уже в 2008 г. эти разработки были использованы при тушении огня в Калифорнии, Флориде и Джорджии.

Данная работа посвящена разработке модели динамических процессов горения лесного массива

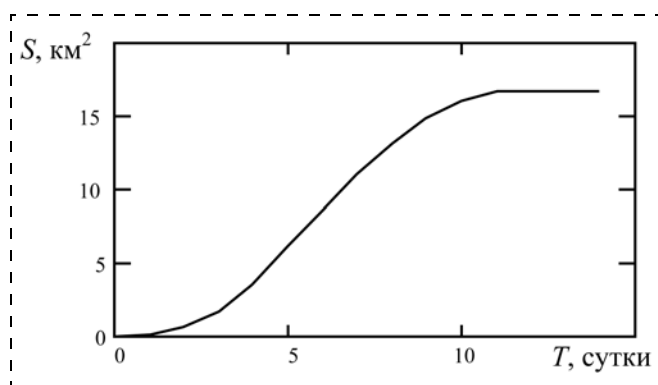


Рис. 1. Изменение площади лесного пожара S при его ликвидации с помощью заградительной полосы

при его тушении с помощью создания заградительной полосы.

Типовая динамика лесных пожаров представлена на рис. 1 (Иркутская обл., август 2007 г.) [1].

Из рисунка видно, что пожар по времени можно представить в виде трех этапов.

1. *Начальная стадия распространения пожара.* Пожар занимает небольшую, относительно конечную, площадь. Скорость нарастания площади пожара, как правило, невысокая. Пожар локализован на конкретной территории, периметр невелик, что и обуславливает слабую динамику пожара. С одной стороны, на этом этапе пожар наиболее легко потушить, уменьшая общее время борьбы с огнем. С другой стороны, при наличии еще нескольких крупных пожаров выделяемые силы и средства явно недостаточны, что приводит к последующему увеличению затрат на тушение.

2. *Резкое нарастание площади пожара, катастрофический режим.* Скорость прохождения подстилающей поверхности резко возрастает за счет быстрого расширения периметра охваченной огнем территории. Зависимость суммарной пройденной площади от времени описывается степенной функцией второго и более высоких порядков, что приводит к значительному увеличению площади пожара. В этот период действия команд пожаротушения, с одной стороны, наименее эффективны, а с другой, — наиболее востребованы и регламентированы (в целях защиты экономически важных объектов). Основные затраты сил и средств (и соответствующие решения об их привлечении) приходятся именно на этот период.

3. *Ослабление пожара* — заключительная фаза тушения пожара. На этом этапе доля подстилающей поверхности, пригодной для горения, начинает уменьшаться. Соответственно снижается скорость вовлечения новых территорий в пожар — пожар достигает наибольшего распространения и исчерпывает "ресурс" для продолжения процесса горения. На этом этапе деятельность по локализации пожара и борьба с огнем становится более эффективной, количество необходимых сил и средств снижается.

Таким образом, наиболее важным для борьбы с пожаром является первый этап (для сибирских пожаров — до 1...2 км²). Именно в этот момент есть возможность избежать больших последующих издержек, связанных с выходом пожара на катастрофический режим. Потушить лесной пожар в самом его начале легко. Плохо, если упущено время.

При переходе ко второму этапу динамика распространения пожара практически не зависит от действия пожарных групп, и в условиях больших территорий пожар становится неуправляемым.

Единственная возможность борьбы в данном случае связана с созданием заградительных (негорючих) полос на достаточно большом расстоянии от фронта пожара.

Разработка структуры модели. В качестве выходной координаты принимается площадь пожара S , а входным воздействием являются затраты сил и средств подразделений ЧС по тушению пожара. В силу разнородности применяемых средств и специфики тушения лесных пожаров, где главным принципом является не тушение самого пожара, а его локализация, в качестве управления будем использовать интегральный показатель — объем выполняемых работ. Так как основным методом является создание заградительной полосы, то наиболее целесообразным в качестве управления использовать длину заградительной полосы, таким образом управление $u(t)$ имеет размерность длины. Причем ширина такой полосы может быть различной и определяется условиями и особенностями пожара. В модели под $u(t)$ будем понимать длину гарантированной заградительной полосы, распространение пожара через которую невозможно.

Для простоты исследования площадь пожара принималась в виде круга переменного радиуса $r(t)$. В этом случае для ликвидации пожара необходимо создать заградительную полосу длиной

$$u(t) = 2\pi(r(t) + d), \quad (1)$$

где d — ширина полосы безопасности (удаление от границы пожара, гарантирующее безопасность проведения работ).

Несложные математические преобразования позволили вывести формулу для интенсивности свободного горения (без тушения). Для этого используем соотношение связи площади с радиусом

$$S(t) = \pi r^2(t), \quad (2)$$

откуда можно получить интенсивность изменения площади пожара

$$\dot{S}(t) = 2\pi r(t) \dot{r}(t), \quad (3)$$

или сделав замену $r(t) = \sqrt{\frac{S(t)}{\pi}}$, получим

$$\dot{S}(t) = 2\sqrt{\pi} \dot{r}(t) S^{1/2}(t). \quad (4)$$

Введем обозначение

$$\alpha(t) = 2\sqrt{\pi} \dot{r}(t), \quad (5)$$

тогда математическая модель свободного горения будет иметь вид:

$$\dot{S}(t) = \alpha(t) S^{1/2}(t). \quad (6)$$

Коэффициент $\alpha(t)$, характеризующий скорость (интенсивность) распространения пожара по радиусу, является некоей функцией климатических и природных условий: дождь, ветер, особенности подстилающей поверхности, плотность и состав леса и т. д. Особое внимание здесь следует обратить на зависимость интенсивности свободного горения от разновидностей лесного пожара. В зависимости от того, на каких высотах распространяется огонь, лесные пожары подразделяются на низовые, верховые и подземные.

Низовые лесные пожары развиваются в результате сгорания подлеска хвойных пород, надпочвенного слоя опада (опавшая хвоя, листья, кора, валяжник, пни) и живой растительности (мха, лишайников, трав, кустарников). Фронт низового пожара при сильном ветре движется со скоростью до 1 км/ч, при высоте 1,5...2 м.

Верховые лесные пожары представляют собой сгорание надпочвенного покрова и биомассы древостоя. Скорость их распространения 25 км/ч. Развиваются верховые пожары из низовых, когда засуха сочетается с ветреной погодой. Верховые пожары могут быть скоротечными и обычными.

Подземные (почвенные) лесные пожары являются стадиями развития низовых пожаров. Они возникают на участках с торфяными почвами. Огонь проникает под землю через щели у стволов деревьев. Горение происходит медленно, беспламенно. После сгорания корней дерева падают, образуя завалы.

Поэтому, в общем случае коэффициент $\alpha(t)$ является функцией

$$\alpha(t) = f(x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t), t), \quad (7)$$

где $x_i(t)$, $i = \overline{1, m}$ — факторы, влияющие на интенсивность распространения пожара: плотность и состав леса, осадки, ветровые возмущения, разновидности пожаров и т. д.

Статистика пожаров показывает, что тушение пожара начинается не сразу, а с некоторым временем запаздывания τ (1-й этап). Причем величина τ зависит как от объективных, так и от субъективных факторов.

Под объективными факторами понимается время обнаружения пожара, т. е. пожар можно обнаружить, если он уже состоялся, а значит и имеется площадь возгорания. Пожар может быть обнаружен и подтвержден с помощью спутника, самолета или из наблюдений очевидцев.

Субъективные факторы связаны с выдерживанием времени, ограничиваясь только наблюдением, с надеждой, что возгорание не приведет к крупномасштабному пожару, например за счет погодных условий (дождь, снег и т. д.). Такая субъективная пауза продиктована прежде всего сообщениями экономического характера, так как



привлечение сил и средств для тушения — достаточно дорогостоящее мероприятие.

Итак, в силу перечисленных выше факторов, на начало тушения пожара t_0 площадь пожара составляет величину S_0 и длину периметра l_0 .

Управление ликвидацией пожара заключается в создании заградительной полосы длиной $u(t)$. В соответствии с формулой свободного горения (6) длина периметра пожара будет увеличиваться с интенсивностью

$$\dot{l}(t) = \sqrt{\pi/S(t)} \dot{S}(t). \quad (8)$$

Для положительного решения задачи (ликвидации пожара) необходимо обеспечить условие $\dot{u}(t) > \dot{l}(t)$, где $\dot{u}(t)$ — интенсивность возведения заградительной полосы.

Исходя из вышеизложенного, модель лесного пожара может быть предложена в виде:

$$\dot{S}(t) = \alpha(t)S^{1/2}(t) - k(t)u(t), \quad (9)$$

где $k(t)$ — коэффициент интенсивности управления.

Для простоты моделирования примем, что интенсивность распространения пожара $\alpha(t) = \alpha = \text{const}$ и коэффициент интенсивности управления $k(t) = k = \text{const}$.

Для определения параметров модели α и k необходимо модель (9) идентифицировать, используя данные наблюдений (измерений) $S(t)$ и $u(t)$.

Идентификация параметров модели. Под идентификацией понимается получение или уточнение по экспериментальным данным параметров математической модели реального объекта.

В зависимости от априорной информации идентификация может быть в широком и узком смысле. В узком смысле идентификация осуществляется, когда структура модели известна и имеются априорные значения параметров (коэффициентов). Задача заключается в уточнении (определении) параметров модели [4]. Идентификации в широком смысле осуществляется, когда структура объекта неизвестна или априорная информация очень бедна.

В рассматриваемой задаче структура модели известна (9), поэтому необходимо выполнить идентификацию в узком смысле. Требуется определить (идентифицировать) параметры модели α и k .

Задача идентификации — по результатам наблюдений над входными и выходными координатами должна быть построена оптимальная в некотором смысле модель этой системы [3, 4]. Пусть динамическая модель системы описывается уравнением вида

$$\dot{y}(t) = f(y, u, a, t), \quad (10)$$

где $y(t)$ — вектор координат состояния системы (для модели (9) — $S(t)$); $u(t)$ — управляющее воздействие; a — вектор оцениваемых параметров (для модели (9) — $a = [\alpha, k]^T$).

Имеются результаты наблюдений координат состояния и управления в дискретные моменты времени t_i , $i = 0, 1, 2, \dots$

$$z_y(t_i) = y(t_i) + \eta_y(t_i), \quad (11)$$

$$z_u(t_i) = u(t_i) + \eta_u(t_i), \quad (12)$$

где $\eta_y(t_i)$, $\eta_u(t_i)$ — ошибки измерений.

Используя эту информацию необходимо определить оценку вектора \hat{a} . Алгоритм идентификации для наглядности можно представить в виде структурной схемы (рис. 2).

Алгоритм представляет собой многошаговую (итерационную) процедуру. На каждой итерации (t_i , $t = 0, 1, 2, \dots$) формируются значения коэффициентов $\hat{a}(t_i)$ таким образом, чтобы вектор $\hat{y}(t_i)$ приближался к реальному вектору измерений $z_y(t_i)$.

В качестве близости модели к реальному объекту можно выбрать функцию:

$$Q(a) = \int_0^T (z_y(t) - y(a, z_u(t)))^2 dt \Rightarrow \min_a, \quad (13)$$

где $y(a, z_u(t))$ — решение дифференциального уравнения (10).

Из (13) видно, что функция $Q(a)$ представляет собой ошибку моделирования. Для решения этой задачи будем использовать численные методы. Так как реализация численных методов осуществляется пошагово, то необходимо ввести дискретное время $t_i = i\Delta t$, $i = 0, 1, 2, \dots$, где Δt — шаг итерации.

Тогда дифференциальный оператор (10) можно заменить конечными разностями, а интегральный (13) — конечными суммами и минимизировать конечную сумму по параметрам.

При этом для решения дифференциального уравнения (10) можно применить метод Эйлера:

$$y(t_{i+1}) = y(t_i) + f(y(t_i), u(t_i), a(t_i))\Delta t, \quad (14)$$

а ошибка приближения модели к объекту будет:

$$Q(a(t_i)) = \sum_{k=0}^n (z_y(t_{i+1}) - y(t_{i+1}))^2 \Rightarrow \min_a. \quad (15)$$

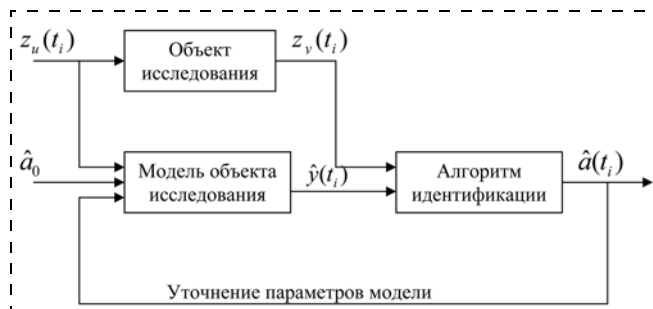


Рис. 2. Структурная схема алгоритма идентификации:

\hat{a}_0 — начальное приближение параметров модели; $\hat{y}(t_i)$ — оценки состояния объекта

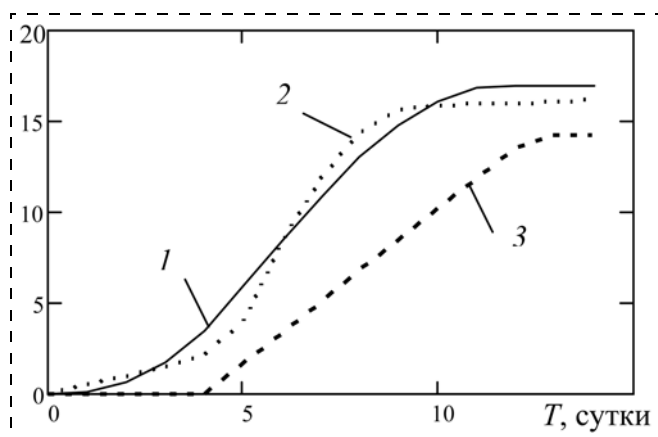


Рис. 3. Динамические характеристики лесного пожара:
 1 — площадь пожара, полученная по модели, км²; 2 — реальные наблюдения площади пожара, км²; 3 — длина заградительной полосы (экспериментальные данные), км

Для решения уравнения (15) при ограничениях (14) используем стандартную процедуру MATHCAD *Minerr*(a_1, \dots, a_m) [2], которая осуществляет приближенное решение (14) и (15) относительно вектора a .

В процедуре *Minerr* реализуются итерационные численные методы решения экстремальных задач. Идея итерационного алгоритма заключается в последовательном улучшении решения на каждой итерации ($Q \rightarrow \min$) путем введения поправок вектора $\hat{a}(t_i)$ в зависимости от невязки решения (15). В процедуре *Minerr* предусмотрено три метода итерационной коррекции вектора оценок: 1) метод Левенберга—Маркуардта; 2) метод сопряженных градиентов; 3) метод Ньютона.

В зависимости от сходимости решения задачи процедура *Minerr* выбирает метод автоматически.

Для решения задачи идентификации параметров модели лесного пожара (α, k) (9) была составлена и реализована программа, написанная в среде MATHCAD.

Результаты моделирования. Сравнительный анализ модели с оцененными параметрами и динамики реального пожара представлен на рис. 3. Из рисунка видно, что адекватность модели реальным наблюдениям достаточно высокая.

Модель позволяет проводить экспресс-анализ обстановки и прогнозировать развитие ситуации при варьировании темпа работ по тушению пожара.

В случае отсутствия тушения пожара ($u(t) = 0$) прогноз характеристик пожара представлен на рис. 4.

В этом случае динамика пожара имеет экспоненциальный характер и уже на 14-е сутки площадь пожара достигает 70 км².

В эксперименте (см. рис. 3) средний темп работ по созданию заградительной полосы был равным

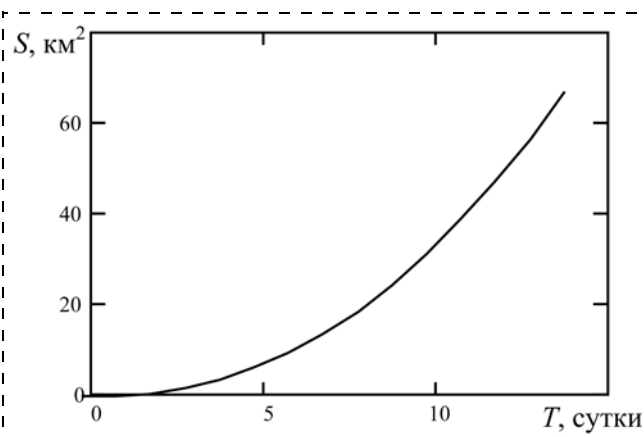


Рис. 4. Моделирование площади пожара при отсутствии работ по его локализации

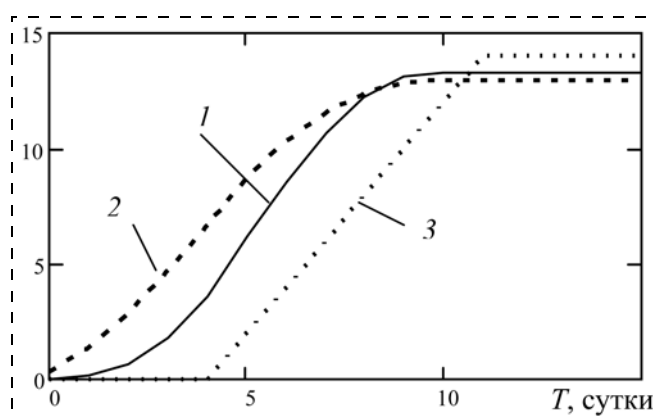


Рис. 5. Моделирование характеристик пожара при интенсивности создания заградительной полосы, равной 2 км/сутки:

1 — площадь пожара, км²; 2 — общая длина периметра пожара, км; 3 — управление (длина заградительной полосы), км

1,7 км/сутки (данные реального пожара). При увеличении темпов работ до 2 км/сутки (если это возможно) прогнозирование характеристик пожара, полученное с помощью модели, показано на рис. 5.

Сравнительный анализ показывает, что в этом случае площадь выгоревшего леса уменьшается с 16 км² до 13 км², а время тушения с 11 суток до 8 суток.

Список литературы

1. Кудрявцев М. Ю., Лукин В. В., Малинецкий Г. Г. и др. Управление рисками лесных пожаров на территории Российской Федерации // Доклад, ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2008.
2. Охорзин В. А. Прикладная математика в системе MATHCAD: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. — СПб.: Издательство "Лань", 2008.
3. Сейдж Э. П., Мэлс Дж. Л. Идентификация систем управления. — М.: Наука, 1974.
4. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. — М.: Мир, 1975.

УДК 007.51:502.22

В. И. Раков, д-р техн. наук., проф., Орловский государственный технический университет
E-mail: rakov2010vi@mail.ru

Об одном варианте организации безопасности жизнедеятельности образовательного учреждения¹

Обсуждаются вопросы, связанные с формированием структур систем обеспечения безопасности жизнедеятельности образовательных учреждений.

Ключевые слова: безопасность, управление, интеллектуальные строения, образовательные учреждения

Rakov V. I. *About one variant of the organization of safety of educational establishment*

The questions connected with formation of structures of systems of a safety of educational establishments are discussed.

Keywords: safety, control, intelligent building systems, educational establishment

В исследованиях по безопасности жизнедеятельности среда выступает той компонентой, которая является источником опасностей, способных привести к нарушениям в исполнении целевой функции или даже катастрофическим последствиям в функционировании системы (объекта). Исходя из этого вполне естественен и разумен порядок традиционной методологии безопасности: в системе должен быть реализован соответствующий комплекс защитных мероприятий от воздействий среды.

Между тем среда выступает как нечто такое, без которого не может ни существовать, ни фактически функционировать сложная система. Среда определяет свойства системы, поскольку свойства по самому их существу есть результат взаимодействия с иными объектами. Именно в среде реализуются все целевые функции системы. Среда есть "колыбель" системы, ее "вечный" партнер и реальный материальный носитель сложной системы. Среда

проявляет себя для системы, во-первых, многообразием локально организованных сред в зависимости от обстоятельств и, во-вторых, своим разнообразием вложенности одних локально организованных сред в другие в зависимости от сложности системы и масштабы восприятия. Более того, этот процесс "вложенности" в зависимости от детализации и системы, и среды может привести к стиранию грани между "очередной" вложенной локально организованной средой и собственно исследуемой системой.

Такое реальное понимание органичной целостности проявления среды и системы не может не привести к новой интерпретации самой идеи безопасности жизнедеятельности, к новой интерпретации основ концептуального видения проблемы безопасности, порождая в известной степени парадигму защиты и процессов жизнедеятельности и их локально организованных сред: каждая вложенная среда должна быть "обезопасена" от более охватывающей среды, равно как и сама система должна быть защищена от негативных воздействий ее ближайших локально организованных сред, в том числе и непосредственной среды обитания.

В работе сделана попытка формулирования "рамочного" представления о безопасности жизнедеятельности образовательного учреждения с отмеченных системных позиций.

1. Состав и информационные черты современного образовательного учреждения

В настоящее время происходит сближение позиций и взглядов с передовыми западными державами не только в плане исполняемых образовательными учреждениями функций, но и в структурном аспекте. Основной характерной особенностью структурного развития современного образовательного учреждения (СОУ) высшей школы РФ в по-

¹ Статья публикуется в редакции автора.

следнее десятилетие является процесс включения в вузовскую структуру научно-производственных и практически-производственных комплексов: клиник, экспериментальных научно-исследовательских лабораторий, заводов и научно-исследовательских предприятий. Наиболее показательными подобными структурами являются: в недавнем советском прошлом ЗИЛ как завод-ВТУЗ, а в нынешних условиях ряд российских учебных заведений, в том числе и Орловский государственный технический университет, включающий научно-исследовательское предприятие, завод и жилищный фонд [1].

Структурная новизна ведет к принципиальному изменению характера обеспечения эффективного функционирования образовательного учреждения:

1) требуется обеспечение ресурсами не только учебно-методических составляющих СОУ, но и *научно-практических и производственных процессов*;

2) СОУ как система зданий и сооружений может располагаться на значительных площадях, что и определяет принципиально *новые требования и к системам жизнеобеспечения и обслуживания зданий, и к процессам жизнедеятельности в них*, по существу, совпадающими по своему объему и качеству с требованиями к коммунальному хозяйству города в целом.

В соответствии с этим в сложившихся новых условиях требуется обеспечить: а) *согласованное функционирование учебных, научных, производственных и архитектурно-строительных компонент СОУ*; б) комплексное обслуживание такого целостного конгломерата посредством организации адекватного оперативного управления, контроля, учета и планирования деятельности; в) *сохранение и развитие структуры СОУ согласно текущим и прогнозируемым реалиям внешней обстановки (среды)*. Очевидно, что в таких условиях требования к безопасности становятся существенно жестче.

Основу *научно-методического* обеспечения эффективного проведения учебных и научно-производственных процессов составляют различные информационные процессы, характерные для каждого отдельного образовательного учреждения. Среди многообразия специфических характеристик СОУ выделяются общие составные части, к которым относятся: а) системы управления, обеспечивающие функционирование составляющих СОУ и организующие требуемые информационные процессы, объединяя их в соответствующие информационные технологии; б) здания как архитектурно-строительные комплексы.

База комплексного *информационного* обеспечения СОУ как образовательно-научно-производственного конгломерата образуется посредством сетей ЭВМ, индивидуальных персональных компьютеров (ПК) и так называемых автоматизированных рабочих мест (АРМ). При реализации индивидуальных ПК или локальных сетей ПК (ограниченным пространством одного помещения или одного здания) информационное обеспечение не выходит за рамки традиционных требований, предъявляемых к автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУТП). При подключении к региональным или глобальным сетям типа Интернет становятся уязвимыми не только программы, обеспечивающие информационный обмен с элементами глобальной сети, но и вся структура системы управления СОУ. Понятно, что подобное положение вещей недопустимо. Требуется особое отношение к вопросам информационной безопасности современных образовательных учреждений.

Исходя из изложенного выделяется следующий состав вопросов безопасности:

- по защите систем управления образовательными учреждениями;
- по защите зданий и инфраструктуры образовательного учреждения;
- по защите информационного обеспечения в структурах зданий СОУ.

2. Структурные особенности образовательного учреждения

Реальные обстоятельства, в которых могут организовываться структуры управления и использоваться соответствующие методы их проектирования, определяются особенностями различных зданий конкретных учреждений СОУ как объектов управления. Современные здания включают в себя системы жизнеобеспечения (энергия, вода, канализация, теплоснабжение и пр.), жизнедеятельности (процессы производственные, проживания, учебы и др.), разнообразные коммуникационные системы связи здания с инфраструктурой города. В процессе организации и исполнения функций здания этот комплекс систем как объект управления имеет важные характеристики.

Во-первых, здание является объектом, *существенно распределенным* функционально и географически. Причем управляемые элементы такого объекта могут иметь различную масштабность и роль в процессе функционирования. Источником рас-



пределенности может быть любая из компонент здания: комплекс технических, строительных средств и агрегатов, потоки сигналов разнообразной природы, распространяющиеся в здании как целостном материальном образовании и т. п.

Локализация в пространстве связана с естественными или искусственными носителями этих объектов. Системы управления (СУ) не могут не иметь своего материального носителя: стационарного или мобильного. Носитель обуславливает целевые, конструктивные, энергетические, вещественные и структурные качества создаваемых СУ. Если же носитель сам является объектом управления, то его вклад в формирование свойств СУ, несомненно, определяющий. Система управления должна управлять тем, во что она сама встроена, управлять собой в структуре объекта-носителя. Здание является объектом не только существенно распределенным, но и выполняющим функцию материального носителя своего управляющего устройства.

Во-вторых, для здания характерны *групповая однотипность* (одинаковая целевая функция и критерий качества) и *групповая однородность* (одинаковая структура, одинаковая целевая функция и критерий качества) составных частей и (или) элементов здания как объекта. Однотипная схема канализации в зданиях СОУ, однородные системы жизнеобеспечения однотипных цехов, однородные процессы жизнедеятельности в аудиториях и т. д.

В-третьих, архитектурно-строительная и конструктивная однотипность и однородность выражают возможности наращивания в зависимости от обстоятельств отдельных составных частей здания или его систем. Например, для повышения коэффициента использования основных фондов; для последовательного увеличения мощности энергосетей при постепенном вводе новых жилых массивов. Возможность *структурного агрегатирования* объекта предполагает наличие возможности структурного наращивания его системы управления.

В-четвертых, важной характеристикой является определенная независимость управляемых элементов между собой. В различных помещениях одного строения СОУ могут происходить различные процессы жизнедеятельности. Независимость взаимосвязана со сложностью управляемых элементов и частей управляемого объекта. Нет принципиальных ограничений на сложность элементов и частей, поскольку нет ограничений на сложность организуемых процессов жизнедеятельности и жизнеобеспечения. Это означает,

что сложность проявляется и в малом и в большом: возможно представление здания как большой системы и возможно рассмотрение отдельного управляемого элемента этой большой системы также как носителя всех качеств больших систем.

В-пятых, в современном (интеллектуальном) здании (*Intelligent Building Systems — IBS*) просматривается новый аспект в понимании значения среды. Наряду с "основной" технологией в IBS всегда можно выделить некую "сопутствующую" технологию, выражающуюся *функциями систематического и оперативного технического обслуживания* всех частей IBS, надзора за состоянием подсистем, ремонтных и наладочных работ. В этом плане за человеком закрепляется ответственная функция по обеспечению условий эксплуатации приборов и оборудования, *изоляции здания от нежелательных воздействий среды*.

Безуспешность попыток абсолютной изоляции среды оставляет актуальными два пути: 1) реализацию различных методик по предупреждению, планированию и оперативной ликвидации аварий; 2) выбор в качестве дополнительных объектов управления и контроля: а) состояния приборов и оборудования для обеспечения идеальных условий эксплуатации; б) ситуаций аварийной обстановки для реализации идеи реально возможного изолирования основных технологических процессов от воздействий среды.

Контроль приборов и оборудования может осуществляться двояко исходя из того, что: 1) они проектируются под конкретную среду и 2) для конкретных приборов и оборудования организуется среда для их удовлетворительного целевого функционирования. Системы управления для воплощения идеи изолирования основных технологических процессов от нежелательных воздействий среды могут преследовать цели: создаваться в комплексе с основными технологическими процессами для "компенсирования" нежелательных воздействий, и создаваться для управления локально организованной средой вокруг основных технологических процессов (например, "погрузив" управляемый технологический процесс в заранее подготовленное контролируемое по выбранным параметрам качества помещение).

Реальная аппаратура как объект управления определена и функционирует в соответствии или близко к требованиям своих технических условий. Ситуации аварийности (аварийные ситуации) как объект управления, на который направлено внимание человека,

остаются *неопределенными*. Поэтому не ситуации, а сама среда выступает в роли объекта управления, аварийные ситуации — в качестве неких регулируемых параметров, IBS как определенная организационно-производственная система — в роли исполнительных механизмов, а человек — в качестве определенного звена регулятора (непосредственного устройства управления). Отечественный опыт изолирования среды наиболее отчетливо выразился в технологиях электронных приборов: достижение высоких чистот технологических сред по основной компоненте, регулируемая чистота технологических сред, исключение продолжительных контактов объекта производства (управления) с трудно контролируемые объемами технологических сред.

Введение локально организованной среды в объект управления вынуждает в значительной мере ограничить претензии на изолирование технологического процесса от воздействий среды и рассматривать реакцию этой среды на различные состояния технологического процесса не столько как внешнее возмущение, сколько как характеристику состояния этого единого объекта управления. При такой трактовке *представления о нежелательных воздействиях среды* могут приобрести более глубокий смысл: *они могут характеризовать качество организованного процесса управления, управляемость технологического процесса и, в целом, качество функционирования IBS. В простейшем случае негативные воздействия среды можно воспринимать как адекватную реакцию среды на неправильно организованный технологический процесс, неправильно организованное функционирование оборудования. Среда принимает на себя критерильную роль в процессах, развивающихся в IBS.*

Среда IBS как интеллектуального объекта управления — это *существенно распределенная среда*. От управления технологией к *управлению средой* для обеспечения требуемых качеств технологических процессов IBS, к восприятию реакций среды как желаемых и необходимых знаний для эффективной организации функционирования здания, к трактовке среды как того, что оценивает как единственного объективного индикатора качества воплощенных технологий, от идей отторжения среды к идеям партнерства с ней — это реальный путь создания эффективно функционирующих зданий и учреждений СОУ, в целом.

В методическом плане при подобном взгляде на роль среды в целом не принципиально, какие подходы будут выбраны для проектирования комплексных систем управления и современными зданиями и соответствующими средами: экстремаль-

ное управление, самонастраивающиеся системы, комбинированное или стохастическое оптимальное управление, адаптивное, дуальное, имитационное управление или управление, основанное на использовании в стратегиях перехода из начальной в заключительную ситуации баз знаний, и т. п. Основное, по-видимому, то, что безопасность жизнедеятельности в учреждениях СОУ непременно должна распространяться на все вложенные среды, соприкасающиеся с учебными и производственными процессами.

3. Самодостаточность как системный "механизм" обеспечения безопасности жизнедеятельности

Даже не обращаясь к тематике теории систем, выше приведенные суждения позволяют говорить о наличии многоуровневых целевых ("технологических") процессов в СОУ и соответствующих им вложенных локально организованных сред.

Например, "нижний уровень" составляют процессы (системы) жизнеобеспечения и обеспечения жизнедеятельности строительных комплексов, являющихся материальными носителями СОУ. Следующий уровень — процессы обслуживания зданий и сооружений. Далее — одновременные процессы учебно-методического, научно-практического и производственного содержания. Затем все то, что характеризует весь конгломерат СОУ как интеллектуальные здания и сооружения с соответствующими требованиями к *системам жизнеобеспечения и обслуживания*, по существу совпадающими по своему объему и качеству с требованиями к коммунальному хозяйству города. В целом это системы, обеспечивающие а) *согласованное функционирование* учебных, производственных и архитектурно-строительных компонент СОУ; б) комплексное обслуживание такого целостного конгломерата посредством организации адекватного оперативного управления, контроля, учета и планирования деятельности; в) *сохранение и развитие структуры СОУ* согласно текущим и прогнозируемым реалиям *внешней обстановки* (многоуровневой среды) (рис. 1 — см. 3-ю стр. обложки).

Очевидно, что в таких условиях требования к безопасности также становятся "многоуровневыми", порождая потребность решения вопросов безопасности каждого уровня иерархии по защите: систем управления образовательными, производственными и научно-исследовательскими компонентами; строительных и инфраструктурных частей образовательного учреждения; информационного обеспечения и структуры во всех компонентах всех уровней.

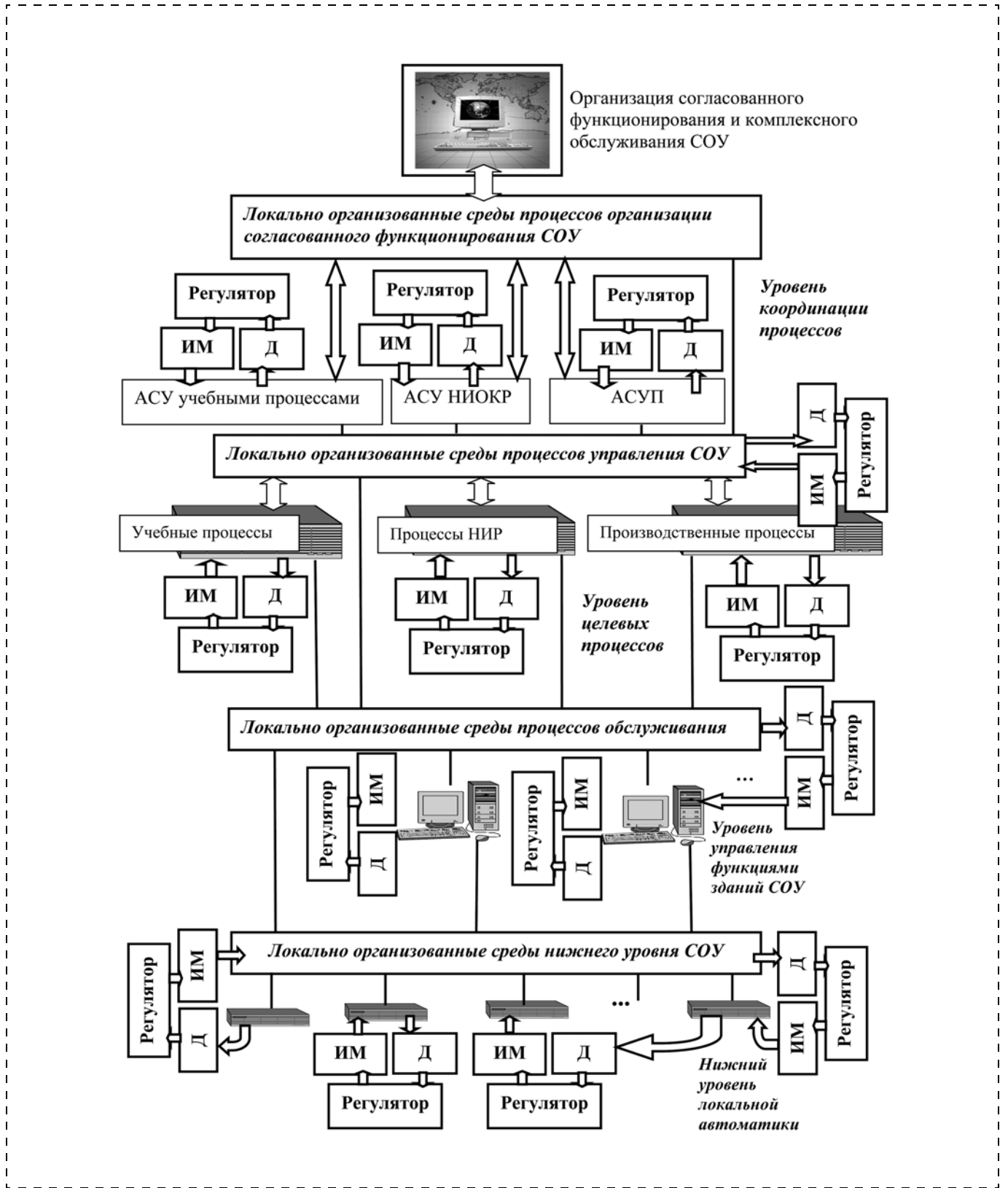


Рис. 2. Вариант обеспечения безопасности жизнедеятельности многоуровневых процессов СОУ посредством дополнительных контуров управления структурными единицами системы (сохранение целостности системы), где ИМ — исполнительные механизмы, Д — датчики, регулятор — устройства автоматического управления или автоматизированные системы управления

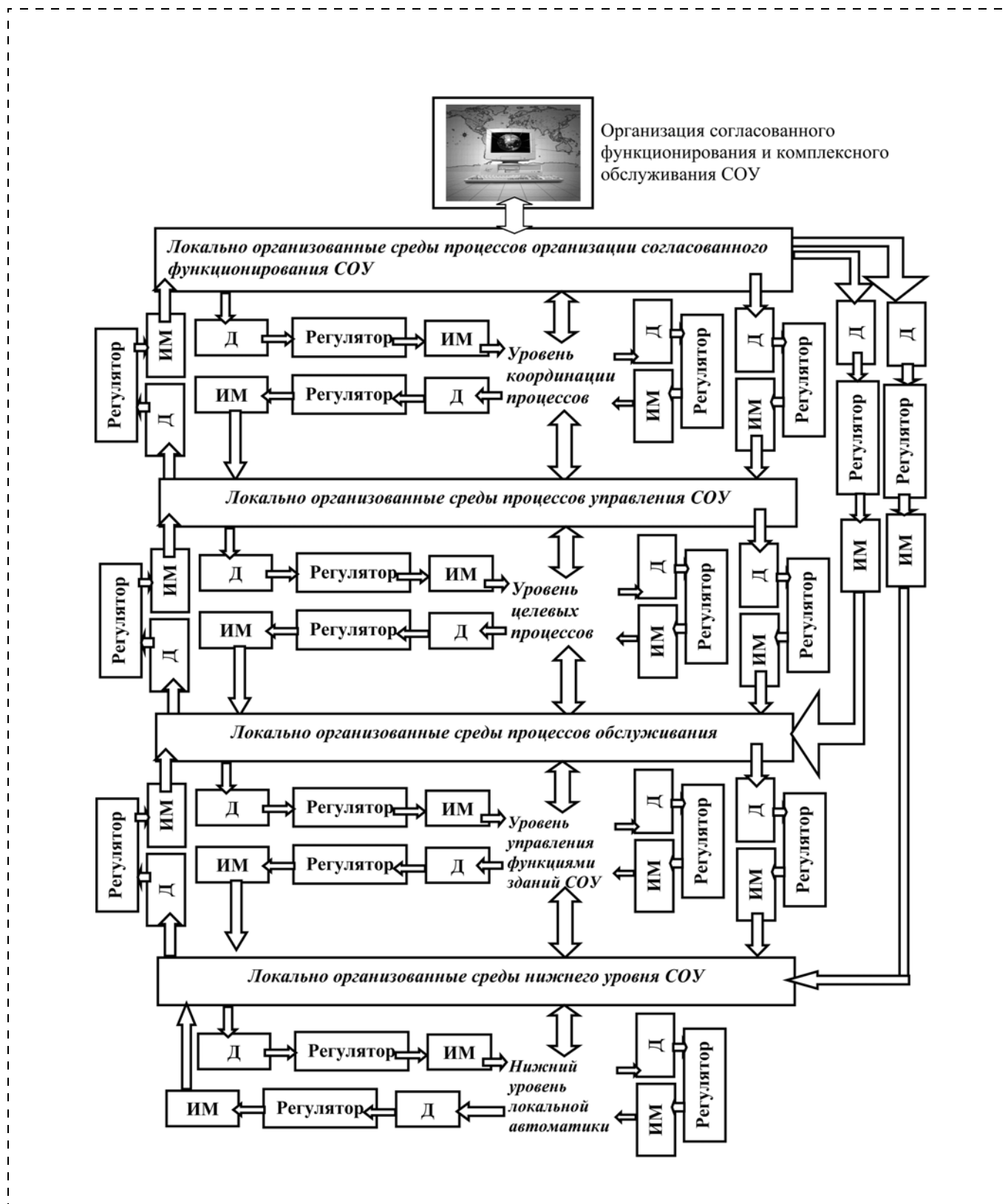


Рис. 3. Вариант обеспечения безопасности жизнедеятельности многоуровневых процессов СОУ посредством обеспечения комплексного регулирования состояния каждого уровня целевых процессов и каждого уровня среды (защита целостной системы), где ИМ — исполнительные механизмы, Д — датчики, регулятор — устройства автоматического управления или автоматизированные системы управления



Удовлетворение таких "многоуровневых" требований может проводиться разными путями. С системных позиций (по проф. И. Т. Исаеву, 1972) это прежде всего увязано со смысловой интерпретацией самого термина (в соответствии с толкованием первого

положения системного метода [2]). Этимология термина *безопасность* [3] указывает, по крайней мере, на два ее важных представления: *сохранность* (целостного материального образования) и *защиту* (тоже единого целого).

Таблица (начало). «Типаж» моделей по обеспечению безопасности образовательных учреждений («шапка» таблицы)

Структурные опасности					Опасности функционального характера																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
Энергетическая недостаточность	Строительная обветшалость	Некачественные продукты питания	Некачественные продукты питания	Некачественная технология приготовления	Некорректные изменения структуры инженерных систем жизнеобеспечения	Некорректная воздушная среда обитания	Некорректная влажность	Некорректная температура	Некорректный состав воздуха	Некорректное давление в помещениях	Энергетические опасности от несанкционированного доступа ко всем энергоисточникам и энергоносителям	Благоприятная вирусная и инфекционная среда	Некорректное радиационное состояние	Ядовитые строительные испарения	Вандализм	Некорректная вибрационная нагрузка на конструкции здания в процесс жизнедеятельности	Нежелательное воздействие образовательных технологий на процессы жизнедеятельности	Внутренняя перепланировка и изменение нагрузки на конструкции	Несанкционированный доступ в помещения (учебные, технологические)	Нарушение режима функционирования учреждения и регламента ремонтно-профилактической деятельности, включая поддержание нормативного уровня чистоты помещений	Сбои и отказы функционирования средств приборного оснащения и технологического оборудования	Возгорание предметов обихода, технических или иных объектов или средств технологических процессов жизнедеятельности

Таблица (окончание). «Типаж» моделей по обеспечению безопасности образовательных учреждений

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
АСУ энергопотоками от автономных и центральных энергоисточников. Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ)	АСУ состоянием фундамента, конструкций, ограждений и кровли	АСУ качеством продукции предприятия общественного питания	АСУ средой обитания	Автоматизированная система контроля качества функционирования систем жизнеобеспечения. Распределённые системы оперативного диспетчерского управления (АСОДУ)	Распределённые системы автоматического управления климатом и составом воздуха	Распределённые АСУ «атмосферным» давлением в каждом помещении	Распределённая автоматизированная система контроля доступа к энергоресурсу	Автоматизированная система мониторинга и диагностики. Оздоровительные мероприятия	Радиационный контроль	Система контроля ядовитых примесей	Тотальный видео- и аудиомониторинг помещений. Огнестойкость	АСУ механизмами перемещения в пространстве: лифтами, эскалаторами, дорожками, панелями	АСУ доступа к кабельному телевидению, компьютерной телефонии, спутниковой связи, интернет и др.	Автоматизированная система контроля динамических нагрузок на несущие конструкции	Управление освещением, доступом и перемещением в помещениях. Регистрация присутствия и времени пребывания. Видеонаблюдение. Сигнализация и защитные мероприятия от взломов и нападения	Распределённая система управления производственными процессами (АСУП), интегрированная со всеми АСОДУ и АСУТП	Автоматизированная система противопожарных мероприятий			

Сохранность целостного материального образования связана с реализацией идеи презумпции управления [4]. Наличие свойств целостной системы и их содержательность обеспечиваются **состояниями соответствующих** композиций соответствующих структурных компонент. Тем самым необходимость обеспечения системы наличием определенного свойства есть осуществление процесса управления каждым элементом и "отношением" *структурной компоненты* системы, участвующей в формировании этого качества. Управление — есть реализация *замкнутого контура управления*, в котором в роли объекта управления и выступают эти структурные компоненты. *Сохранность* целостного материального образования может обеспечиваться созданием множества дополнительных контуров управления на *структурных компонентах системы* (рис. 2).

Защита системы как целостного материального образования при такой структурной сложности адекватна обеспечению *комплексного регулирования* состояния или свойств каждого уровня целевых ("технологических") процессов, *каждого уровня среды* (как последовательности вложенных локально организованных сред для каждого "технологического" процесса) и тех взаимодействий разно уровневых сред, которые фактически и создают условия, которые понимаются как обеспечение безопасности (рис. 3).

Исследование состава и структурных особенностей СОУ позволяет сделать следующее обобщение. Принимая тезис о том, что современное образовательное учреждение высшей школы РФ функционирует сообразно с априорно установленными целями или априорно известными закономерностями изменения своих целевых показателей, недопустимо упускать из вида следующее: а) то, что и *сохранность* целостной системы (см. рис. 2) и ее *защита* (см. рис. 3) невозможны без всего того, что принято понимать как *самодостаточность функционирования* (другими словами, организация дополнительных контуров управления попросту невозможна без *самодостаточности системы*); б) то, что целесообразное функционирование (поведение) невозможно без *самодостаточности строений, в которых располагаются и протекают все процессы жизнедеятельности образовательного учреждения*, т. е. без наличия у этих строений "неограниченного" ресурса, поскольку всякое ограничение принципиально переводит "формальную целесообразность" образовательных и производственных процессов в "искусство возможного" [5].

Реально "неограниченность" ресурса может означать разное, в частности: а) наличие "достаточного количества" этого ресурса при отсутствии зависимости от иных объектов или субъектов в определенном промежутке времени (свойство автономности); б) наличие знаний об источниках пополнения ресурсов при возникающей необходимости и умение поддерживать их "достаточное количество"; в) знание и умение *восполнить востребованное из биосферы* и многое другое. По нашему мнению, не совсем принципиально то или иное понимание "неограниченности" ресурса. Важно то, что *фактор самодостаточности делает реальным акцию обеспечения безопасности жизнедеятельности, что именно он обеспечивает "структурную" безопасность образовательного учреждения в целом.*

5. Простейший пример структуры обеспечения безопасности

Исходя из того, что образовательное учреждение — это целостная система учебных, производственных и инфраструктурных процессов, образующихся и развивающихся, во-первых, в зданиях и сооружениях; во-вторых, на близлежащей территории как в локально организованной среде и, в-третьих, в географически более масштабных средах, заданных проектными и плановыми территориальными границами (приграничные территории), а системным механизмом организации безопасности объектов СОУ является создание систем автоматического управления (САУ) и автоматизированных систем управления (АСУ) во всех структурных компонентах образовательного учреждения как целостной системы, в качестве начальных моделей по обеспечению безопасности образовательных учреждений можно предложить типаж моделей автоматизации для защиты от возможных опасностей и рисков, представленный в таблице.

Заключение

Итак, очевидна возможность разнообразного понимания сути процессов обеспечения безопасности жизнедеятельности. Предложенное их толкование в виде системных механизмов *сохранности и защиты* непременно переводит тематику безопасности в границы теории и практики автоматического или автоматизированного управления.

При этом *сохранность* обусловлена по сути организацией множества контуров управления на



структуре системы, а защита обусловлена организацией множества контуров управления на локально организованных средах системы.

Анализ простейшей отмеченной структуры по обеспечению безопасности образовательных учреждений позволяет предположить: 1) *фактор самодостаточности* не только делает реальным акции обеспечения безопасности жизнедеятельности, но и является *необходимым и достаточным условием такой реализуемости*; 2) *чем "богаче" фактор самодостаточности, чем больше возможностей адекватной организации требуемых контуров управления на локально организованных средах и тем ниже риски потенциальных опасностей образовательного учреждения.*

Список литературы

1. **Константинов И. С., Раков В. И., Коськин А. В., Емелин Е. Г.** Об одной тенденции развития единой образовательной информационной среды. // Известия ОрелГТУ. — Орел: изд-во Гос. тех ун-та, 2003. — Серия "Информационные системы". — Вып. 1. — С. 19—32.
2. **Методологические** основы научного познания / Под ред. проф. П. В. Попова — М.: Высш. шк., 1972. — С. 255—263.
3. **Даль В. И.** Толковый словарь живого великорусского языка Изд. 7-е — М.: Русский язык. 1978. — Т. 1—4.
4. **Раков В. И.** О некоторых принципах формирования структур интегрированных АСУ // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2007. — № 5. — С. 34—38.
5. **Раков В. И.** К вопросу об исходных методологических представлениях интеллектуального строения // Известия ВУЗ. Строительство. — 2006. — №. 3—4. — С. 124—129.

Информация

В Москве учреждена новая общественная организация — **Ассоциация специалистов и преподавателей по безопасности**. Ассоциация является подразделением Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ) и работает в тесном контакте с УМС "Техносферная безопасность".

В феврале 2011 г. было проведено заседание Президиума Ассоциации, на котором были подведены первые итоги ее деятельности и конкретизирован План работы на 2011 г.

Прием в Ассоциацию еще не окончен. Специалисты, научные и педагогические работники, которые готовы способствовать повышению эффективности обеспечения безопасности, приглашаются принять участие в работе Ассоциации.

Подробнее на сайте www.асспб.рф

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 *М. Г. Джавадян*

Сдано в набор 09.02.11. Подписано в печать 22.03.11. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 8,16. Заказ 195.

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.