



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

2(110)  
2010

**Редакционный совет:**

АКИМОВ В. А.  
БАЛЫХИН Г. А.  
БЕЛОВ С. В.  
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.  
КАРНАУХ Н. Н.  
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

- Груничев Н. С., Аксенов С. А., Хоренко Т. А. Пути снижения шума в кабинах локомотивов на железнодорожном транспорте . . . . . 2  
Фалина Е. В. Способ снижения уровня травматизма на опасных производственных объектах . . . . . 5

### ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Минаев Д. А., Терехов А. Л., Водопьянова О. С. Разработка критериальной оценки шумности центробежных нагнетателей. . . . . 9  
Мамаев В. К., Власов Е. Н. Методы оценки шума центробежных лопаточных машин . . . 11

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Буренин В. В. Очистка производственных сточных вод от загрязняющих примесей . . . . . 15  
Григорьев Л. Н. Критериальная оценка и выбор наилучшей доступной экологической технологии . . . . . 21  
Гумеров Т. Ю., Добрынина А. Ф. Особенности процессов флокуляции при очистке сточных вод, содержащих белково-липидные примеси . . . . . 27  
Макарова И. С. Развитие подходов к обеспечению радиационной безопасности . . . . . 30  
Шахрай С. Г., Коростовенко В. В., Ребрик И. И. Совершенствование системы сбора газов, образующихся на электролизерах с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом. . 35

### РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

- Борисова Т. А. Теоретико-методические подходы к исследованию природно-антропогенного риска на Байкальской природной территории . . . . . 40

### ОБРАЗОВАНИЕ

- Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1976—2007 годы. Белов Сергей Викторович . . . . . 46

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ

- О межгосударственном стандарте ГОСТ 31191.2—2004 (ИСО 2631-2: 2003) "Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрации внутри зданий". . . . . 55

**Приложение. Ксенофонов Б. С.** Биотехнологические методы очистки воды, почвы и воздуха.

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 629.047

**Н. С. Груничев**, д-р техн. наук, проф., Институт проблем охраны труда Иркутского государственного университета путей сообщения,  
**С. А. Аксенов**, ВСЖД — филиал ОАО "РЖД",  
**Т. А. Хоренко**, Иркутский государственный технический университет  
 E-mail: grunichev\_ns@irgups.ru

## Пути снижения шума в кабинах локомотивов на железнодорожном транспорте

*Приведены сведения о шуме в кабинах локомотивов на железнодорожном транспорте, определены причины повышенного шума и даны рекомендации по его снижению во время движения локомотивов.*

**Ключевые слова:** безопасность, шум, кабина локомотива, локомотивная бригада, железнодорожный транспорт.

**Grunichev N. S., Acsenov S. A., Khorenco T. A. Ways of decrease in noise to cabins of locomotives on a railway transportation**

*Data on noise in cabins of locomotives on a railway transportation are resulted, the reasons of the raised noise are defined and recommendations about its decrease are made during movement of locomotives.*

**Keywords:** safety, noise, locomotive cabin, locomotive brigade, railway transportation.

Шум в кабинах локомотивов возникает от работы силовых и вспомогательных агрегатов, взаимодействия колес с рельсами при движении, аэродинамического шума от воздушных потоков возле кабины и др.

Локомотивный парк Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) представлен, в основном, локомотивами (электровозами) марок ВЛ-60, ВЛ-65, ВЛ-80, ВЛ-85, ЭП-1 и ЗЭС5К. Эквивалентный уровень звука в кабинах большинства упомянутых локомотивов при скоростях движения более 70 км/ч превышает установленные санитарные нормы (80 дБА) на величину от 1,6 до 5 дБА (см. таблицу). Исключение составляют электровозы марки ЭП-1 и ЗЭС5К, выпуск которых налажен промышленностью в последнее время. У электровозов такого типа шум меньше нормативного на 2...6 дБА.

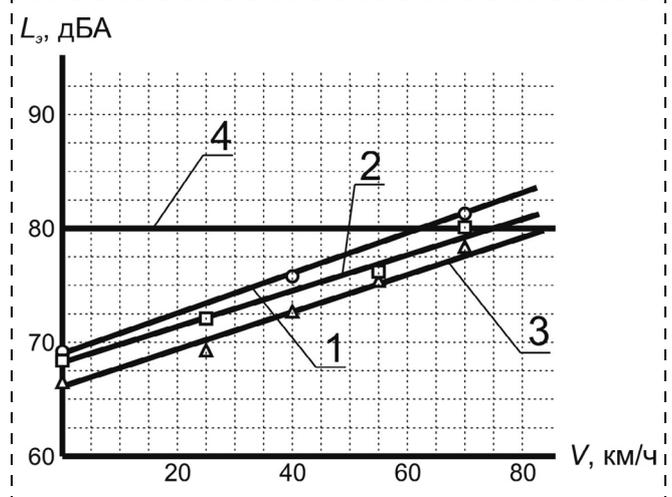
Исследования, выполненные авторами [1], показали, что существующая на локомотивах шумоизоляция кабин обеспечивает шум на рабочих местах на уровне требований безопасности до определенной скорости его движения. Например, у электровоза ЭП-1 она не превышает 82 км/ч (рис. 1, поз. 3), элек-

тровоза ВЛ-65 — 62...64 км/ч (рис. 1 и рис. 2, поз. 1), а электровозов ВЛ-85 и ЗЭС5К — 75 и 70 км/ч (рис. 1 и рис. 2, поз. 2) соответственно.

При закрытых окнах шум, в основном, равномерно распределен по кабине. Например, в электровозе ЭП-1 (рис. 3) разброс уровней звука составляет от 73,9 до 80,1 дБА при разнице между максимальным и минимальным значениями 6,2 дБА.

**Фактический эквивалентный уровень звука (дБА) на рабочих местах в кабинах локомотивов ВСЖД [1]**

Тип электровоза	Локомотивное депо			
	Вихоревка	Улан-Удэ	Нижнеудинск	Зима
— ВЛ-60, ВЛ-60К	—	—	—	81,6
— ВЛ-85	—	84...85	82,0	81,7
— ВЛ-80Т, ВЛ-80С	—	81...84,7	82,4	82...83,2
— ЗЭС5К	74	—	—	—
— ЭП-1	—	—	—	78



**Рис. 1. Динамика эквивалентного уровня звука  $L_{э}$  в кабинах электровозов при движении с закрытыми окнами:**

1 — электровоз ВЛ-65; 2 — электровоз ВЛ-85; 3 — электровоз ЭП-1; 4 — допустимый эквивалентный уровень звука в кабинах электровозов

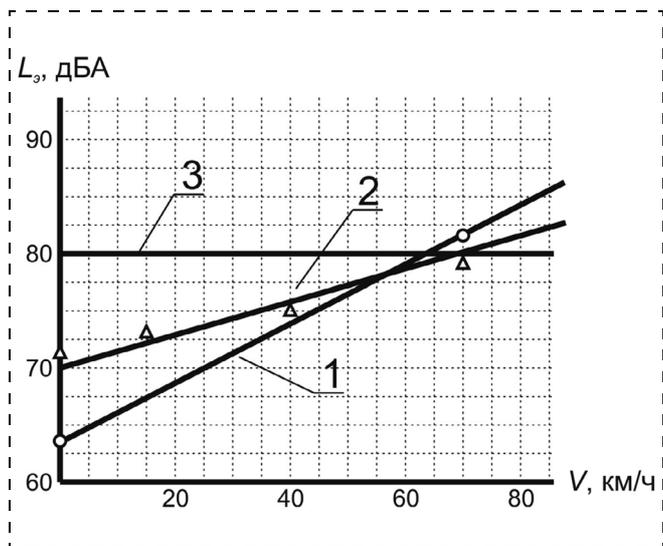


Рис. 2. Динамика эквивалентного уровня звука в кабинах электровозов ЗЭС5К и ВЛ-65 при движении с закрытыми окнами: 1 — электровоз ВЛ-65; 2 — электровоз ЗЭС5К; 3 — допустимый эквивалентный уровень звука в кабинах электровозов

При подаче сигналов свистками и тифонами шум в кабинах при его оценке по эквивалентному уровню кардинальным образом не меняется, и даже при открытых окнах, как правило, не превышает допустимые величины (рис. 4). Так, например, во время стоянки электровоза ЗЭС5К в кабине с открытыми окнами эквивалентный уровень звука достигает 70 дБА и не превышает допустимые 80 дБА

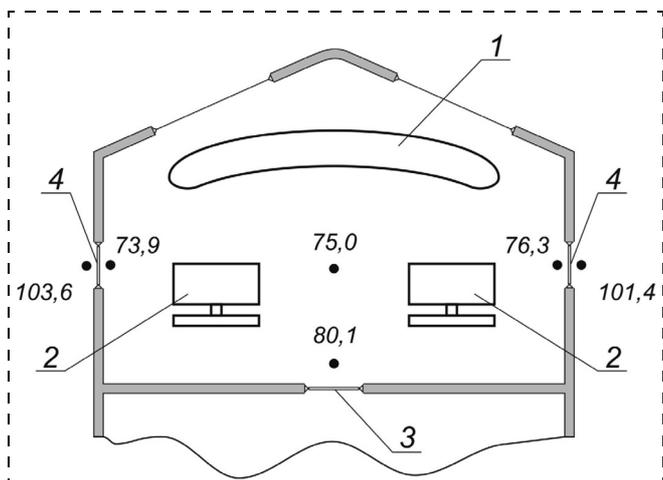


Рис. 3. Уровни эквивалентного шума (дБА) в кабине электровоза ЭП-1 при закрытых окнах:

- 1 — панель управления; 2 — кресло; 3 — дверь; 4 — окна; ● — точки замера  
Состояние кабины и оборудования машинного отделения электровоза ЭП-1 при выполнении замеров:  
1) окна кабины и дверь в машинное отделение закрыты;  
2) кондиционер кабины в неработоспособном состоянии;  
3) вентиляторы и компрессор не работают;  
4) сигналы гудка и свистка не подавались;  
5) скорость движения поезда 60 км/ч

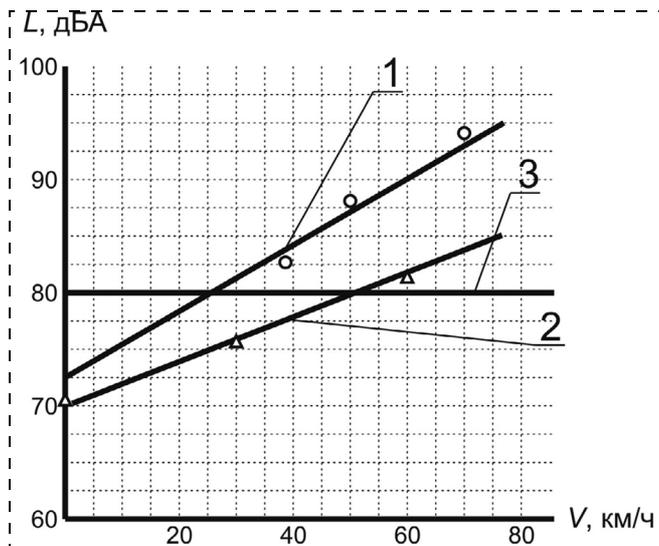


Рис. 4. Динамика эквивалентного уровня звука в кабинах электровозов ЗЭС5К и ВЛ-85 при движении с открытыми окнами: 1 — электровоз ВЛ-85; 2 — электровоз ЗЭС5К; 3 — допустимый эквивалентный уровень звука

(см. рис. 4, поз. 2). Однако сигналы, подаваемые свистками и тифонами, кратковременны, являются импульсными, а их максимальные уровни звука нередко превышают установленные допустимые величины [1].

При открывании окон шум в кабинах электровозов существенно увеличивается. К примеру, при скорости 60 км/ч и закрытых окнах эквивалент-

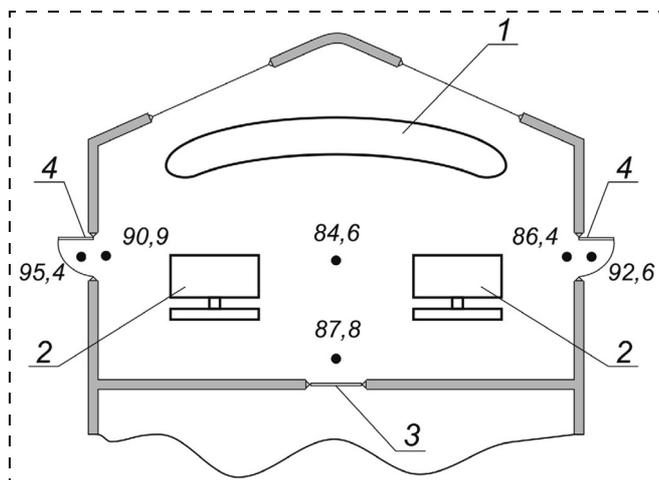


Рис. 5. Уровни эквивалентного шума (дБА) в кабине электровоза ЭП-1 при открытых окнах:

- 1 — панель управления; 2 — кресло; 3 — дверь; 4 — окна; ● — точки замера  
Состояние кабины и оборудования машинного отделения электровоза ЭП-1 при выполнении замеров:  
1) окна кабины открыты;  
2) дверь в машинное отделение закрыта;  
3) кондиционер кабины в неработоспособном состоянии;  
4) компрессор работает;  
5) сигналы гудка и свистка не подавались;  
6) скорость движения поезда 60 км/ч

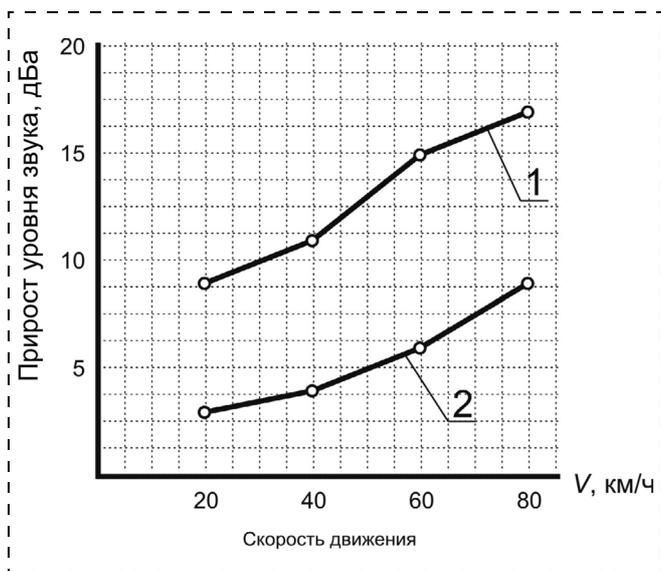


Рис. 6. Зависимость прироста эквивалентного уровня звука в кабинах электровозов при открытых окнах:

1 — электровоз ВЛ-85; 2 — электровоз ЗЭС5К

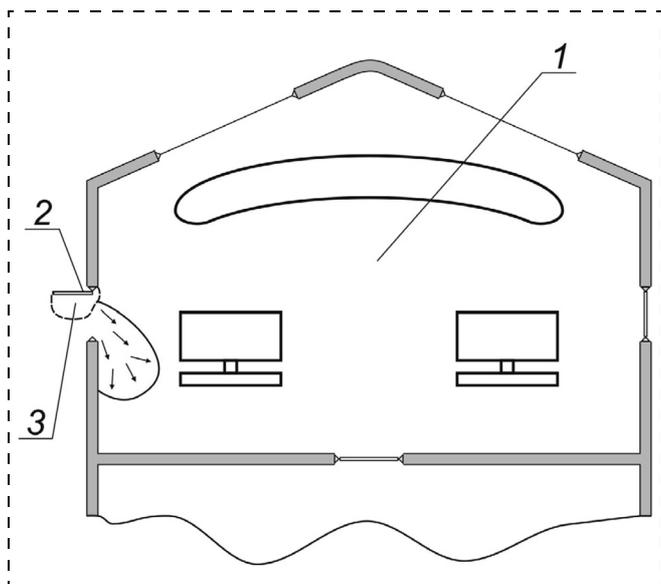


Рис. 7. Схема движения воздушного потока в кабине электровоза при открытом окне:

1 — кабина; 2 — поворотное окно; 3 — зона завихрения

ный уровень звука на рабочем месте помощника машиниста электровоза ЭП-1 составлял 73,9 дБА, а при той же скорости и открытых окнах — 90,9 дБА (см. рис. 3 и 5). Повышение уровня шума в этом случае составило 17 дБА, т. е. 23 %.

Прирост шума в кабинах локомотивов с открытыми окнами напрямую зависит от скорости их движения: чем выше скорость, тем шум больше. Так, при шуме 73 дБА во время стоянки локомо-

тива ВЛ-85 прирост эквивалентного уровня звука в его кабине при скорости 40 км/ч составил 11 дБА, скорости 60 км/ч — 15 дБА, а при скорости 80 км/ч — 17 дБА (рис. 6), что составляет 15, 19 и 21 % соответственно. Для электровоза ЗЭС5К при тех же скоростях движения превышения эквивалентного шума составляют соответственно 5; 7,5 и 11 %.

При открытых окнах шум в кабинах превышает установленные нормы при меньших скоростях движения локомотивов. Например, при закрытых окнах в кабине электровоза ВЛ-85 превышения шума фиксируются при скорости 63 км/ч (см. рис. 1), а при открытых окнах, при скорости 28 км/ч (см. рис. 4). Аналогичная картина наблюдается и для электровоза ЗЭС5К: при закрытых окнах кабины превышения шума проявляются при скорости 70 км/ч (см. рис. 2), а при открытых — при скорости 52 км/ч (см. рис. 4). Поскольку превышения шума над нормами наблюдаются при меньших скоростях, то можно отметить, что повышенный шум действует на членов локомотивных бригад большую часть времени смены.

В момент открывания окон в кабине локомотива имеет место резкое повышение скоростного давления, вызванное характером движения воздушного потока (рис. 7): при скорости 60 км/ч оно составляет 15 мм рт. ст., а при 80 км/ч — 27 мм рт. ст. (рис. 8). При этом имеет место образование воздушной волны. Проникая в глубь кабины, волна в виде аэродинамического импульса ударным образом воздействует на барабанные перепонки органов слуха работающих.

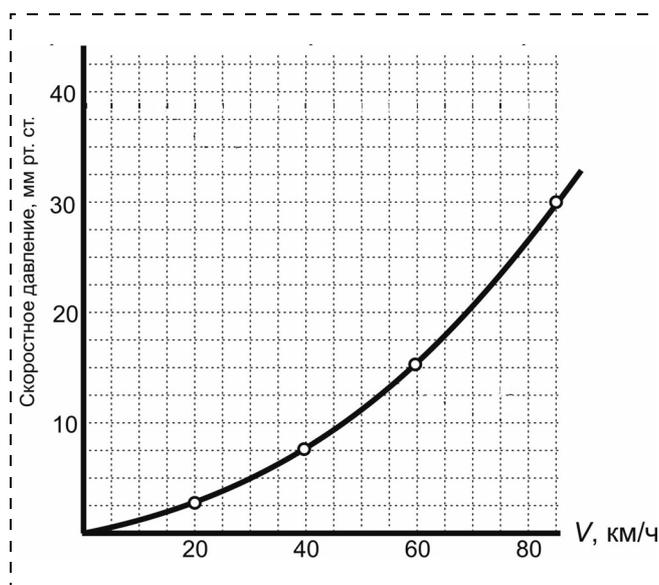


Рис. 8. Зависимость скоростного давления возле кабины от скорости движения при атмосферном давлении 730 мм рт. ст.



При закрывании окон в кабине транспортного средства имеет место процесс резкого снижения скоростного давления и гашения энергии воздушной волны. Это приводит к повторному аэродинамическому воздействию потока воздуха на органы слуха работников.

Отметим, что окна зачастую открываются при осмотре вагонов и оценке дорожной обстановки. На опасных участках маршрута за один час движения поезда количество осмотров может достигать 15 раз, а количество аэродинамического воздействия воздушных потоков на человека — до 30 раз [1].

На основании изложенного следует:

1. Открытие окон в кабинах локомотивов приводит к ухудшению шумовой обстановки на рабочих местах членов локомотивных бригад. Эквивалентный уровень звукового давления в кабинах при скоростях движения до 80 км/ч в этом случае повышается, в среднем, на 5...21 %.

2. При открытых окнах кабин превышение шума над нормами фиксируются при меньших скоростях движения локомотивов по сравнению с движением

с закрытыми окнами. При этом увеличивается время пребывания членов локомотивных бригад в условиях повышенного шума. Для электровозов ВЛ-85 в этих условиях превышения наблюдаются на скоростях движения от 28 км/ч и выше. При закрытых окнах они фиксируются при скорости 63 км/ч. У электровозов 3ЭС5К при закрытых окнах превышения были при скорости движения 70 км/ч и выше, а при открытых окнах — 52 км/ч.

3. При открывании и закрывании окон возникают дополнительные нагрузки на органы слуха от действия воздушной волны аэродинамического происхождения.

4. С точки зрения условий труда членам локомотивных бригад нецелесообразно производить осмотр состава и визуальную оценку дорожной обстановки при открытых окнах кабины.

#### Список литературы

1. **Отчет** о НИР "Анализ и разработка рекомендаций по профилактике профессиональных заболеваний в подразделениях ВСЖД-филиала ОАО "РЖД". — Иркутск: ИрГУПС, 2008. — 48 с.

УДК 614.8: 628.5: 658.382

**Е. В. Фалина**, канд. техн. наук,  
Тульский государственный университет  
E-mail: falinaev@rambler.ru

## Способ снижения уровня травматизма на опасных производственных объектах

*Показана зависимость динамики работоспособности персонала в течение рабочей смены от его психофизиологического состояния. Предложен способ для уменьшения травматизма на производстве.*

**Ключевые слова:** динамика работоспособности, технологический процесс, уровень производственного травматизма, чрезвычайные ситуации.

**Falina E. V. The reduction's method of level traumatism on perilous production works**

*This article reveals the dynamic of personnel's efficiency during the working shift. The proper reduction's method of level traumatism on works.*

**Keywords:** efficiency dynamics, engineering procedure, level of traumatism, extraordinary situations.

Труд играет исключительно важную роль в жизни и деятельности каждого человека. Большую часть жизни человек участвует в общественно полезном труде в сфере производства и прочих областях.

На качественную работоспособность человека как неотъемлемого звена каждого предприятия, организации влияет ряд факторов. К ним относятся — условия труда, уровень подготовки, опыт, квалификация, взаимоотношения в коллективе и др. Также важным фактором высокой работоспособности является нормальное самочувствие человека, его психофизиологическое состояние и эмоциональная устойчивость [1].

Любой вид трудовой деятельности, помимо физических нагрузок, требует волевых усилий, сосредоточения внимания, мышления.



Динамика работоспособности человека на протяжении рабочей смены характеризуется наличием ряда выраженных фаз (рис. 1) [2].

По имеющимся оценкам наибольший уровень травматизма (порядка 40 %) на производстве отмечается в I, II и IV фазах. Отклонения в эмоциональных состояниях работников являются особенностями указанных фаз, поскольку они характеризуются рядом психофизиологических факторов: психическими свойствами личности, пониженным или повышенным уровнем психической деятельности, различными эмоциональными состояниями работников, а также психическими процессами, протекающими в виде реакции (ощущение, восприятие, память, мышление, внимание и т. п.). В IV фазе, помимо указанных факторов, отмечается повышенный уровень утомляемости, накопившийся за предыдущий промежуток рабочего времени, связанный с напряженностью и тяжестью трудового процесса.

Статистические исследования показывают, что на одного рабочего у нас в стране приходится более 10...12 дней нетрудоспособности по болезни в год, а это составляет около 4 % всех рабочих дней. Хотя существует и еще одна проблема — весьма часто работники предприятий стараются не брать больничные листы, чтобы не терять в заработной плате. В результате чего, вместо того чтобы изолировать очаг заболевания, подобные работники способствуют заболеванию и другого персонала, что сказывается на качестве технологического процесса в целом и приводит к увеличению уровня травматизма на производстве.

Содержание и условия труда существенно и неоднозначно изменяются под воздействием научно-технического прогресса. Функции преобразования предмета труда все в большей степени передаются технике, основными функциями исполнителя становятся контроль, управление, программирование

работы машины, что значительно снижает затраты физической энергии.

Роботизация, автоматизация, информационные технологии позволяют заменить контактный способ управления на дистанционный, когда работник имеет дело с "информационной моделью" производственного процесса (рис. 2).

Как следствие, возрастает значение функций приема, переработки, интерпретации обширной информации, принятия решений, порой в нестандартных ситуациях при дефиците времени. Результатом становится рост нервных нагрузок, что в большинстве своем приводит к травмам, авариям, сердечно-сосудистым и нервно-психическим расстройствам ("индустриальный стресс").

Возрастание скорости и мощности оборудования приводит к несогласованности параметров его работы и возможностей человека реагировать и принимать решения, что особенно недопустимо на опасных производствах с непрерывным производственным циклом, в частности, на объектах химической и металлургической промышленности.

Критерием быстродействия является время решения задачи, т. е. время от момента реагирования оператора на поступивший сигнал до

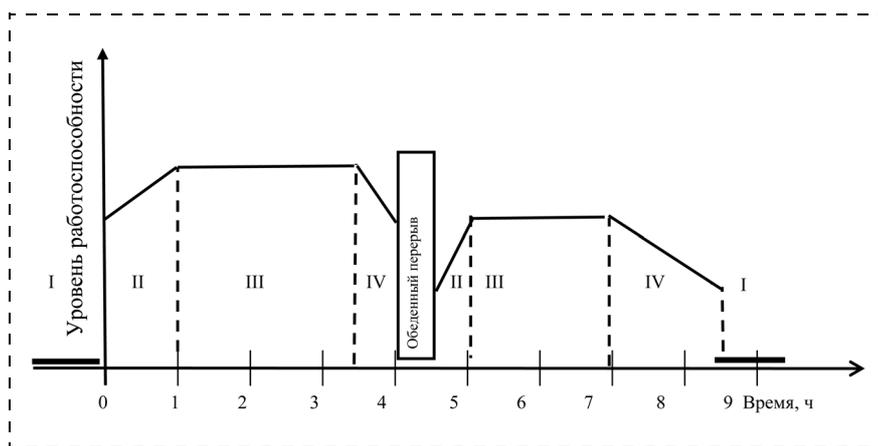


Рис. 1. Фазы, отражающие работоспособность человека на протяжении смены:

I — дорабочее состояние ("пересменка"); II — фаза вработывания; III — фаза устойчивой работоспособности; IV — фаза снижения работоспособности в результате развивающегося утомления

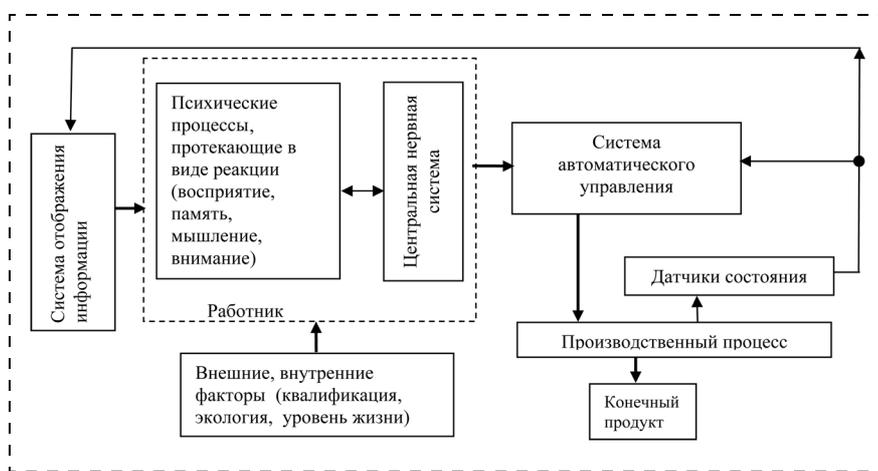


Рис. 2. Дистанционный способ управления производственным процессом

момента окончания управляющих воздействий. Обычно это время прямо пропорционально количеству преобразуемой человеком (оператором) информации:

$$T_{\text{оп}} = a + bH = a + (H/V_{\text{оп}}),$$

где  $a$  — скрытое время реакции, т. е. промежуток времени от момента появления сигнала до реакции на него оператора; его значения находятся в пределах 0,2...0,6 с;  $b$  — время переработки одной единицы информации (0,15...0,35 с);  $H$  — количество перерабатываемой информации, ед.;  $V_{\text{оп}}$  — средняя скорость переработки информации (2...4 ед./с) или пропускная способность.

В результате время решения задачи и скорость обработки полученной информации снижается и не поддается прогнозированию во время работы оператора в фазах I, II, IV (см. рис. 1). Как было отмечено выше, данное обстоятельство связано с рядом тяжело контролируемых психофизиологических факторов и особенностей оператора. Отсюда следует вывод: необходимо максимально использовать фазу III (фазу устойчивой работоспособности) персонала (оператора).

В фазе III рабочий динамический стереотип восстановлен и закреплен на высоком уровне, работа характеризуется ритмичностью, координированностью движений, высокой выработкой и качеством. Скорость переработки информации и быстрое реагирование персонала (оператора) на любой поступивший сигнал со стороны технологического процесса высокая.

Практически все основные методы снижения уровня травматизма на производстве на сегодняшний день исчерпаны. Кроме того, внедрение известных методов по предотвращению травматизма ведет к повышению затрат на производство и увеличению себестоимости продукции, из-за чего многие предприятия и организации отказываются от их полного внедрения.

В данной статье предлагается способ для уменьшения травматизма на производстве. Предлагаемый способ позволяет учитывать психофизиологическое состояние персонала (оператора) во времени.

Для достижения максимального снижения уровня травматизма персонала и уменьшения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций вследствие психофизиологических особенностей работников необходимо максимально использовать фазу III для управления (работы) непрерывным технологическим процессом, например, на химических, металлургических предприятиях и прочих

опасных объектах. Схема входа каждого последующего работника в фазу III представлена на рис. 3.

При непрерывном технологическом процессе, в частности на предприятиях химической и металлургической промышленности, работа персонала производится в три смены, при этом в каждой смене одновременно присутствует по два оператора. Два работника последующей смены одновременно принимают работу у двух предыдущих работников. В результате, в момент передачи смены все четыре работника находятся либо в фазе I (принимающие смену), либо в фазе IV (сдающие смену). Именно в этот промежуток времени, по результатам наблюдений на производствах повышенной опасности, происходит наибольшее количество несчастных случаев, аварий, взрывов, выбросов и прочих чрезвычайных ситуаций.

Поэтому необходимо начинать работу персонала каждой смены не одновременно, а со сдвигом во времени — в среднем на 1,5 ч (см. рис. 3). В частности, на примере первой смены, видно, что оператор 1 приступит к своей работе на своем рабочем месте в тот момент, когда оператор 6 еще будет находиться в фазе устойчивой работоспособности (фаза III).

В тот момент, когда у оператора 6 закончилась смена, к работе на данном рабочем месте приступает оператор 2, у него начинается фаза вработывания (фаза II). Параллельно с ним оператор 1 уже полностью работает в фазе III. И, наоборот, при наступлении фазы IV у оператора 1 оператор 2 будет находиться в фазе своей устойчивой работоспособности.

Во время обеденного перерыва оператор 1 оператор 2 также продолжает работать в фазе III.

Оператор 3 (первый работник второй смены) приступит к работе в тот момент, когда оператор 1 закончил работу и соответственно сдал свое рабочее место оператору 3. В этот момент оператор 2 постепенно переходит в фазу IV снижения своей работоспособности, и параллельно с этим оператор 3, преодолев фазу вработывания, в присутствии оператора 2 начинает входить в фазу своей наивысшей работоспособности и т. д.

В результате, в течение всего производственного цикла (24 часа) каждый из операторов будет включаться в управление технологическим процессом во время нахождения предыдущего оператора в наиболее работоспособном состоянии (см. рис. 3), что позволит более качественно выполнять поставленные задачи и более быстро и грамотно принимать решения в "нестандартных" ситуациях.

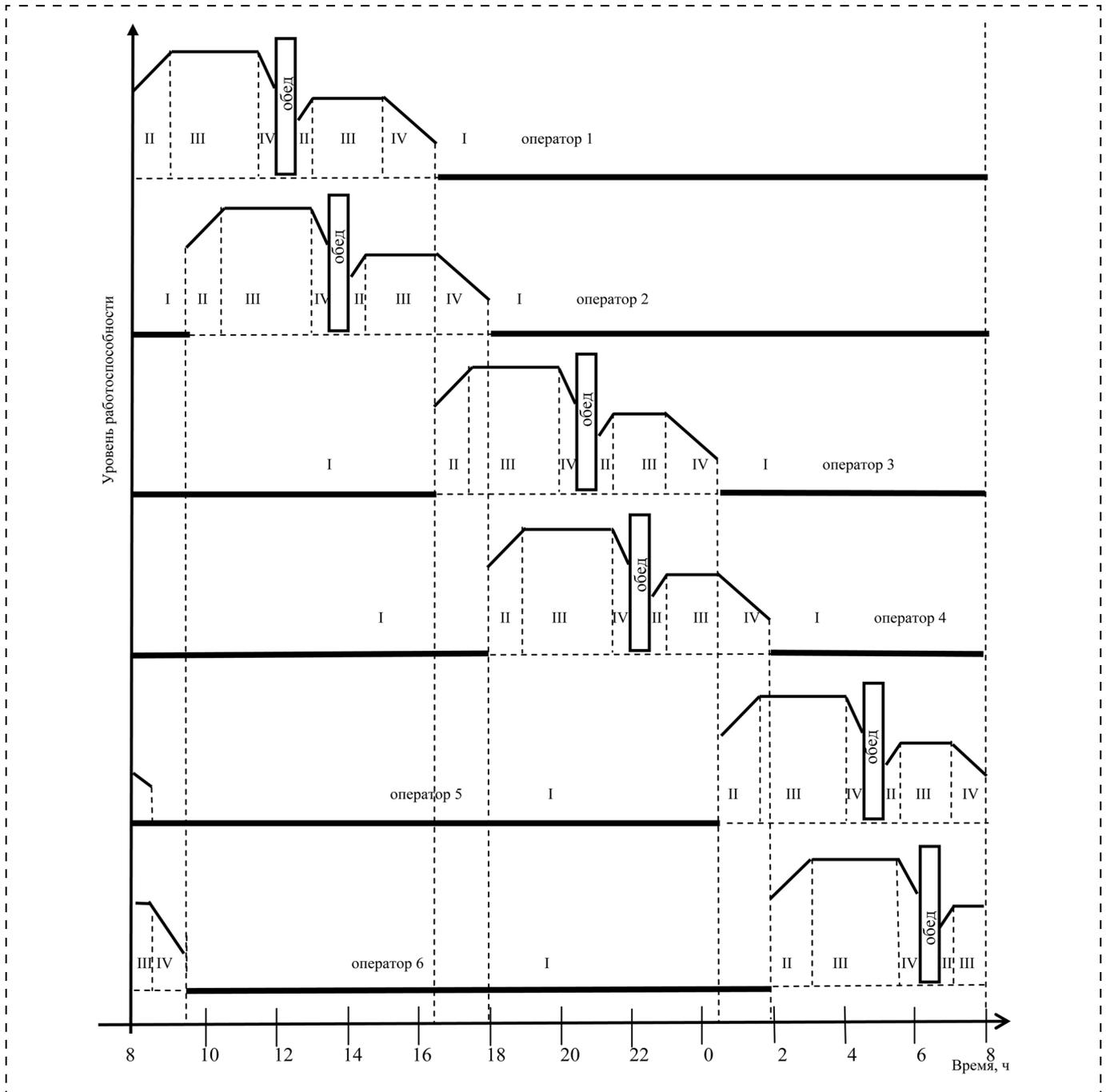


Рис. 3. Схема входа каждого последующего работника в фазу III (фазу устойчивой работоспособности)

Таким образом, внедрение и применение предложенной схемы входа каждого последующего работника в фазу устойчивой работоспособности можно рассматривать как один из способов снижения уровня травматизма и уменьшения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах с непрерывным производственным циклом.

#### Список литературы

1. Пивоваров Ю. П., Королик В. В., Зиневич Л. С. Гигиена и основы экологии человека: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр "Академия", 2004. — 528 с.
2. **Безопасность** жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учебное пособие для вузов / П. П. Кукин, [и др.]. — М.: Высш. шк. — 2004. — 319 с.

УДК 534.83.003.12

Д. А. Минаев, А. Л. Терехов, д-р техн. наук., О. С. Водопьянова,  
ООО "Газпром ВНИИГАЗ"  
E-mail: minaev\_56@mail.ru

## Разработка критериальной оценки шумности центробежных нагнетателей

*Статья посвящена актуальному вопросу повышения промышленной безопасности на компрессорных станциях магистральных газопроводов путем снижения шума газотранспортного оборудования. Рассмотрена модель критериальной оценки шумности центробежных нагнетателей, разработанная с использованием основных акустических соотношений. Приведены результаты расчетов критерия шумности для центробежных нагнетателей различных типов.*

**Ключевые слова:** компрессорные станции, центробежные нагнетатели, шумовые характеристики, снижение шума, критерий шумности, улучшение условий труда.

**Minaev D. A., Terechov A. L., Vodopjanova O. S. Development of criterial evaluation of rotary pumps noisiness**

*This paper focuses on a topical issue of improving safety on compressor stations of gas-main pipelines by reducing the noise of gas-transport equipment. The paper considers model of criterial evaluation of noisiness of rotary pumps, developed on basis of constitutive acoustic relations. The paper cites results of calculations of values of the criterion of noisiness for diverse types of rotary pumps.*

**Keywords:** compressor stations, rotary pumps, noise characteristics, noise reduction, criterion of noisiness, improvement of work environment.

Осуществление мероприятий по защите от шума в условиях эксплуатации газотранспортного оборудования неизбежно связано с теми или иными материальными затратами. Некоторые средства снижения шума, такие как установка глушителей на выхлопе газотурбинных установок, изменение конструкции оборудования, как правило, ухудшают аэродинамические характеристики газоперекачивающих агрегатов, могут приводить к увеличению массы, габаритов и усложнению условий эксплуатации, технического обслуживания (проведение ремонтных работ), а также оперативного обслуживания оборудования [1].

Поэтому особую важность приобретает возможность выполнения достоверного акустического рас-

чета мероприятий по защите от шума газотранспортного оборудования на газоперекачивающих объектах на стадии проектирования.

Провести достоверный акустический расчет мероприятия по защите от шума невозможно без сведений о шумовых характеристиках газотранспортного оборудования, полученных заводом-изготовителем или в условиях эксплуатации (ориентировочный метод).

Результаты акустического обследования компрессорных станций свидетельствуют о том, что одним из наиболее значимых источников интенсивного шума являются центробежные нагнетатели [1]. Шумовые характеристики центробежных нагнетателей можно условно разделить на размерные и безразмерные.

Размерными шумовыми характеристиками являются спектры уровней звуковой мощности или уровней звукового давления (используют также эквивалентный уровень) в октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц при постоянной частоте вращения, устанавливаемой заводом-изготовителем — номинальной частоте вращения в режиме максимума КПД.

Размерные характеристики, как правило, являются надежными исходными данными при проектировании мероприятий по защите от шума для конкретного вида центробежного нагнетателя при номинальной частоте вращения. Однако они не позволяют определить шумовую характеристику центробежного нагнетателя того же типа на режимах работы, отличных от номинального.

Для этого служат безразмерные акустические характеристики центробежных нагнетателей, аналогичные безразмерным аэродинамическим характеристикам, а также критериальная оценка шумности. В основу разработки критериальной оценки шумности центробежных нагнетателей легли основные соотношения, описанные в работах некоторых авторов по описанию характеристик аэродинамических шумов различных типов вентиляторов [2, 3].

Уровень звуковой мощности может быть выражен через полное давление  $P$ , объемный расход  $Q$  и критерий шумности  $\bar{L}$  следующим соотношением:

$$L_p = \bar{L} + 10(1 + a/2)\lg(P) + 10\lg(Q), \quad (1)$$



где  $L_p$  — уровень звуковой мощности, дБ;  $a$  — безразмерный коэффициент (определяется механизмом излучения шума; так, для вентиляторов, а также центробежных нагнетателей доминирующим механизмом излучения является дипольное излучение шума, при котором  $a = 3$ );  $P$  — полное давление, кгс/м<sup>2</sup> (1 кгс/м<sup>2</sup> = 9,8 Па);  $Q$  — объемный расход, м<sup>3</sup>/с.

Величина  $\bar{L}$  зависит от типа вентилятора и численно равна  $L_p$  при  $P = 1$  кгс/м<sup>2</sup> и  $Q = 1$  м<sup>3</sup>/с.

Учитывая принципиальное подобие конструкций и технологического назначения промышленных вентиляторов и центробежных нагнетателей, в рамках проведенных исследовательских работ впервые осуществлена проверка применимости соотношения (1) для центробежных нагнетателей различных типов (Н-196-1,45; НЦ-6,3-56-1,45; 7V-3/100-1,7).

В процессе исследований было установлено, что при определении критериев шумности центробежных нагнетателей различных типов целесообразно подставлять значения  $P$  в МПа.

Для центробежных нагнетателей зависимость (1) с учетом дипольного излучения шума будет иметь следующий вид:

$$L_p = \bar{L} + 25 \lg(P/P_0) + 10 \lg(Q/Q_0), \quad (2)$$

где  $P_0 = 1$  МПа;  $Q_0 = 1$  м<sup>3</sup>/с.

Проведенные исследования свидетельствуют, что зависимость (2) справедлива для сравнения шумности центробежных нагнетателей, работающих на режимах с относительно сопоставимыми рабочими характеристиками ( $Q, P$ ).

В рамках исследований были определены уровни звуковой мощности, излучаемые центробежными нагнетателями на различных режимах работы, и соответствующие им значения рабочих параметров ( $Q, P$ ), и выполнен регрессионный анализ с расчетом значений критериев шумности ( $\bar{L}$ ) с использованием метода наименьших квадратов [4].

Исходные данные, необходимые для проведения расчетов значений  $\bar{L}$ , приведены в табл. 1—3.

Результаты расчета, проведенного для трех центробежных нагнетателей типа 7V-3/100-1,7, показали, что значения  $\bar{L}$  в регрессионном уравнении (2) соответственно равны  $\bar{L}_1 = 85$ ,  $\bar{L}_2 = 86$  и  $\bar{L}_3 = 85$ .

Результаты расчета, проведенного для трех центробежных нагнетателей типа Н-196-1,45, показали, что значения  $\bar{L}$  в регрессионном уравнении (2) соответственно равны  $\bar{L}_1 = 115$ ,  $\bar{L}_2 = 115$  и  $\bar{L}_3 = 115$ .

Результаты расчета, проведенного для трех центробежных нагнетателей типа НЦ-6,3-56-1,45, показали, что значения  $\bar{L}$  в регрессионном уравне-

нии (2) соответственно равны  $\bar{L}_1 = 111$ ,  $\bar{L}_2 = 111$  и  $\bar{L}_3 = 111$ .

Значения критериев шумности являются постоянными для центробежных нагнетателей вне зависимости от режимов их работы и удобны для сравнения шумности машин как одного типа, так и различных типов.

Достоверность определения критериев шумности проверялась сериями повторных экспериментов на идентичных единицах оборудования, с последующим проведением расчетов.

Таблица 1

Исходные данные для проведения расчета критерия шумности центробежного нагнетателя типа 7V-3/100-1,7

$n, \text{мин}^{-1}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$P, \text{МПа}$	Уровень звуковой мощности, дБ		
			$L_{p1}$	$L_{p2}$	$L_{p3}$
4900	2,14	5,63	108	110	107
5000	2,18	5,86	109	110	107
5050	2,20	5,98	109	110	107
5100	2,22	6,10	108	111	107
5150	2,25	6,22	110	112	108
5200	2,27	6,34	110	111	109
5250	2,29	6,46	109	111	109
5300	2,31	6,59	109	111	110
5400	2,36	6,84	110	112	111
5500	2,40	7,10	109	111	110
5600	2,44	7,36	109	111	110
5700	2,49	7,62	110	112	111
5800	2,53	7,89	111	112	111
5900	2,57	8,16	110	112	111
6000	2,62	8,44	112	113	112
6100	2,66	8,73	112	113	112
6200	2,70	9,02	112	113	112
6300	2,75	9,31	113	114	112
6400	2,79	9,61	113	113	113
6500	2,83	9,91	112	113	112

Таблица 2

Исходные данные для проведения расчета критерия шумности центробежного нагнетателя типа Н-196-1,45

$n, \text{мин}^{-1}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$P, \text{МПа}$	Уровень звуковой мощности, дБ		
			$L_{p1}$	$L_{p2}$	$L_{p3}$
7500	2,99	4,68	120	120	120
7600	3,03	4,81	120	121	122
7700	3,07	4,94	121	121	119
7800	3,11	5,07	121	122	122
7900	3,15	5,20	121	121	121
8000	3,19	5,33	122	122	121
8100	3,23	5,46	121	121	121
8200	3,27	5,60	121	120	121
8300	3,31	5,74	124	123	122
8400	3,35	5,88	125	124	125
8500	3,39	6,02	123	122	122



Таблица 3

Исходные данные для проведения расчета критерия шумности центробежного нагнетателя типа НЦ-6,3-56-1,45

n, мин <sup>-1</sup>	Q, м <sup>3</sup> /с	P, МПа	Уровень звуковой мощности, дБ		
			L <sub>p1</sub>	L <sub>p2</sub>	L <sub>p3</sub>
7050	2,86	4,14	114	114	115
7100	2,88	4,20	115	115	115
7150	2,90	4,26	116	116	116
7200	2,92	4,32	117	117	117
7250	2,94	4,38	116	117	116
7300	2,96	4,44	116	115	117
7350	2,98	4,50	116	117	116
7400	3,01	4,56	117	117	116
7450	3,03	4,62	117	117	117
7500	3,05	4,68	119	120	120
7550	3,07	4,75	119	118	120
7600	3,09	4,81	118	119	117
7650	3,11	4,87	118	119	119
7700	3,13	4,94	118	119	119
7750	3,15	5,00	120	120	119
7800	3,17	5,07	119	119	119
7850	3,19	5,13	119	119	119
7900	3,21	5,20	120	120	120
7950	3,23	5,26	119	120	120
8000	3,25	5,33	120	120	121
8100	3,29	5,46	120	121	120
8200	3,33	5,60	119	120	120
8300	3,37	5,74	121	122	122

Применение критериальной оценки позволит осуществлять оптимальный выбор центробежных нагнетателей наименьшей шумности на стадии проектирования газотранспортных объектов при условии сохранения технической и экономической целесообразности.

Оптимальный подбор центробежных нагнетателей приведет к улучшению условий труда персонала газотранспортных организаций путем снижения шумовой нагрузки в производственных помещениях и на территории компрессорной станции, уменьшая вероятность несчастных случаев и аварийных ситуаций на производстве по причине снижения внимания и возникновения ошибок при выполнении работниками трудовой деятельности в условиях повышенного шума.

#### Список литературы

1. Терехов А. Л. Шум газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистральных газопроводов. — М., 2003.
2. Юдин Е. Я. Борьба с шумом на производстве. — М.: Машиностроение, 1985.
3. Погодин А. С. Шумоглушащие устройства. — М.: Машиностроение, 1979.
4. Корн Г. А., Корн Т. М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1984.

УДК 534.322.3:62-1.35

**В. К. Мамаев, Е. Н. Власов**, проф.  
 Российский университет дружбы народов  
 E-mail: v.k.mamaev@mail.ru

## Методы оценки шума центробежных лопаточных машин

*Показаны методы оценки звуковой мощности стационарных и транспортных лопаточных машин. Предложены формулы для оценки уровня звуковой мощности центробежных компрессоров при окружной скорости  $u > 50$  м/с.*

**Ключевые слова:** центробежный компрессор, уровень акустической мощности, аэродинамическая и акустическая характеристики, окружная скорость.

**Мамаев В. К., Власов Е. Н. Methods of an estimation of noise centrifugal blades machines**

*Methods of an estimation of sound power stationary and transport blades machines. Formulas for an estimation of a level of sound power of centrifugal compressors are offered at circle speed  $u > 50$  m/s.*

**Keywords:** the centrifugal compressor, a level of acoustic power, aerodynamic and acoustic characteristics, circumferential velocity.

Для оценки акустических показателей отечественных лопаточных машин в настоящее время используются два вида акустических характеристик: размерные и безразмерные [1].

Размерные акустические характеристики: спектры уровней звуковой мощности  $L_{pi}$ , определяемые отдельно на всасывании, нагнетании и в окружающем лопаточную машину пространстве в октавных полосах со стандартными среднегеометрическими частотами. При этом частота вращения должна быть расчетной, а режим работы соответствовать режиму максимального КПД нагнетателя.

Безразмерные акустические характеристики: в соответствии с ГОСТ 12.2.028—77 зависимости суммарного критерия шума  $\tilde{L}$  и отвлеченного уровня шума  $\bar{L}$  на сторонах нагнетания и всасывания от коэффициента расхода воздуха  $\varphi$ .



Для расчета уровней звуковой мощности  $L_{pi}$ , дБ, в полосах стандартных частот используются безразмерные спектры

$$L_p - L_{pi} = \Phi(\bar{f}_i), \quad (1)$$

где  $L_p$  — суммарная звуковая мощность; дБ;  $\bar{f}_i = 60f_i/n$  — безразмерная частота (критерий Струхалля);  $f_i$  — стандартная частота,  $f_i = 63, 125 \dots 8000$  Гц;  $n$  — частота вращения вентилятора,  $\text{мин}^{-1}$ .

Безразмерные так же, как и размерные характеристики, определяются по измерениям на сторонах всасывания, нагнетания и в окружающем вентилятор лопаточную машину пространстве. Допускается измерение шума во всасывающем или нагнетательном трубопроводе (ГОСТ 12.2.028—54).

Размерные акустические характеристики применяются для лопаточных машин при  $n = \text{const}$  и коэффициенте расхода воздуха  $\varphi = \text{const}$ , но они не позволяют определять шумовую характеристику машины при изменении ее геометрических размеров, частоты вращения и режима работы. Поэтому для сравнительной оценки по шуму машин одного и того же типа, но с различными геометрическими размерами, работающими на различных частотах вращения и расходах воздуха, рекомендуется использовать безразмерные акустические характеристики.

Рассмотрим некоторые методы оценки акустических характеристик лопаточных машин, которые применяются как в отечественной практике, так и за рубежом.

### 1. Метод НИИСФ (Научно-исследовательский институт строительной физики)

Метод основан на применении законов аэродинамического и акустического подобия при исследовании шума лопаточных машин. Основные условия обеспечения в сходных геометрических точках модели и натурной машины одинаковых суммарных уровней звукового давления сводятся к следующим [2]:

— геометрическое подобие модельной и натурной машин, а также примыкающих к ним воздуховодов;

— одинаковое рабочее тело в модели и натуре (например, воздух при одинаковых давлении и температуре);

— одинаковая окружающая скорость; одинаковый режим работы ( $\varphi = \text{idem}$ ); кроме того, необходима проверка на автомодельность по числу Рейнольдса.

С использованием общих условий аэродинамического и акустического подобия, а также положения теории размерностей получена общая функ-

циональная зависимость для определения звуковой мощности, Вт [3]

$$P = \frac{\rho}{a^{\alpha-3}} u^2 D^2 \Phi(\varphi, \text{Re}, \bar{f}, l/\lambda, \bar{Z}), \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность перемещаемой среды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $a$  — скорость звука,  $\text{м/с}$ ;  $u$ ,  $D$  — окружная скорость,  $\text{м/с}$ , диаметр РК,  $\text{м}$ ;  $\text{Re}$  — число Рейнольдса;  $f$  — безразмерная частота,  $\bar{f} = f/n$ ;  $n$  — частота вращения,  $\text{с}^{-1}$ ;  $f$  — частота генерируемого звука, Гц;  $l$  и  $\lambda$  — характерный размер и длина волны,  $\lambda = a/f$ ;  $l/\lambda$  — критерий гомохронности;  $\bar{Z}$  — безразмерный импеданс поверхностей объема, в который излучается звук;  $\alpha$  — некоторый постоянный коэффициент.

Как показано в работе [3], влияние параметров  $l/\lambda$  и  $\bar{Z}$  является несущественным. При определении звуковой мощности лопаточных машин можно пренебречь также влиянием числа  $\text{Re}$  [4]. Тогда зависимость (2) примет вид:

$$P = \frac{\rho}{a^{\alpha-3}} u^2 D^2 \Phi(\varphi, \bar{f}). \quad (3)$$

В результате деления правой и левой частей уравнения (3) на значение пороговой мощности  $P_0 = 10^{-12}$  Вт можно получить выражения для определения уровней звуковой мощности в полосах частот  $L_{pi}$ , дБ, и суммарной звуковой мощности  $L_p$ , дБ,

$$L_{pi} = \bar{L}_i + 10\alpha \lg u + 20 \lg D; \quad (4)$$

$$L_p = \bar{L} + 10\alpha \lg u + 20 \lg D, \quad (5)$$

где  $\bar{L}_i$  и  $\bar{L}$  — "отвлеченные" уровни шума, постоянные для данного типа машин;  $\bar{L}$  — суммарный уровень звуковой мощности ( $\bar{L}_i$  — в полосе частот), излучаемой данной машиной при диаметре колеса  $D = 1$  м, окружной скорости на выходе из рабочего колеса  $u = 1$  м/с.

Используя выражения для коэффициентов расхода  $\varphi$  и напора  $\psi$

$$\varphi = \frac{4G}{\pi D^2 u}; \quad \psi = \frac{2P_v}{\rho u^2}$$

и выражение для звуковой мощности (3), можно получить [4]

$$L_{pi} = \tilde{L}_i + 5(\alpha - 1) \lg P_v + 10 \lg G; \quad (6)$$

$$L_p = \tilde{L} + 5(\alpha - 1) \lg P_v + 10 \lg G, \quad (7)$$

где  $P_v$  — полное давление на выходе, Па;  $G$  — расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\tilde{L}_i$  и  $\tilde{L}$  — критерии шумности, постоянные для данного типа машин;  $\tilde{L}$  — суммарный ( $\tilde{L}_i$  — в полосе частот) уровень звуковой

мощности, излучаемой данной машиной при  $G = 1 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $P_v = 1 \text{ Па}$ .

Коэффициент  $\alpha$  в формулах (4)–(7) показатель степени в формулах (2) и (3) может принимать значения от 3 до 7. По рекомендациям автора работы [3],  $\alpha = 4$  при  $u < 18 \text{ м/с}$ ;  $\alpha = 5$  при  $u = 18...50 \text{ м/с}$  и  $\alpha = 6...7$  при  $u > 50 \text{ м/с}$ .

Метод НИИСФ используется при оценке акустических характеристик центробежных и осевых вентиляторов:

для расчета обобщенных шумовых характеристик однотипных машин с различными диаметрами рабочего колеса, окружными скоростями, давлением, расходами;

для прогнозирования шума проектируемых вентиляторов (понятия суммарного уровня звуковой мощности  $\bar{L}$  и "отвлеченного" уровня шума  $\bar{L}$  вошли в ГОСТ).

## 2. Метод ЦИАМ [5]

Для определения уровня суммарной звуковой мощности, дБ, авиационных компрессоров и вентиляторов используется формула [5]:

$$L_p = 20 \lg \Delta T + 10 \lg G + \sum_{q=1}^n F_q \quad (8)$$

где  $\Delta T$  — повышение температуры воздуха в компрессоре или вентиляторе, К;  $G$  — расход воздуха, кг/с;  $F_q$  — поправки, учитывающие режим работы машины, дискретные составляющие шума, направленность шума и т. д.

Поправки  $F_q$  определяются экспериментальным путем или рассчитываются по эмпирическим зависимостям. Примеры расчета поправок приведены в работе [5].

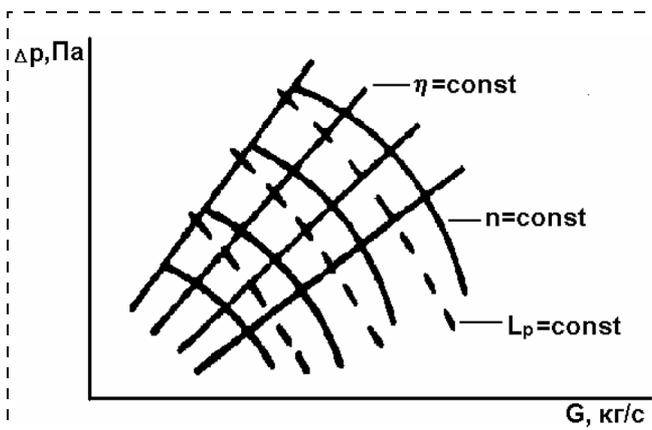
## 3. Метод фирмы "Fläkt" (Швеция) [6]

Информация о методе представления шумовых характеристик машин, выпускаемых фирмой "Fläkt", дается по каталогу фирмы [6]. В каталоге для каждого типа вентиляторов, наряду с общими техническими данными, дается совмещенная аэродинамическая и акустическая характеристики в виде графика (см. рисунок). Акустическая и аэродинамическая характеристики получены экспериментально.

Уровни звуковых мощностей в стандартных частотах  $f_i = 63...8000 \text{ Гц}$  находятся по формуле

$$L_{pi} = L_p + K_{0k}, \quad (9)$$

где  $L_p$  — для данной частоты вращения нужно взять из графика (см. рисунок);  $K_{0k}$  — поправка берется из прилагаемой к совмещенной характери-



### Совмещенные характеристики:

$L_p$  — уровень суммарной звуковой мощности, дБ;  $\Delta p$  — повышение давления в вентиляторе;  $n$  — частота вращения;  $\eta$  — КПД

стике таблицы соответственно для каждой стандартной полосы частот.

Преимуществом данного метода является возможность нахождения акустических характеристик вентилятора на различных частотах вращения. Приводимые фирмой "Fläkt" характеристики позволяют выбрать из выпускаемого ряда машин нужный вентилятор исходя из необходимых аэродинамических показателей (расход, повышение давления) и минимального уровня шума.

## 4. Метод, изложенный в каталоге [7]

Этот метод предполагает использование как и в методе НИИСФ понятия удельной звуковой мощности  $K_w$  для данного типоразмера вентиляторов. Акустические характеристики вентиляторов для всего типоразмерного ряда даются в виде спектров  $K_w = \Phi(f_i)$ , ( $f_i = 63...8000 \text{ Гц}$ ). Октавные уровни звуковой мощности для конкретного вентилятора определяются по формуле

$$L_{pi} = K_w + 20 \lg \Delta p + 10 \lg G. \quad (10)$$

В формуле (10) повышение давления в вентиляторе  $\Delta p$  в дюймах водяного столба, расход  $G$  в CFM (один кубический фут =  $2,832 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ ).

*Пример.* Определить октавные уровни звуковой мощности для центробежного вентилятора с загнутыми назад лопатками (число лопаток рабочего колеса вентилятора  $z = 16$ ; частота вращения  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ , лопаточная частота  $f_{л} = \frac{nz}{60} = 134 \text{ Гц}$ ,

$G = 50\,000 \text{ CFM}$ ;  $\Delta p = 3,1$  дюйма водяного столба.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таким образом, сравнивая рассмотренные выше методы оценки акустических характеристик лопаточных машин, можно отметить следующее.



Метод фирмы "Fläkt" [7] является удобным для потребителя, так как позволяет выбрать нужный вентилятор исходя из экономических, аэродинамических и шумовых характеристик. Однако он требует стендовых акустических испытаний всех типов машин, т. е. является чисто экспериментальным и требует больших затрат.

Методы НИИСФ [3, 6], ЦИАМ [5] основаны на использовании элементов теории аэродинамического и акустического подобия лопаточных машин и экспериментальных данных. Такой подход позволяет судить об акустических характеристиках целого ряда машин на основании испытаний одной машины из этого ряда. Эти методы используются также при прогнозировании шума проектируемых машин. Поэтому такой подход является предпочтительным.

Однако методы [3, 6] получили экспериментальное подтверждение только для вентиляторов, т. е. для машин с малым давлением, окружными скоростями, и по этой причине не могут быть исполь-

зованы для вентиляторов и компрессоров, выпускаемых Невским заводом (г. Санкт-Петербург). Метод ЦИАМ также не может применяться в чистом виде для указанных машин, так как в формуле (8) используется повышение температуры в компрессоре, а некоторые машины Невского завода имеют промежуточное охлаждение. Поэтому вместо напора предлагается использовать степень повышения давления  $\pi_k$  и проводить оценку суммарной звуковой мощности компрессорных машин по выражению

$$L_p = \tilde{L} + 5(\alpha - 1)\lg\pi_k + 10\lg G, \quad (11)$$

где  $\tilde{L}$  — постоянная величина для данного ряда лопаточных машин.

Если принять  $\alpha = 6$  (рекомендации [2, 3] для машин с  $u > 50$  м/с), то для центробежных компрессоров и нагнетателей формула (11) имеет вид:

$$L_p = \tilde{L} + 25\lg\pi_k + 10\lg G, \quad (12)$$

где  $G$  — расход воздуха, кг/с;  $L_p$  — уровень звукового давления, дБА.

В результате обработки экспериментальных данных для центробежных компрессоров Невского завода величина  $\tilde{L} = 81 \pm 3$  дБА, для нагнетателей природного газа  $\tilde{L} = 92,5 \pm 3$  дБА. Значение  $+3$  дБА соответствует разбросу результатов акустических испытаний машин Невского завода.

В табл. 2 приведены некоторые данные нагнетателей Невского завода (таблица составлена по материалам завода), результаты акустических испытаний (звуковой мощности) этих машин на месте их эксплуатации, а также результаты расчетов по формуле (12). Как видно, уровни звуковой мощности, полученные в результате акустических испытаний нагнетателей, практически совпадают с расчетными результатами.

#### Список литературы

1. Алексеев А. П., Власов Е. Н., Гаврилов С. А., Мамаев В. К. Влияние соотношения чисел лопаток рабочего колеса и диффузора на уровень шума центробежного компрессора / Сб. научных трудов Повышение эффективности использования процессов в тепловых двигателях. — М.: РУДН, 1985.
2. Борьба с шумом на производстве / Под ред. Е. Я. Юдина. — М.: Машиностроение, 1986.
3. Караджи В. Е. и др. Исследование шума радиальных вентиляторов и способы его снижения // Энергомашиностроение. — 1982. — № 7.
4. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под редакцией Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина. — М.: Стройиздат, 1987.
5. Власов Е. Н., Мамаев В. К. Лопаточный диффузор центробежного компрессора. (А. С. № 1409785) // Бюллетень. — 1988. — № 26.
6. Авиационная акустика / Под редакцией А. Г. Мунина. — М.: Машиностроение, 1986. Ч. 1.
7. Каталог фирмы "Fläkt" (Швеция), 1986.
8. Graham J. Fan selection and installation. Noise conf. 75 Proc. 1975.

Таблица 1  
Результаты расчета уровней звуковой мощности в октавных полосах частот

Параметры	При среднегеометрических частотах, Гц								Примечания
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
$K_w$	40	37	37	36	35	30	26	20	Из акустических характеристик По формуле (10) Из акустических характеристик Для $f_d = 125$ Гц
$L_{pi}$	98	94	94	93	92	87	83	77	
$\Delta L_p$	0	5	0	0	0	0	0	0	
$L'_{pi}$	98	99	94	93	92	87	83	77	

Примечание.  $\Delta L_p$  — превышение уровня звуковой мощности на первой лопаточной частоте;  $L'_{pi}$  — октавные уровни с учетом дискретной составляющей.

Таблица 2  
Характеристики нагнетателей Невского завода

Наименование параметров	Нагнетатели природного газа		
	235-21-1	370-18-1	650-21-1
1. Расход воздуха, кг/с	191,8	236,1	405
2. Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	4800	4800	3700
3. Политропический КПД	0,84	0,85	0,84
4. Число лопаток рабочего колеса (на входе/на выходе), шт.	14/7	12/24	11/22
5. Число лопаток диффузора, шт.	18	18	20
6. Уровень звуковой мощности машины, дБ:			
акустические измерения Невского завода (усредненные данные); расчет по формуле (12)	113	119	122
	116	117	121

УДК 504.4.05

**В. В. Буренин**, канд. техн. наук,  
МАДИ (ГТУ)  
E-mail: st@tu.madi.ru

## Очистка производственных сточных вод от загрязняющих примесей

*Проведен анализ новых процессов и конструкций гидравлических фильтров и устройств для очистки и обезвреживания производственных сточных вод, отличающихся улучшенными характеристиками и предложенных в патентах и научно-технической литературе промышленно развитых стран мира. Показаны основные тенденции развития конструкций гидравлических фильтров и устройств для очистки и обезвреживания производственных сточных вод.*

**Ключевые слова:** производственные сточные воды, гидравлические фильтры, устройство, очистка.

**Bourenin V. V.** Purification of industrial sewage from detrimental impurities

*Is conducted the analysis of new of processes and designs of hydraulic filters and devices for purification and neutralizations of industrial sewage distinguished by improved characteristics and suggested in patents and scientific-technical literature of industrially advanced countries of the world. The basic tendencies of development of designs of hydraulic filters and devices for industrial sewage purification and neutralizations are shown.*

**Keywords:** industrial sewage, hydraulic filters, device, purification.

Загрязнение мировых водных объектов: океанов, морей, озер, рек, прудов, болот, подземных вод, ледников и водяного пара атмосферы достигло огромных масштабов. Существенный вклад в это загрязнение вносят неочищенные сточные воды промышленных предприятий.

В каждом водоеме (водном объекте) имеются фауна и флора, в том числе планктон (взвешенные в толще воды мелкие и мельчайшие низшие организмы) и бентос (придонные организмы, необходимые для питания рыб). Между составными частями гидросферы существует определенное для каждого водоема биологическое равновесие, которое нарушают сбрасываемые в водоем неочищенные стоки. Поэтому их необходимо очищать до такой степени, чтобы после смешения с водой водоема

не были превышены нормативные требования, обеспечивающие в нем нормальную жизнь.

Сохранение водных ресурсов и предупреждение загрязнения окружающей среды является крупной социально-экономической проблемой. Одно из решений этой проблемы предполагает снижение потребления свежей воды в технологических процессах различных производств, а также сокращение сброса сточных вод в водные объекты. Это достигается внедрением новых технологических процессов, обеспечивающих уменьшение отходов и максимальную утилизацию, и применением систем использования технической воды по замкнутому циклу — систем очистки и обезвреживания производственных сточных вод и возвратом их в технологический процесс.

Наиболее радикальным решением проблемы предотвращения загрязнения водных объектов сточными водами промышленных предприятий является внедрение замкнутых схем оборотного водоснабжения (водооборота). Внедрение водооборота требует проведения специальных исследований, разработки высокоэффективных способов и устройств для очистки и обезвреживания оборотных вод, обеспечивающих при внедрении не только сохранение, но и повышение технических показателей технологических процессов.

Для очистки производственных сточных вод (промышленных стоков) первой стадией этого процесса, как правило, является механическая очистка, предназначенная для освобождения воды от взвешенных и коллоидных частиц. Следующим этапом очистки является удаление из воды растворенных в ней химических соединений физико-химическими, химическими, электрохимическими, биологическими и другими способами. Во многих случаях приходится применять комбинации из различных способов очистки и обезвреживания сточных вод.

В качестве наиболее употребительных способов следует указать следующие:

1) для удаления грубодисперсных частиц — отстаивание, флотация, фильтрация, осветление, центрифугирование;

2) для удаления мелкодисперсных и коллоидных частиц — коагуляция, флокуляция, электрические методы осаждения;

3) для очистки от неорганических соединений — дистилляция, ионообмен, обратный осмос, реагентное осаждение, электрические методы;

4) для очистки от органических соединений — экстракция, сорбция, флотация, ионообмен, реагентные методы; биологическое окисление; жидкофазное окисление, озонирование, хлорирование, электрохимическое окисление;

5) для очистки от газов и паров — отдувка, нагрев, реагентные методы;

6) для уничтожения вредных веществ — термическое разложение.

Создание на предприятиях эффективно действующих установок для очистки и обезвреживания сточных вод позволяет решить две важные задачи: предупредить загрязнение природных вод промышленными стоками и сократить потребление воды, так как возврат очищенной технологической воды в производственный цикл позволяет организовать кругооборот воды на предприятии.

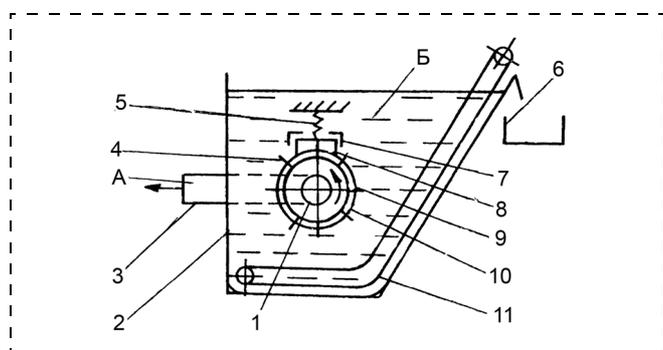


Рис. 1. Механический барабанный фильтр для очистки сточных вод

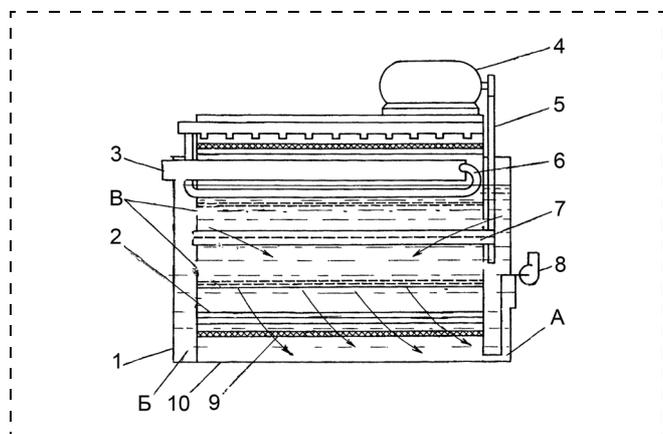


Рис. 2. Автоматический механический фильтр для очистки сточных вод

В последние годы ведущие в области производства техники для очистки и обезвреживания сточных вод российские и зарубежные фирмы разработали, запатентовали и выпускают фильтры, установки и устройства новых конструкций, отличающиеся улучшенными характеристиками.

Взвешенные твердые и пластичные частицы удаляются из сточных вод *механическими (с помощью механических фильтров) способами* [1].

Для эффективного удаления из промышленных сточных вод различных механических включений фирмой Ondeo Degremont, Inc. (США) разработано устройство [2], включающее вертикальную решетку, устанавливаемую в прямоугольном канале с поступающими на очистку сточными водами. Верхняя кромка решетки находится выше уровня сточных вод. В вертикальной плоскости по поверхности решетки совершает движение скребковый узел, при перемещении вверх он захватывает с поверхности решетки задержанные механические включения и переносит их в контейнер, находящийся за пределами канала. Установка устройства в канале с поступающими на очистку сточными водами и его удаление из канала осуществляются посредством грузоподъемных средств.

Повышенной эффективностью работы обладает механический барабанный фильтр (рис. 1) [3], состоящий из трубы 1 для очищенных сточных вод, установленной в подшипниках скольжения, которые крепятся к стенкам емкости 2 для загрязненных сточных вод Б. На трубе 1 жестко закреплен каркас 10 вращающегося барабана, оснащенный лопастями 4, установленными на его торцевых поверхностях. На цилиндрическую перфорированную поверхность каркаса 10 крепится фильтрующее полотно 9, на поверхности которого задерживаются частицы загрязнений из очищаемых сточных вод. К поверхности фильтрующего полотна 9 и расположенному на нем слою осажденных частиц загрязнений из сточных вод прижимается пружиной 5 гранулятор 8, установленный в направляющих 7. Гранулятор 8 выполнен в виде набора щеток и предназначен для очистки поверхности фильтрующего полотна 9 от осажденных частиц загрязнений. Частицы загрязнений осаждаются на дне емкости 2 и скребковым транспортером 11 удаляются в емкость 6. Очищенные сточные воды А выводятся из фильтра через патрубков 3, связанный с трубой 1.

С целью повышения степени очистки производственных сточных вод от взвешенных твердых частиц (механических примесей) разработана конструкция автоматического механического фильтра (рис. 2) [4], отличающегося удобством эксплуатации

(рис. 2). Фильтр содержит внешнюю ванну 1 для сбора загрязненных сточных вод Б, установленную в ней внутреннюю ванну 10 для сбора очищенных сточных вод А, смонтированный в ванне 10 с возможностью вращения цепной передачей 5 барабан 7 без торцевых стенок, цилиндрическая перфорированная поверхность которого покрыта фильтрующим материалом 9, трубопровод 6 промывочного устройства, приемный лоток 3 для задержанных частиц загрязнений, установленный выше уровня загрязненных сточных вод Б в ванне 1, привод 4, насос 8 отвода очищенных сточных вод А из ванны 10.

Сточные воды Б поступают на очистку в барабан 7 через отверстия В в стенке ванны 10, проходят через его цилиндрическую перфорированную поверхность, покрытую фильтрующим материалом 9, поступают в ванну 10 и оттуда откачиваются насосом 8. Задержанные из сточных вод Б механические примеси (механические частицы) гибкими транспортными ребрами 2, закрепленными равномерно по окружности внутри барабана 7 вдоль образующихся по всей его длине, перемещаются в лоток 3 и смываются из него с помощью трубопровода 6 в ванну 1. Этим обеспечивается непрерывная работа фильтра в течение длительного времени.

Фирма Hydac Fluidtechnik GmbH (Германия) изготавливает встраиваемые в трубопроводы механические фильтры марки DF/DF1500, рассчитанные на сравнительно высокое давление сточных вод и расход до 1000 л/мин [5]. Фильтры удобны в эксплуатации и имеют большой ресурс работы.

Повышенной грязеемкостью с одновременным снижением материалоемкости отличается самопромывающийся напорный механический фильтр (рис. 3) [6] для загрязненных сточных вод. Фильтр содержит вертикальный цилиндрический корпус 4 с подводным 10 и отводящим 15 патрубками; центральный дренаж, представляющий собой набор гибких фильтрующих дренажных труб 11, уложенных и закрепленных вдоль наружной поверхности трубы 12, соосной с корпусом 4 и служащей для размещения в ней вала 3, согласующего вращение верхнего 7 и нижнего 16 распределителей; периферийный дренаж, представляющий собой набор гибких фильтрующих дренажных труб 5, уложенных и закрепленных на внутренней цилиндрической поверхности корпуса 4 так, что они представляют собой многозаходную цилиндрическую спираль; пространство между центральным и периферийным дренажами, ограниченное торцевыми крышками 8, 17, заполненное зернистой фильтрующей загрузкой 13, например кварцевым песком. Угол наклона витков многозаходной цилиндрической

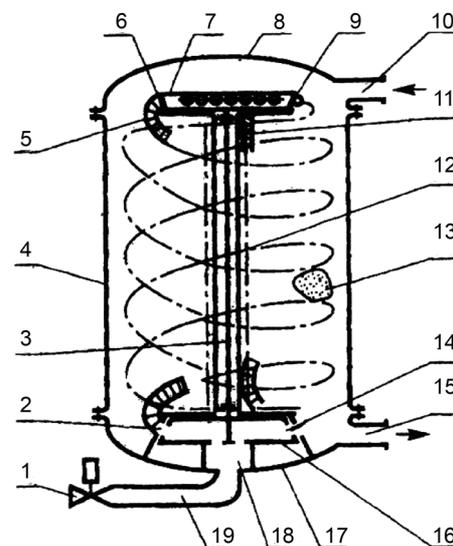


Рис. 3. Самопромывающийся напорный механический фильтр для очистки сточных вод

спирали в периферийном дренаже выполнен таким, чтобы между соседними трубами 5 оставался малый зазор.

На участках перехода от периферии к распределителям 7, 16 трубы 5 уложены почти в радиальном положении. Посредством штуцеров трубы 5, 11 верхними концами подключены к распределителю 7, а нижними — к распределителю 16. За счет спиральной укладки дренажных труб 5 на частицы механических примесей, находящихся в очищаемых сточных водах, действуют центробежные силы, что способствует предварительному отделению крупных взвешенных частиц и накоплению их на стенках труб 5. Для обеспечения симметрии количество дренажных труб 5 и 11 выполняется четным, тогда зоны фильтрации образуют диаметрально противоположные пары.

Верхний 7 и нижний 16 распределители представляют собой золотниковые устройства вращательного типа, на рабочей поверхности которых имеется набор равномерно расположенных по окружности отверстий по числу подключенных фильтрующих дренажных труб 5 и 11. По рабочей поверхности верхнего распределителя 7 скользит золотник, перекрывающий два диаметрально противоположных отверстия 6 и 9, прекращая подвод в них загрязненных сточных вод. По рабочей поверхности нижнего распределителя 16 скользит золотник, перекрывающий все отверстия, за исключением двух диаметрально противоположных отверстий 2, 14, связанных с парой отверстий 6 и 9 дренажными трубами 5 и 11, отключенными от процесса фильт-



рации верхним распределителем 7. В процессе промывки полость нижнего распределителя 16 посредством промывочного клапана 1 и трубопровода 19 связана с областью пониженного давления, что создает условия обратного тока очищенных сточных вод в слое зернистой фильтрующей загрузки 13, непосредственно прилегающей к отключенным фильтрующим дренажным трубам. Между промывочным клапаном 1 и полостью нижнего распределителя 16 установлено устройство 18 для преобразования энергии потока вытекающих промывочных сточных вод в механическую энергию вращательного типа, используемую для привода распределителей 7, 16, что делает самопромывающийся механический фильтр энергонезависимым при промывке. В противном случае в режиме промывки необходим источник механической энергии вращательного типа для привода распределителей 7 и 16, который может быть установлен внутри или снаружи корпуса 4 фильтра.

Удобна в эксплуатации фильтрационная установка [7], которая включает батарейные гидроциклоны (силовые фильтры) с подачей производственных сточных вод на очистку через напорные трубчатые распределительные кольца. Гидроциклоны снабжены цилиндрическими камерами верхнего и нижнего сливов, имеют напорные трубчатые кольца для равномерного сбора воды. Устройство включает также отстойник, разделенный перегородками на рабочую и буферную секции. Нижняя часть отстойника по центру снабжена устройствами для удаления осадка. Пространство между вертикальными перегородками снабжено крупнозернистой гидрофобной фильтрующей загрузкой. Рабочая секция отстойника имеет трубчатые дырчатые коллекторы-распределители нижнего и верхнего сливов гидроциклонов, размещенные соответственно друг над другом. Буферная секция отстойника снабжена трубчатым дугообразным равноплечим дырчатым коллектором и дугообразным отбойником для равномерного сбора очищенных сточных вод.

Силовой фильтр инерционного типа (рис. 4) [8], предназначенный для очистки сточных вод от твердых частиц, например окалины, ржавчины и т. п.,

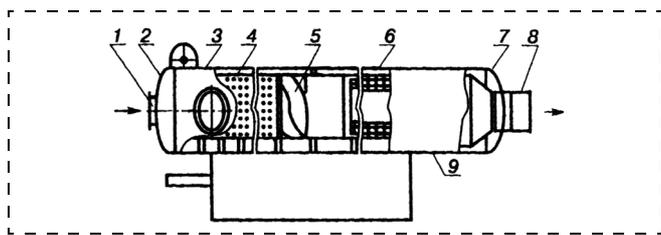


Рис. 4. Силовой фильтр инерционного типа для очистки сточных вод

содержит цилиндрический корпус 3 с передней крышкой 2, в которой имеется входной патрубок 1, и задней крышкой 7 с выходным патрубком 8. Внутри корпуса 3 расположен фильтрующий элемент, состоящий из перфорированной трубы 4 с прикрепленными к ней лопатками 5 для закручивания потока очищаемых сточных вод и набором коаксиальных оболочек вращения, снабженных успокоителями 6, образующих осадительную секцию с периодически открывающимся окном для вывода осажденных частиц загрязнений вместе с частью очищаемых сточных вод в емкость 9, объем и длина которой выбраны из условия осаждения успокоителями 6 частиц загрязнений заданной крупности. Успокоители 6 расположены по поверхности коаксиальных оболочек в виде винтовой линии с постоянным или затухающим шагом, причем площадь проходного сечения, образованная между коаксиальными оболочками с успокоителями 6, равна или больше площади поперечного сечения входного патрубка 1. Фильтр удобен в эксплуатации и позволяет легко вынуть фильтрующий элемент, установленный на подвижных направляющих, из корпуса 3 для очистки после снятия передней крышки 2.

Одним из эффективных методов глубокой очистки сточных вод является озонирование. Эффективность озонирования определяется качественным и количественным составом взаимодействующих с озоном компонентов и скоростью окисления. Скорость и глубина окисления органических веществ зависят от рН (рН-водородный показатель, характеризующий реакции раствора: кислотную, нейтральную, щелочную), концентрации озона в газе, от его дозы и длительности обработки сточных вод.

Под действием озона ионы тяжелых металлов, содержащиеся в очищенных сточных водах, окисляются с выделением кислорода. Однако высокий расход электроэнергии, необходимой для получения озона, сдерживает его широкое применение. Снизить количество озона, требующегося для окисления загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах, можно, используя катализаторы, применяющиеся в технологических процессах органического синтеза. Так, методом озонирования удается полностью осадить соли тяжелых металлов. Поэтому, совмещая очистку сточных вод, в которых содержатся соли тяжелых металлов, например, сточные воды гальванического производства, с очисткой сточных вод, содержащих органические ингредиенты, можно значительно снизить расход озона, а, следовательно, уменьшить расход электроэнергии [9].

Для интенсификации *метода щелочного осаждения* ионов тяжелых металлов из сточных вод гальванических цехов применяется эффективная технология озонирования [10]. Введение озона в обрабатываемые сточные воды в щелочной среде инициирует ряд цепных реакций. При наличии в гальваническом стоке ионов меди, никеля и др. возможно их выделение в форме малорастворимых оксидов. Присутствие ионов с переменной валентностью существенно интенсифицирует процесс деструкции органических веществ под действием озона. Применение разработанной технологии при очистке сточной воды гальванического производства позволяет повысить надежность удаления ионов тяжелых металлов до требуемых значений, а также увеличить степень очистки сточных вод от органических загрязнений, при этом объем образующегося металлосодержащего осадка уменьшается более чем в 1,6 раза, а влажность его снижается. Осадок, содержащий тяжелые металлы в оксидной форме, в отличие от гидрооксидного осадка, лучше уплотняется, имеет меньшее удельное сопротивление фильтрации и удобен в утилизации.

*Сорбционные* (адсорбционный и абсорбционный) методы очистки сточных вод применяются как "финишная" операция после механической очистки. Наиболее универсальные сорбционные методы — это фильтрование сточных вод через слой гранулированного активированного угля или введение в воды порошкообразного угля [11]. Из неуглеродных применяются сорбенты естественного и искусственного происхождения (глинистые породы, цеолиты, фосфаты циркония, титана, хрома, тория, сурьмы и др.). Для очистки сточных вод используются иониты, получаемые методами сополимеризации и сополиконденсации органических мономеров ионного типа.

Наиболее распространенными загрязнителями водных экосистем в настоящее время являются нефть и продукты ее переработки (бензин, керосин, мазут, масла, асфальтены и др.), которые, попадая в водоемы, изменяют их состояние и качество вод. Это связано, прежде всего, с возрастанием объема технологических потерь нефти, обусловленных повышенной добычей, транспортировкой, переработкой и ее ненадлежащим хранением, а также широким применением нефтепродуктов в различных отраслях промышленности, в сельском хозяйстве и на транспорте.

ООО "НОРДРАГМЕТ" (Россия), ООО "ГеоЛайн-Групп" (Россия) и СП "EKONORDRAGMET" (Узбекистан) для эффективного удаления нефтепродуктов из производственных сточных вод выпускают сорбент СТРГ [12], который после применения по прямому назначению используется в производстве асфальтобетонных покрытий. Сорбент СТРГ, представляющий собой терморасщепленный графит, обладает развитой сорбционной поверхностью и гидрофобными свойствами.

Разработан метод получения гидроксипатита, являющегося одним из наиболее перспективных сорбентов [13], путем нейтрализации насыщенного раствора гидроксида кальция разбавленной ортофосфорной кислотой. Размеры наночастиц сорбента (примерно 3...5 нм) определялись с помощью туннельного микроскопа. С помощью гранулятора были получены гранулы сорбента размером 0,25—0,5 мм и пористостью порядка 80 %. На лабораторной установке была показана возможность удаления до 97 % мазута из водной суспензии. Данный сорбент для очистки сточных вод, в том числе нефтесодержащих, существенно дешевле зарубежных аналогов, например, синтетических цеолитов, и что особенно важно не загрязняет окружающую среду.

Исследования показали, что осадок очистки воды от железа способен эффективно извлекать нефтепродукты из сточных вод [14]. Однако применение порошкообразного материала неудобно, в связи с этим на основе данного осадка создан гель-адсорбент на пористой матрице. Применение созданного геля-адсорбента, предварительно обработанного при помощи ультразвука, прокаливанием при температуре 250 °С и добавлением 10 %-ного глицерина, для очистки нефтесодержащих сточных вод приводит к увеличению сорбционных свойств получаемого геля-адсорбента.

*Биологические методы очистки* производственных сточных вод основаны на способности микроорганизмов использовать в качестве питательного субстрата многие органические и некоторые неорганические соединения, содержащиеся в сточных водах.

К достоинствам биологических методов следует отнести возможность извлекать из сточных вод разнообразные соединения (в том числе и токсичные), простоту аппаратного оформления, относительно невысокие эксплуатационные расходы и приемлемый уровень требований к квалификации обслуживающего персонала. К недостаткам следует отнести высокие капитальные затраты, необходимость строгого соблюдения технологического режима очистки, необходимость разбавления сточных вод в случае высокой концентрации примесей, токсичное действие на микроорганизмы некоторых органических и неорганических соединений.



Биофильтр фирмы Munters Euroform GmbH (Германия) [15], предназначенный для эффективной очистки сточных вод различного происхождения, снабжен системой орошения и загрузочной структурой. Особенность конструкции биофильтра состоит в том, что в загрузочной структуре слой со сплошным слоем загрузки, например, в виде дробленого шлака, чередуются с разделительными объемами, что обеспечивает равномерность потока очищаемых сточных вод во всем сечении слоев со сплошной засыпкой. Биофильтр имеет прямоугольный корпус, в котором все зоны разделены перфорированными горизонтальными перегородками. Разделительные зоны снабжены наклонными перфорированными пористыми пластинами, находящимися на определенном расстоянии друг от друга. Они разделяют соседние засыпные зоны и одновременно служат для фиксации биомассы.

Удаление токсичных ионов тяжелых металлов при биологической обработке сточных вод является важной задачей обеспечения высокого качества вод, соответствующего требованиям государственных стандартов для их последующего использования в водоснабжении. Для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов могут быть использованы внеклеточные биополимеры, экстрагируемые из бактерий активного ила сооружений биологической очистки [16].

Выделяемые бактериями активного ила полимеры представляют собой природные флокулянты, с помощью которых проводится комплексирование ионов металлов, осаждение полученных металлических комплексов и их вывод из очистных сооружений. Экстрагирование тяжелых металлов внеклеточными биополимерами может осуществляться как в отсутствие бактериальных клеток, так и при их наличии в обрабатываемой среде. Исследованиями последних лет установлено, что интенсификация процессов выделения полимеров из бактериальных клеток может проводиться за счет различных по своей природе воздействий (механических, тепловых, химических) на клеточную массу полимерформирующих бактерий. Полимерные материалы, экстрагируемые из активного ила, связываются со свободными ионами металлов, образуя хорошо осаждающиеся комплексы типа флокулов.

Таким образом, очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью внеклеточных биополимеров делает возможным решение важной проблемы обеспечения экологического благополучия окружающей среды от токсичных металлов.

Требования к защите водных объектов от загрязнения производственными сточными водами посто-

янно растут. В связи с этим необходимо целенаправленно разрабатывать и внедрять более совершенное оборудование для очистки и обезвреживания сточных вод, сбрасываемых промышленными предприятиями в водоемы и на рельеф местности.

#### Список литературы

1. **Буренин В. В.** Очистка производственных сточных вод от взвешенных частиц и других вредных примесей // Безопасность жизнедеятельности. — 2007. — № 3. — С. 14–21.
2. **Пат. 7144500 США.** МПК В 01D 35/16. Способ и устройство для механической очистки сточных вод. Оpubл. 5.12.2006.
3. **Пат. 2194608 Россия.** МПК В 01D 25/26. Барабанный вакуумный фильтр / В. А. Капустин, В. В. Талдыкин. Оpubл. 20.08.2002 // БЮЛ. № 25.
4. **Пат. 2180258 Россия.** МПК В 01D 3/6. Автоматический фильтр для очистки жидкостей / А. А. Никольский, Б. В. Климов, А. Л. Слоним. Оpubл. 10.03.2002 // Бюл. № 7.
5. **Kann zwei Filter ersetzen** // AGT. — 2005. — № 4. — P. 32.
6. **Пат. 2181614 Россия.** МПК В 01D 35/12. Самопромывающийся напорный фильтр / Г. В. Корневский. Оpubл. 27.04.02 // Бюл. № 12.
7. **Пат. 2253623 Россия.** МПК С 02F 1/40. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод / А. Б. Адельшин, Н. И. Потехин, А. А. Адельшин. Оpubл. 10.06.05.
8. **Пат. 2263531 Россия.** МПК С 02F 35/02. Фильтр проточный для очистки жидкостей от механических примесей / И. Ю. Хасанов, Ю. А. Черных, Р. З. Нагаев. Оpubл. 08.10.03 // Бюл. № 30.
9. **Зиятдинов Р. Н., Савельев С. Н., Фридланд С. В.** Интенсификация процесса окисления озоном загрязняющих веществ в воде // Экология и промышленность России. — 2007. — Февраль. — С. 10–11.
10. **Алексеев С. Е.** Интенсификация технологии очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов // Сб. научных трудов "Строительство — формирование среды жизнедеятельности: 10 Юбилейная международная межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых, докторантов и аспирантов", Москва, 25–26 апреля, 2007. — М.: МГСУ, 2007. — С. 172.
11. **Сорбционные методы в процессах очистки воды** // Водочистка. — 2005. — № 6. — С. 3–7.
12. **Абдуллаев Х. Н., Каримова А. М., Балыева И. В.** и др. Очистка сточных вод от нефтепродуктов с использованием сорбента СТРГ // Сб. докладов "5 Международный конгресс по управлению отходами и природоохранными технологиями", Москва, 29 мая — 1 июня 2007. — М.: СИ-БИКО. Инт., 2007. С. 409–410.
13. **Укаебу И. А.** Поглощение нефти и нефтепродуктов путем адсорбции на развитых поверхностях наночастиц // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов на 13 Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 1–2 марта, 2007. — М.: МЭИ, 2007. — С. 65–66.
14. **Погадаева Н. И., Фуфаева М. С., Сироткина Е. Е.** Гель-адсорбенты для очистки сточных вод от нефти // 4 Всероссийская научно-практическая конференция "Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа", Томск, 8–12 октября, 2007: материалы конференции. — Томск: ИОА СО РАН, 2007. — С. 160–164.
15. **Заявка на пат. 102004030366 Германия.** МПК С02F3/28. Конструкция орошаемого биофильтра для очистки сточных вод. Оpubл. 19.01.06.
16. **Денисов А. А., Жуйкова Л. И.** Очистка сточных вод от тяжелых металлов с помощью внеклеточных биополимеров // Экология и промышленность России. — 2007. — Август. — С. 42–44.



УДК 621.791.947.55 + 676.1.022:66

**Л. Н. Григорьев**, д-р техн. наук, проф.,  
Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия  
E-mail: grig.lev@mail.ru

## Критериальная оценка и выбор наилучшей доступной экологической технологии

*Рассмотрен технологический критерий для сравнительной оценки способов сокращения выхода загрязняющих веществ в окружающую среду; показана возможность его применения на примере выбора способов снижения выбросов в атмосферу от машин тепловой резки металлов и содорегенерационных котлоагрегатов.*

**Ключевые слова:** технология, эффективность, затраты энергии, энергосбережение, природоохранные мероприятия.

**Crigoriev L. N. Criteria assessment and decision of the optimal available ecological technology**

*There is recently introduced technological criteria for comparative assessment ways of air pollution to environment reduction; possibility of it implementation based on the some particular methods of air emission reduction from plasma act cutting machines and sodoregenerating boiler.*

**Keywords:** technology, efficiency, power resources, power saving, environmental protection.

В соответствии с Директивой 96/61/ЕС "О комплексном предотвращении и контроле загрязнений" государства — члены ЕС обеспечивают регулирование промышленной деятельности посредством разрешительной процедуры, основанной на технологических нормативах с использованием концепции "наилучших доступных технологий" (НДТ). Целесообразность перехода к технологическому нормированию с учетом тенденции сближения российского законодательства с нормами международного права отмечена в Протоколе заседания Совета Безопасности Российской Федерации от 30 января 2008 г. В связи с отмеченным возникает необходимость систематизации информации о существующих и разрабатываемых технологиях в различных областях их применения, включая все составляющие процессы, в том числе и природоохранные, с целью выявления НДТ. Поскольку выбор НДТ предполагает рассмотрение нескольких технологий, представляется целесообразным применение критериального подхода с целью получения более объективного результата.

При решении вопросов охраны окружающей среды существенное место отводится охране атмосферного воздуха. Известные источники выбросов в атмосферу характеризуются объемом, температурой, составом, концентрацией загрязняющих веществ (ЗВ) и другими показателями. Во многих случаях для очистки выбросов от одного источника предлагается несколько технологий.

Оценка их обычно проводится путем сравнения показателей приведенных затрат, для расчета которых необходимо достаточно большое количество конкретных данных вследствие чего подготовка и сам расчет существенно усложняются. При оценке разрабатываемых (новых) технологий этот метод может быть реализован только после получения надежных результатов исследований и испытаний в масштабе пилотных, опытных и опытно-промышленных установок. Кроме того, по показателю приведенных затрат трудно судить об уровне совершенства конкретной технологии, так как этот показатель является зависимым от расположения предприятия, на котором реализуется технология, относительно производителей сырьевых материалов, источников природных и энергетических ресурсов.

В связи с отмеченным встает задача разработки критерия, позволяющего выбрать способ очистки выбросов от конкретного источника на первоначальной стадии решения вопроса, не прибегая к сравнительно трудоемким экспериментам. При этом такой критерий рассматривается как дополнительный, оперативный и не исключает оценки способа по общепринятому показателю приведенных затрат.

Совершенство энергетических процессов оценивается в настоящее время путем составления и анализа эксергетических балансов. Эксергетический метод рекомендуется и для анализа химико-технологических систем [1]. Критерием качества процесса при этом является эксергетический КПД

$$\eta = \Sigma E_{\text{ВЫХ}} / \Sigma E_{\text{ВХ}}, \quad (1)$$

где  $\Sigma E_{\text{ВЫХ}}$  и  $\Sigma E_{\text{ВХ}}$  — общие величины эксергии, выводимой из системы и вводимой в нее.

Применительно к выбросам (сбросам) ЗВ из химико-технологической системы в атмосферу (вод-



ные объекты) эксергия может быть определена из следующего соотношения [2]:

$$E_{\text{вых}} = \int_{P, T_{\text{oc}}}^{P, T} TdT + T_{\text{oc}} \int_{P_{\text{oc}}, T_{\text{oc}}}^{P, T_{\text{oc}}} VdP/T + \Sigma C_i R T_{\text{oc}} \ln(C_i/C_{i\text{oc}}) + \Sigma C_i E_{pi}(T_i), \quad (2)$$

где  $P$  и  $T$ ,  $P_{\text{oc}}$  и  $T_{\text{oc}}$  — давление и температура в системе и окружающей среде;  $V$  — объем системы;  $C_i$  и  $C_{i\text{oc}}$  — концентрация  $i$ -го ЗВ в системе и окружающей среде;  $R$  — газовая постоянная;  $E_{pi}$  — реакционная эксергия;  $T_i$  — эксергетическая температура;  $T_i = (T - T_{\text{oc}})/T$ .

Первые два слагаемые соотношения (2) характеризуют термомеханическую составляющую эксергии выбросов ЗВ в атмосферу (сбросов их в водные объекты), третье слагаемое — концентрационную составляющую эксергии ( $E_k$ ) и четвертое — реакционную составляющую эксергии ( $E_{pi}$ ). Термомеханическая эксергия представляет энергию механического (гидродинамического) движения и взаимодействия материалов, потоков и веществ, содержащихся в них. Она обусловлена различием термодинамических и механических параметров вещества в материале, фазовом потоке и в окружающей среде. Концентрационная эксергия обусловлена выполнением работы по снижению концентрации ЗВ до требуемого значения. Химическая (реакционная) эксергия связана с изменением концентрации ЗВ вследствие протекания химического взаимодействия и обусловлена изменением термодинамических показателей химической реакции.

Из соотношения (2) нетрудно видеть, что при  $P \approx \text{const}$ ,  $T \approx T_{\text{oc}}$  и низкой концентрации ЗВ в выбросах  $E_{\text{вых}} \approx 0$ . Этот случай является характерным для систем санитарной очистки выбросов в атмосферу и очистки сточных вод, в частности, систем, в которых реализуются абсорбционный и адсорбционный методы. Для таких систем не представляется возможным оценить совершенство того или иного способа, используя эксергетический метод (на современной стадии его разработки). При этом, даже при наличии существенной разницы в значениях  $T$  и  $T_{\text{oc}}$  (что характерно для термических способов обезвреживания) нет возможности должным образом оценить этим методом совершенство конкретного способа в физико-химическом отношении вследствие малых абсолютных значений  $E_k$  и  $E_p$ .

Кроме того, при использовании эксергетического метода нет возможности оценить влияние на величину  $\eta$  концентраций сопутствующих веществ, выделяемых из выбросов и сбросов, наряду с основным ЗВ. При этом не ясно влияние на величину  $\eta$  концентраций других ЗВ, не очищаемых рассматриваемым способом и выбрасываемых в атмосфе-

ру или сбрасываемых со сточными водами (учитывая, что концентрация таких ЗВ также обычно не высока). Применительно к санитарной очистке выбросов и сбросов возникают также неопределенности при расчете реакционной эксергии, обусловленные выбором для рассматриваемого ЗВ вещества отсчета. В качестве такого вещества в эксергетическом анализе принимается вещество, характерное для природы, и является стабильным по отношению к ней. Для вещества отсчета эксергия принимается равной нулю и его энергетическое и материальное качество в системе не учитывается.

В работе [3] для оценки совершенства способа очистки природного газа предлагается использовать энергетический метод, позволяющий оценить соотношение между фактическими затратами энергии в рассматриваемой системе  $E_{\text{ф}}$  и минимально необходимыми затратами  $E_{\text{мин}}$ , которое называется коэффициентом энергоемкости процесса:

$$\text{КЭП} = E_{\text{ф}}/E_{\text{мин}}, \quad (3)$$

где  $E_{\text{мин}}$  — разность отводимой и подводимой в систему энергий;  $E_{\text{ф}}$  — сумма отводимой и подводимой в систему энергий.

В выражении (3) величина  $E_{\text{мин}}$  включает в себя затраты энергии, связанные только с получением товарного продукта из веществ, выделяемых из природного газа. Все остальные затраты энергии (включая и  $E_{\text{мин}}$ ) составляют фактические затраты; величина  $E_{\text{ф}}$  включает в себя энергию сырьевых материалов, поступающих в систему, и веществ, выводимых из нее, а также затраты на подогрев (охлаждение) потоков, их транспортировку и т. д. Следует отметить, что энергия материалов и веществ рассчитывается исходя из величин теплот их образования.

По мнению автора, применение показателя КЭП может быть распространено не только на системы технологической очистки газов, но и на любые химико-технологические системы (ХТС). Однако для сравнительной оценки способов санитарной очистки (обезвреживания) выбросов показатель КЭП так же, как и  $\eta$ , требует совершенствования.

Для оценки систем очистки и обезвреживания выбросов, а также условий их сокращения технологическими способами представляется целесообразным использовать критерий, включающий в себя элементы энергетического и эксергетического методов. Основанием для этого является то, что анализ системы, для которой предусматривается сокращение выбросов, включает в себя анализ не только типовых процессов технологии, но и анализ соответствия состава очищенных (обезвреженных) выбросов составу атмосферного воздуха. Такой критерий — показатель экологичности технологии ПЭТ — может

иметь вид, аналогичный соотношению (3), но отличающийся составляющими для  $E_{\phi}$  и  $E_{\min}$ , т. е.

$$\text{ПЭТ} = E'_{\phi} / E'_{\min}. \quad (4)$$

К минимальным в соотношении (3) относятся энергетические затраты, необходимые для выполнения работы  $A_1$  по снижению концентрации целевого ЗВ от начального значения  $C_0$  до величины, определяемой нормативными требованиями (норматив ПДВ) для заданного источника выбросов ( $C_{\text{доп}}$ ):

$$A_1 = C_0 RT \ln(C_0 / C_{\text{доп}}). \quad (5)$$

Нетрудно видеть, что величина  $A_1$  соответствует значению концентрационной эксергии, в которой концентрация ЗВ в атмосферном воздухе заменена на  $C_{\text{доп}}$ .

Кроме того, к минимальным затратам энергии следует отнести энергию  $A_2$ , затрачиваемую на проведение физико-химического превращения ЗВ (в газовой, жидкой или твердой фазах). При этом представляется целесообразным оценивать эти затраты в первом приближении величиной свободной энергии Гиббса ( $\Delta G_p$ ) с учетом фазового и химического (молекула, ион) состояния ЗВ. Величина  $\Delta G_p$  косвенно связана с реакционной эксергией, отличаясь веществом отсчета, которое в данном случае учитывает реальные особенности анализируемой технологии сокращения выбросов в сочетании с установленными санитарно-гигиеническими нормативами. Так, например, при абсорбционной очистке газов от диоксида серы, в зависимости от типа абсорбента и условий реализации продукта взаимодействия поглощенного диоксида серы с активным компонентом абсорбента, таким веществом отсчета при расчете эксергетического КПД могут быть несколько соединений: сульфат натрия (жидкий или твердый), карбонат или сульфат кальция (твердый), сульфат аммония (жидкий или твердый) и др. В этом отношении величина  $\Delta G_p$  является менее абстрактной по отношению к анализируемому процессу, чем реакционная эксергия.

Таким образом, для целевого ЗВ имеем:

$$E_{\min} = A_1 + A_2 = C_0 RT \ln(C_0 / C_{\text{доп}}) + \phi C_0 \Delta G_p + \phi C_0 \Delta G_{\phi}, \quad (6)$$

где  $\phi$  — эффективность извлечения ЗВ в долях вследствие химического взаимодействия и фазового перехода;  $\Delta G_{\phi}$  — свободная энергия фазового перехода.

В случае использования способа сокращения, предусматривающего извлечение из выбросов нескольких ЗВ, минимальные затраты суммируются.

Фактические затраты энергии включают в себя минимально необходимые затраты на удаление из выбросов в атмосферу целевого ЗВ, а также мини-

мальные затраты на сокращение в выбросах веществ, извлекаемых с соответствующей эффективностью  $\phi$  одновременно с целевым ЗВ ( $A_3$ ).

Кроме того, к фактическим затратам следует отнести и затраты, необходимые для приведения качества очищенных выбросов и образующихся вследствие очистки (сокращения) вторичных материалов (жидких, твердых) к нормативным требованиям ( $A_4$ ). При этом имеются в виду, прежде всего концентрации сопутствующих ЗВ, не извлекаемых из выбросов в заданных условиях выбранным способом или извлекаемых с недостаточной эффективностью, а также концентрации этих и образующихся на их основе веществ в других фазах.

В фактические затраты входят также минимальные затраты, обусловленные реализацией вспомогательных стадий процесса сокращения, таких, например, как регенерация не полностью использованных сырьевых веществ, конденсация и др. ( $A_5$ ). К фактическим относятся также и дополнительные затраты, включающие в себя расходы на транспортировку газовых, жидких и твердых потоков, энергию сырьевых материалов (веществ), образующихся продуктов и др.

Энергия сырья и продуктов приближенно может быть оценена по величине свободной энергии их образования  $\Delta G_m$ . Затраты энергии на транспортировку потоков газов ( $V_g$ ), жидкости ( $V_j$ ) и твердых материалов ( $V_t$ ) определяются в сопоставимых размерах по известным формулам [3, 4]. Энергия потоков или составляющих их компонентов, выводимых из системы сокращения выбросов с целью полезного использования ( $E_p$ ), исключается из фактических затрат, что обуславливает и снижение величины ПЭТ, стимулируя, тем самым, стремление к совершенствованию процесса в направлении максимального использования вторичных материалов.

Таким образом для фактических затрат имеем:

$$E_{\phi} = E_{\min} + A_3 + A_4 + A_5 + \Delta G_m + Q - E_p, \quad (7)$$

где  $A_3 = C_{\text{доп}} RT \ln(C_{\text{доп}} / \text{ПДК}_{\text{мр}})$ ;  $Q = V_g + V_j + V_t$ ;  $V_g = V \Delta P / \eta_1 \eta_2$ ;  $V_j = L \rho g H / \eta_1 \eta_2$ ;  $V_t = M_T \Delta P_T$ ; здесь  $V$  — расход потока газов;  $\Delta P$  — гидравлическое сопротивление газоочистного аппарата;  $\eta_1, \eta_2$  — коэффициенты полезного действия вентилятора (насоса) и двигателя;  $L$  — расход потока жидкости;  $\rho$  — плотность потока жидкости;  $g$  — ускорение свободного падения;  $H$  — требуемый напор насоса;  $M_T$  — массовый расход твердого материала (адсорбента, катализатора и др.);  $\Delta P_T$  — гидравлическое сопротивление слоя материала;  $\text{ПДК}_{\text{мр}}$  — максимально допустимая концентрация.

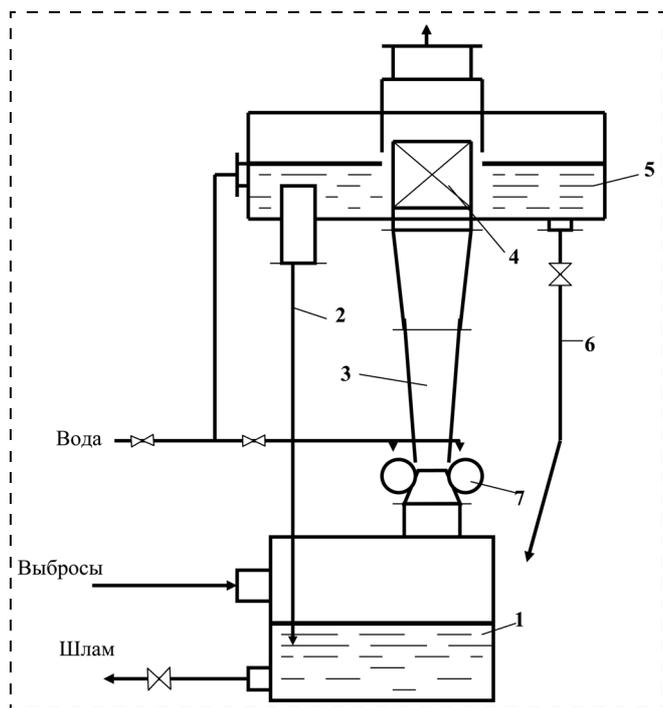


Рис. 1. Схема установки очистки выбросов от машины "Кристалл":

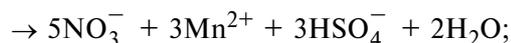
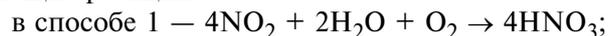
1 — бак-смеситель; 2 — циркуляционная линия; 3 — труба Вентури; 4 — каплеуловитель; 5 — бак-отстойник; 6 — шламопровод; 7 — коллекторы

Предлагаемый критерий ПЭТ был применен для сравнительной оценки способов сокращения содержания оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) в вентиляционных выбросах от плазменно-резательных машин "Кристалл" с учетом загрязненности выбросов плазменно-резательным аэрозолем. В качестве исходных данных использовались результаты испытаний опытно-промышленной газоочистной установки [5] и исследований [6]. Рассмотрены четыре способа: абсорбция  $\text{NO}_x$  водой; раствором калия перманганата; каталитическое дожигание в присутствии аммиака; включение в конструкцию плазмотрона устройства для создания водяной завесы, отсекающей плазму от окружающего воздуха.

Основным аппаратом установки (рис. 1) является классический скруббер Вентури, орошаемый водой. Производительность установки —  $14\,800\text{ м}^3/\text{ч}$ , удельный расход абсорбента —  $0,3\text{ л} \cdot \text{м}^{-3}$  газа, начальные концентрации ( $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ):  $C_{\text{NO}} = 15,5$ ;  $C_{\text{NO}_2} = 10,0$ ; концентрация аэрозоля —  $820,0\text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ . По химическому составу аэрозоль состоит из оксидов (%): железа — 93,0; кремния — 0,6; меди — 2,2; хрома — 0,2; марганца — 3,1; никеля — 0,1; алюминия — 0,8. Установка работает в циркуляционном режиме использования воды, для чего в схеме установки предусматривается отстаивание воды с выделением

шлама, химический состав которого аналогичен составу аэрозоля.

При расчете приняты следующие значения эффективности очистки  $\varphi$  выбросов от  $\text{NO}_x$ :  $\varphi_{\text{NO}} = 20\%$ ;  $\varphi_{\text{NO}_2} = 60\%$ . Эффективность очистки выбросов от аэрозоля — 95%. Гидравлическое сопротивление установки — 5000 Па, требуемый напор — 30 м вод. ст. При расчете реакционной энергии учитывали следующие реакции:



в способе 3 —  $6\text{NO} + 4\text{NH}_3 \rightarrow 5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$  (способ реализуется при  $T = 573\text{ К}$  на алюмованадиевом катализаторе).

При расчете  $E_{\text{мин}}$  учитывали затраты энергии по выражению (6) для диоксида азота и аэрозоля. Для аэрозоля определяли величину  $A_1$  и минимальный объем воды, необходимый для перевода твердого аэрозоля в жидкую фазу; этот объем был принят равным объему воды, подаваемой на восполнение ее потерь, обусловленных выводом из системы шлама (с учетом рециркуляции отстойной воды). Минимальные затраты энергии при улавливании аэрозоля составляют:  $E_{\text{мин}} = A_1 + \Delta G_{\text{ф}} + \Delta G_{\text{в}}$  (здесь  $\Delta G_{\text{в}}$  — свободная энергия выводимого из системы объема воды).  $E_{\text{мин}} = (0,021 + 0,047 + 0,86) = 0,928\text{ кДж} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

При оценке способа 1 (см. табл. 1) в фактические включены затраты, необходимые для снижения концентрации  $\text{NO}$  до  $11,9\text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$  при использовании этого же способа; допустимая для данного источника выбросов концентрация диоксида азота ( $4\text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) и аэрозоля ( $40,0\text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) обеспечивается при работе данной установки (допустимая концентрация  $\text{NO}$  составляет  $8,0\text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ).

Из данных табл. 1 следует, что наиболее целесообразным направлением сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ , образующихся при плазменной резке металлов, является совершенствование непосредственно тех-

Таблица 1  
Сравнительная оценка способов сокращения ЗВ

Способ	$E_{\text{мин}}$	$E_{\text{ф}}$	ПЭТ
	кДж · м <sup>-3</sup>		
1. Абсорбция водой	1,65	10,84	6,57
2. Абсорбция 0,5 %-ным раствором $\text{KMnO}_4$	0,18	3,23	17,94
3. Термокаталитический	0,200	204,600	1023,00
4. Плазмотрон с водяной завесой [5]	10,49	15,49	1,47

нологического процесса (способ 4). Однако этот способ, позволяя снизить остаточную концентрацию NO до  $6,0 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ , не обеспечивает в выбросах требуемую концентрацию аэрозоля, которая практически мало отличается от исходного значения для первого способа.

При анализе способа 1 выявлено, что существенные затраты энергии ( $4,99 \text{ кДж} \cdot \text{м}^{-3}$ ) при реализации приходится на преодоление гидравлического сопротивления системы; эти затраты могут быть снижены за счет замены классического (высоконапорного) скруббера Вентури на эжекционный скруббер Вентури ( $0,29 \text{ кДж} \cdot \text{м}^{-3}$ ) при сохранении циркуляции воды в системе. При этом показатель ПЭТ снижается с 6,57 до 3,71. Дальнейшее снижение величины ПЭТ может быть достигнуто при использовании шлама как товарного продукта (ПЭТ = 1,27). Однако данная технология не обеспечивает нормативное снижение выбросов монооксида азота.

Применение раствора  $\text{KMnO}_4$  для окисления NO в жидкой фазе до диоксида азота с образованием труднорастворимого диоксида марганца не позволяет достичь в очищенных выбросах требуемой остаточной концентрации аэрозоля. Это обусловлено необходимостью (с целью достижения необходимой степени очистки выбросов от NO) применения абсорбера с большим временем контакта в системе газ—жидкость, чем у скруббера Вентури; при этом эффективность улавливания аэрозоля существенно снижается, имеются трудности с переработкой образующихся продуктов.

Термокаталитический способ для рассматриваемых условий является явно несовершенным вследствие недостаточной рекуперации теплоты и повышенного расхода природного газа (в расчетах приняты: расход природного газа  $0,006 \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$  выбросов, степень рекуперации теплоты — 75 %) [7].

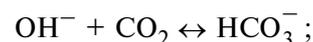
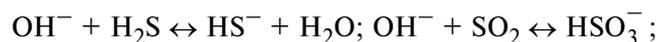
Из рассмотренных вариантов наилучшей технологией является технология, включающая способы 4 и 1. При этом обеспечиваются требуемые нормативные требования по качеству очистки выбросов от оксидов азота и аэрозоля. Показатель ПЭТ в этом случае составляет наименьшее значение — 1,36.

Одним из крупных источников загрязнения атмосферного воздуха сероводородом в целлюлозно-бумажной промышленности является содорегенерационный котлоагрегат (СРКА). Основным методом очистки выбросов от сероводорода является абсорбционный, реализуемый различными способами. Особенность выбросов заключается в том, что они содержат, кроме сероводорода, значительно большее количество диоксида углерода, что способствует снижению эффективности извлечения из выбросов сероводорода; присутствие в выбросах

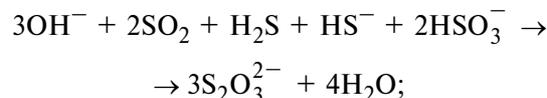
других ЗВ заметного влияния на эффективность извлечения сероводорода не оказывает и выбросы их обычно не превышают устанавливаемые нормативы ПДВ. Для очистки выбросов от СРКА предлагается и разрабатывается несколько способов [8]. Сравнительная оценка основных из них была также проведена с использованием показателя ПЭТ. Расчеты выполнялись для СРКА, имеющего производительность (по объему газов)  $200\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , температуру 393 К; концентрация сероводорода, диоксида серы, диоксида углерода, диоксида азота, монооксида азота составляла, соответственно 0,50; 2,00; 143,40; 0,04;  $0,15 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ . Температура очищенных газов — 333 К.

Для рассмотрения выбраны три абсорбционных способа очистки: щелочной, сульфит-сульфидный и щелочной в присутствии гомогенного катализатора дисульфоталлоцианина кобальта (абсорбционно-каталитический). Расчеты проведены с учетом химизма способа:

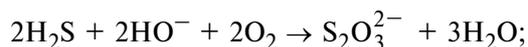
для щелочного



для сульфит-сульфидного



для абсорбционно-каталитического



Расчеты осуществлены при различных значениях эффективности очистки газов от сероводорода при условии, что принятое значение эффективности обеспечивает достижение нормативов на выброс сероводорода.

В качестве абсорбера при реализации щелочного и абсорбционно-каталитического способов принят эжекционный абсорбер Вентури; абсорбентом служил раствор каустика, удельный расход которого составлял  $0,3 \text{ л} \cdot \text{м}^{-3}$  газа. В сульфит-сульфидном способе для поглощения диоксида серы принят эжекционный абсорбер Вентури (1-я ступень очистки, абсорбент — раствор каустика), а для поглощения сероводорода — насадочный абсорбер (11-я ступень очистки, абсорбент — раствор сульфита-бисульфита). Отработанный абсорбент при реализации всех способов возвращался в цикл производства.

Эффективность очистки газов (%) от диоксида серы, диоксида азота, монооксида азота составляла соответственно 80, 30, 0. Результаты сравни-



Таблица 2

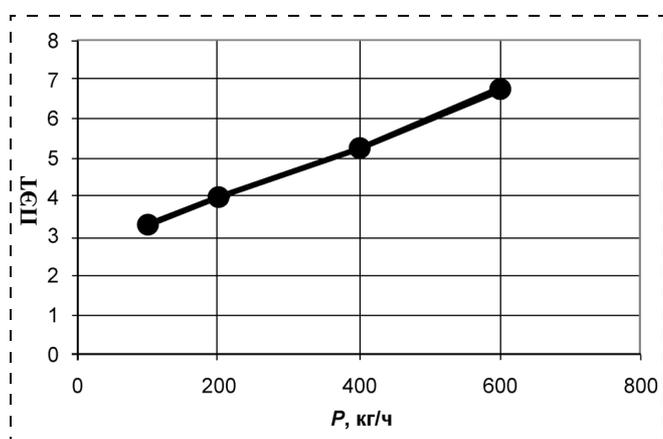
## Сравнительная оценка способов очистки выбросов

Способ очистки	Значение ПЭТ при эффективности очистки (в долях) от сероводорода (диоксида углерода)				
	0,70 (0,00)	0,90 (0,00)	0,90 (0,05)	0,90 (0,10)	0,90 (0,25)
Щелочной	4,10	4,67	15,60	77,52	173,37
Сульфит-сульфидный	1,83	2,28	3,78	5,27	9,76
Абсорбционно-каталитический	6,68	6,92	8,15	11,41	21,20

тельной оценки способов очистки газов приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что наиболее совершенным из рассмотренных способов является сульфит-сульфидный. Для практической реализации представляет интерес и абсорбционно-каталитический способ, уровень технологичности которого может быть повышен, например, путем использования более доступных и дешевых, менее токсичных и регенерируемых (утилизируемых) катализаторов.

Из данных табл. 2 следует, что наиболее совершенным из рассмотренных способов (с учетом избытка  $\text{CO}_2$  в газах) является сульфит-сульфидный. Абсорбционно-каталитический способ требует существенного совершенствования; уровень его технологичности может быть повышен, например, путем использования более доступных и дешевых, менее токсичных и регенерируемых (или утилизируемых) катализаторов. Данные табл. 2 свидетельствуют также, что сульфит-сульфидный способ менее чувствителен к содержанию в газах диоксида углерода.

Следует также отметить, что повышенные значения ПЭТ при реализации щелочного и абсорбционно-каталитического способов очистки во многом обусловлены применением в качестве абсорбента раствора каустика. Технически не трудно обеспе-

Рис. 2. Влияние расхода каустика  $P$  на величину ПЭТ

чить высокую эффективность очистки газов СРКА от сероводорода щелочным способом в присутствии избытка диоксида углерода. Однако при этом необходимо использовать достаточно большое количество ( $P$ ) каустика [9], что, как это видно из рис. 2, приводит к существенному превышению фактических затрат относительно минимально необходимых и значительному повышению показателя ПЭТ; все это позволяет характеризовать данный способ как технологически несовершенный.

Предлагаемый критерий ПЭТ позволяет выявить не только наиболее технологически удобный для конкретных условий способ очистки, но и определить основные направления его совершенствования. Он может быть использован также для сравнительной оценки газоочистного оборудования, при выборе способов и аппаратов в системах очистки сточных вод, утилизации отходов.

## Выводы

Предложен критерий для оценки уровня технологичности способов очистки и обезвреживания выбросов с использованием минимального объема информации. На примере выбросов, образующихся в технологии плазменной резки металлов и сжигании щелоков сульфатного производства, показана возможность использования критерия для решения практических задач, связанных с выбором наилучшей доступной технологии сокращения выбросов ЗВ с учетом конкретных условий.

## Список литературы

1. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств. — М.: Химия, 1982. — 288 с.
2. Бродянский В. М. Эксергетический метод и его применение / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 288 с.
3. Очистка газов от сернистых соединений при эксплуатации газовых месторождений / А. И. Гриценко, И. А. Галанин, Л. М. Зиновьева и др. — М.: Недра, 1985. — 270 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии / Под ред. Ю. М. Дытнерского. — М.: Химия, 1991. — 496 с.
5. Григорьев Л. Н. Сокращение выбросов оксидов азота при плазменной резке металлов / Л. Н. Григорьев, И. Д. Иванов, Л. М. Матвеева и др. // Технология судостроения. — 1990. — № 5. — С. 53–56.
6. Григорьев Л. Н. Утилизация отходов тепловой резки металлов в судостроении / Л. Н. Григорьев, Л. М. Исаинов, Г. П. Кучин, Л. М. Матвеева. — Л.: ЦНИИ "Румб", 1988. — 80 с.
7. Торопкина Г. И. Технично-экономические показатели промышленной очистки газовых выбросов от органических веществ / Г. И. Торопкина, Л. И. Калинкина // Обзорн. инф. — М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1983. — 30 с.
8. Братчиков Г. Г. Очистка газовых выбросов в целлюлозно-бумажной промышленности. — М.: Лесная промышленность, 1989. — 256 с.
9. Анискин С. В. Реконструкция установки для очистки дымовых газов // С. В. Анискин, В. А. Яковлев, Г. В. Телюкин // Бумажная промышленность. — 1989. — № 6. — С. 12, 13.

УДК 542.938.541.49

**Т. Ю. Гумеров**, канд. хим. наук, доц., **А. Ф. Добрынина**, канд. хим. наук, доц.,  
Казанский государственный технический университет  
E-mail: tt-timofei@mail.ru

## Особенности процессов флокуляции при очистке сточных вод, содержащих белково-липидные примеси

*Физико-химическими методами анализа и методом математического моделирования определен характер воздействия флокулянтов на белково-липидные примеси, рассчитаны константы устойчивости и определен вид образующихся комплексных соединений.*

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, удаление белковых и липидных примесей, титрование.

**Gumerov T. J., Dobryнина A. F. The features of processes flocculation in sewage treatment containing protein-lipoid impurities**

*Physical and chemical methods of analysis and method of mathematical modeling were used in determination of character of flocculent influence on protein-lipoid impurities and of the kind of forming complex connections and in calculation of constants of stability.*

**Keywords:** sewage treatment, removal of albuminous and fatty impurity, titration.

Сточные воды, являющиеся результатом деятельности предприятий мясной промышленности, содержат в своем составе значительное количество белково-липидных компонентов, нуждающихся в тщательной очистке [1]. Целью описываемого исследования является оптимизация процессов удаления белково-липидных примесей, содержащихся в сточных водах с использованием композиции коагулянтов и флокулянтов полиакриламидной природы.

### Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны дисперсные системы, являющиеся результатами деятельности мясоперерабатывающих производств (Казанский мясокомбинат — система I, Свияжский мясокомбинат — система II) [2]. Основные характеристики дисперсных систем приведены в табл. 1. Как видно из таблицы, почти все показатели данных систем превышают на порядок нормативные критерии.

В качестве флокулянтов применялись анионные сополимеры акриламида с акрилатом натрия, полученные щелочным гидролизом полиакрила-

мида [3]. Характеристики флокулянтов представлены в табл. 2. В качестве коагулянтов использованы соли Al (III) и Fe (III).

Значение характеристической вязкости растворов полимеров  $[\eta]$  определяли на вискозиметре Оствальда при разбавлении в дистиллированной воде при температуре  $t = 25^\circ\text{C}$ . Молекулярную массу анионного флокулянта  $M_\eta \cdot 10^{-6}$  рассчитывали из уравнения Марка — Куна — Хаувинка:

$$[\eta] = k M_\eta^\alpha,$$

Таблица 1

Основные характеристики дисперсных систем

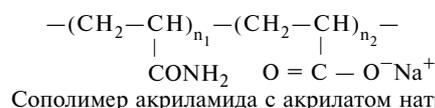
Система	pH	ХПК, мг/л	БПК <sub>5</sub> , мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	Жиры, мг/л	Белки, мг/л
I	6,5...7,0	2000	1770	800	800	234
II	6,5...7,0	1990	1520	100	374	155
Нормативные показатели*	6,5...8,5	265	177	186	10	0

\* СанПиН Концентрация вредных веществ в сточных водах. Постановление главы администрации г. Казани № 917 от 15.05.2000 г.

Таблица 2

Характеристика флокулянтов

Марка	$\eta$ , см <sup>3</sup> /г	$M_\eta \cdot 10^6$ , о.е.	Содержание ионогенных звеньев, % мол.
DKS	1970	12,6	19,8
Ps I	1880	4,9	30
Ps II	1800	4,5	20
Ps III	1600	4,5	28
Ps IV	1600	4,4	28
Ps V	1020	3,9	11
Ps VI	990	2,8	3



Сополимер акриламида с акрилатом натрия

Анионный флокулянт



где значения констант  $k$  и  $\alpha$  варьировали в зависимости от содержания звеньев Na—A в сополимере. Для анионных флокулянтов это содержание определяли методом потенциометрического титрования.

При исследовании применялись методы седиментационного анализа, спектроскопии, первичного хлопьеобразования, при определении белково-липидных примесей — методы Сокслета [4] и Кьельдаля [5]. Определение оптимальных концентраций флокулянтов проводилось на основе данных, полученных при сопоставлении перечисленных методов. Используя потенциометрическое титрование, определен состав соединений в системе, а с помощью математического моделирования рассчитаны значения констант равновесий [6]. Методами Сокслета и Кьельдаля установлено, что образцы обеих дисперсных систем (I, II) содержат повышенное количество белково-липидных примесей по сравнению с допустимым (нормативным) их содержанием в сточных водах (см. табл. 1).

## Обсуждение результатов

Одним из наиболее эффективных реагентных способов интенсификации процесса седиментации является применение флокулянтов полиакриламидной природы. С практической точки зрения для очистки сточных вод используют как флокулянты, так и композиции коагулянтов с флокулянтами в оптимальных соотношениях [7]. Авторами работ [8, 9] с использованием методов спектроскопии и седиментационного анализа исследованы процессы коагуляции и флокуляции для различных образцов дисперсных систем, содержащих примеси белково-липидного характера, отличающиеся количественным составом дисперсной фазы. Приведенные данные свидетельствуют о более эффективных процессах осветления и очистки сточных вод от примесей при введении в исследуемые системы оптимальных концентраций композиций коагулянтов с флокулянтами в сравнении с использованием отдельных коагулянтов. В работах [8, 9] отмечается

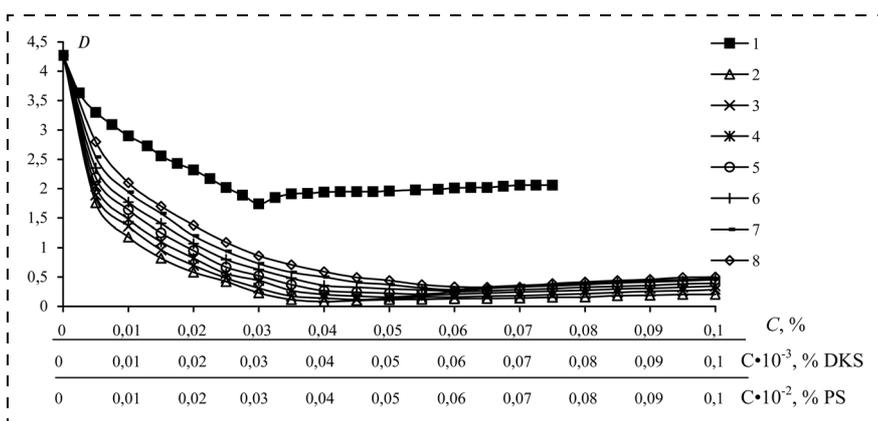


Рис. 1. Зависимость оптической плотности  $D$  от оптимальных концентраций реагентов: 1 — M —  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  0,03 %; 2 — M + DKS 0,000045 %; 3 — M + PS I 0,0005 %; 4 — M + PS II 0,0005 %; 5 — M + PS III 0,0006 %; 6 — M + PS IV 0,0006 %; 7 — M + PS V 0,0007 %; 8 — M + PS VI 0,00075 %

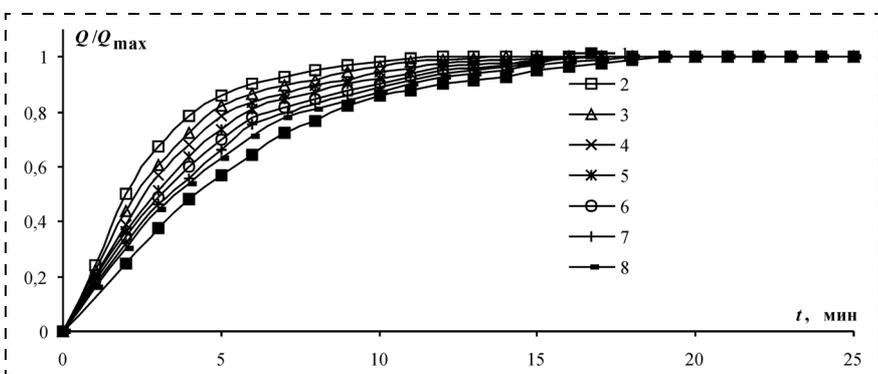
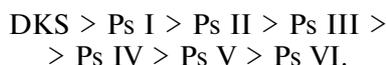


Рис. 2. Кривые седиментационного анализа образцов воды общего стока в координатах  $Q/Q_{\max}$  от  $t$  (где  $Q$  и  $Q_{\max}$  — соответственно текущее и максимально достигнутые значения веса осадков на чашечке торсионных весов,  $t$  — время экспозиции): 1—8 — то же, что на рис. 1

характерное снижение значений оптической плотности и скорости образования первичных хлопьев на стадии введения композиций коагулянтов с флокулянтами. На рис. 1 для системы I представлены кривые с характерными точками перегиба, которые отвечают оптимальным концентрациям реагентов. Добавление в исследуемые системы композиции коагулянтов с флокулянтами (см. рис. 1, кривые 2—8) приводит к заметному уменьшению значений оптической плотности. На рис. 2 представленные кинетические кривые седиментационного анализа свидетельствуют об увеличении скорости седиментации при вводе в систему оптимальных концентраций реагентов. Наибольшая скорость седиментации наблюдается при введении в системы композиций M + DKS (см. рис. 2, кривая 2). Полученный результат связан с высокой молекулярной массой используемой полимерной добавки DKS (см. табл. 2).

Совокупность физико-химических методов анализа (первичное хлопьеобразование, осветление, седиментация, спектроскопия) позволила установить ряды

эффективности действия композиций коагулянт — флокулянт.



Таким образом, эффективным действием обладает коагулянт в композиции со всеми подобранными флокулянтами, но наилучшей является композиция с флокулянтами DKS и PS I со значениями молекулярной массы  $12,6$  и  $4,9 \cdot 10^6$  соответственно.

Для подтверждения правильности выбора оптимальных концентраций были получены кривые потенциометрического титрования растворов коагулянтов в присутствии флокулянтов полиакриламидной природы (DKS, Ps I) в области  $\text{pH} = 3 \dots 12$ . С использованием программного продукта MINEQL<sup>+</sup> Version 3.0 (созданного на кафедре аналитической химии, стандартизации, менеджмента и качества КГТУ (КХТИ)) кривые потенциометрического титрования были преобразованы в кривые зависимости функции образования  $n_L = f(\text{pH})$ , где  $n_L = \frac{C_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}}}{C_{\text{соли}} V_{\text{соли}}}$  [10]. Создана математическая модель основных равновесных процессов в системе  $\text{M(III)}-\text{H}_2\text{O}-\text{OH}^-$ —флокулянт, которая позволила оценить значения констант равновесий, а также учесть наличие полиядерных и гетеролигандных соединений в системе [11] ( $\text{M(III)}$  — металл в степени окисления III, т. е.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

Путем совмещения экспериментальных и теоретических кривых титрования установлены области существования соединений в зависимости от  $\text{pH}$  раствора, исходных концентраций коагулянта и флокулянта (F). Оценены значения констант равновесия, показана важность учета полиядерных и гетеролигандных соединений при моделировании системы.

Было определено, что при молярной концентрации флокулянта меньшей, чем оптимальная концентрация, в области  $\text{pH} = 2,7 \dots 4,8$ , наблюдается разрушение полиядерных соединений коагулянта, что проявляется на преобразованных кривых потенциометрического титрования (КПТ) смещением в щелочную область (рис. 3). При увеличении концентрации флокулянтов КПТ сдвигаются в кислую область из-за образования новых полиядерных соединений с флокулянтом. Добавление флокулянтов (DKS, Ps I) в области  $\text{pH} = 4,5 \dots 12$  приводит к образованию осадка постоянного состава. Обра-

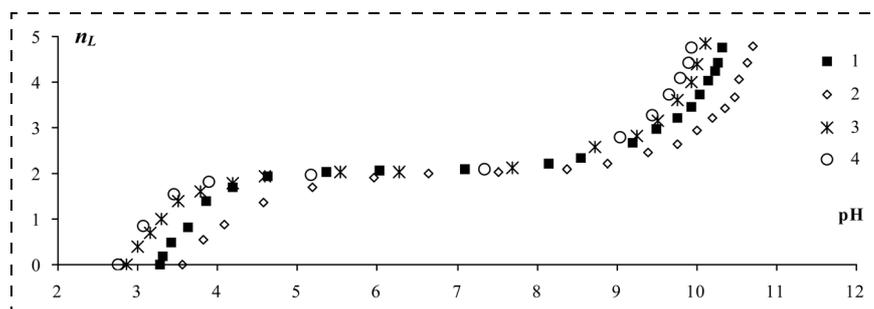


Рис. 3. Экспериментальные кривые потенциометрического титрования растворов флокулянтов стандартным раствором  $\text{NaOH}$  ( $0,05 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ ), преобразованные в координаты "функции образования  $n_L$  от величины  $\text{pH}$ :"

1 —  $\text{M} - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  0,03 %; 2 —  $\text{M} + \text{Ps I}$  0,00045 %; 3 —  $\text{M} + \text{Ps I}$  0,0045 %; 4 —  $\text{M} + \text{Ps I}$  0,045 %

ботка кривых потенциометрического титрования с применением метода математического моделирования [11] позволяет определять вид, количество и характер распределения образующихся комплексов. Математическое моделирование показало, что в кислой области  $\text{pH} = 2,7 \dots 4,8$ , флокулянт образует соединение  $\text{M}_{12}(\text{OH})_{24}\text{F}_{12}$  и  $\text{M}_{32}(\text{OH})_{64}\text{F}_{32}$ . Данный состав найден по виду кривых в области  $\text{pH} = 2,7 \dots 4,8$ . В результате исследования выявлено, что при концентрации флокулянта, меньшей, чем оптимальная, имеет место сдвиг КПТ в щелочную область. При концентрации флокулянта, равной оптимальной, происходит сдвиг КПТ в кислую область, а при концентрации флокулянта, выше оптимальной более чем в 2 раза, сдвига кривых не наблюдается. По-видимому, это объясняется образованием гетеролигандных соединений коагулянта со всеми соединениями флокулянта.

## Выводы

Изучено влияние композиций коагулянтов с флокулянтами на поведение сточных вод, содержащих белково-липидные примеси. Установлены ряды эффективности действия композиций коагулянтов с флокулянтами.

Методом седиментационного анализа и спектроскопии определены оптимальные концентрации композиций коагулянтов с флокулянтами.

Методом математического моделирования определена структура соединений, образующихся в рассматриваемой области  $\text{pH}$ .

## Список литературы

1. Gumerov T. J., Dobrynina A. F., Fajzullina G. G. Use of new technologies of sewage treatment of the industrial enterprises // Basic researches. — 2005. — № 8. — С. 56—57.
2. Гумеров Т. Ю., Добрынина А. Ф., Юсупов Р. А., Барабанов В. П. Процессы коагуляции в жир- и белоксодержащих



- системах // Журнал прикладной химии. — 2006. — Т. 79. — № 12. — С. 1958—1962.
3. **Черненко Ю. П., Зильберман Е. Н., Шварева Г. Н., Красавина Л. Б.** Получение флокулянта сополимеризацией N,N-диэтиламиноэтил-метакрилата с акрил- и метакриламидом // Журнал прикладной химии. — 1980. — Т. 53. — № 2. — С. 378—386.
  4. **Справочник по общей биохимии** / Под ред. Ю. Б. Филиппович. — М.: Просвещение, 1982. — 311 с.
  5. **Плешков Б. П.** Практикум по биохимии растений. — М.: Колос, 1968. — 105 с.
  6. **Гумеров Т. Ю., Файзуллина Г. Г., Добрынина А. Ф., Юсупов Р. А.** Особенности комплексообразования в системе  $Al(III)-H_2O-OH^- - Cl^-(SO_4^{2-})$ —флокулянт в присутствии жиродержащей дисперсной фазы // Химия и технология воды. — 2006. — Т. 28. — № 2. — С. 134—142.
  7. **Мягченков В. А., Проскурина В. Е., Малышева Ж. Н.** Эффект синергизма при седиментации суспензии охры в присутствии ионогенных полиакриламидных флокулянтов и электролита // Химия и технология воды. — 2000. — Т. 22. — № 5. — С. 462—471.
  8. **Гумеров Т. Ю.** Комплексообразование в процессах коагуляции и флокуляции белково-липидных коллоидных систем: Автореф. дисс. к. х. н. — Казань, 2006. — 18 с.
  9. **Пат. 2292310**, МПК, С 02 F1/56. Способ очистки сточных вод предприятий мясной промышленности (варианты) / Гумеров Т. Ю., Добрынина А. Ф., Барабанов В. П.; Казанский государственный технологический университет. — № 2005117089/15 (019487); Заявл. 03.06.2005; Оpubл. 26.06.2006.
  10. **Юсупов Р. А., Михайлов О. В.** О корреляции между константами устойчивости и константами растворимости гидроксидов металлов // Журн. неорганической химии. — 2002. — Т. 47. — № 7. — С. 1177—1179.
  11. **Юсупов Р. А.** Ионообменные процессы в металлосульфидных имплантатах: Дисс. д. х. н. — Казань, 2003. — 349 с.

УДК 621.039.58

**И. С. Макарова**, канд. биол. наук, Академия "МНЭПУ", г. Москва  
E-mail: makarova.cnp@mneru.ru

## Развитие подходов к обеспечению радиационной безопасности

*Описана эволюция проблемы радиационной безопасности. Выделено несколько этапов более чем столетней истории этой проблемы. Описаны вопросы радиационной защиты окружающей среды — антропоцентрический и экоцентрический подходы. Обсуждается современное состояние одного из принципиальных вопросов обеспечения радиационной защиты: достаточности соблюдения радиационной безопасности человека для гарантированного обеспечения радиационной защиты окружающей среды.*

**Ключевые слова:** радиационная безопасность, окружающая среда, антропоцентрический подход, экоцентрический принцип.

**Makarova I. S.** *The development of approaches for providing a radiation safety*

*The article deals with the evolution of the problem of radiation safety. The stages of more than one hundred years' history of this problem are pointed out. The questions of nuclear environmental safety are described: anthropocentric and ecocentric approaches. The emphasis laid on the current state of one of the most crucial issues: adequate observance of radiation protection standards to guarantee radiation safety of the environment.*

**Keywords:** radiation protection, environment, anthropocentric approach, ecological principle.

В современных условиях радиационная безопасность является краеугольным камнем дальнейшего развития ядерной энергетики и связанной с ней атомной промышленности, поскольку защита человека и окружающей среды от радиации будет определять, какое место займут эти области науки и промышленности в общем балансе источников энергии для удовлетворения всевозрастающих потребностей человечества.

С момента появления и затем использования ядерной энергии встал вопрос по обеспечению радиационной безопасности. В историческом аспекте выделяют четыре этапа развития радиационной безопасности [1]. На первом этапе, в первые десятилетия XX века, объектом радиационной защиты был узкий круг лиц, связанных с радиацией, как, например научные работники, рентгенологи, пациенты. На втором этапе, в начале второй половины XX века, этот контингент лиц расширился за счет работающих в атомной промышленности. Далее, в 50—60-х годах XX столетия, когда радиоактивное загрязнение планеты в результате атмосферных, наземных и подземных испытаний ядерного оружия приняло глобальные масштабы, проблема обеспечения радиационной безопасности стала актуальной для всего населения земного шара. На этом этапе стала очевидной важность информации о транспорте радионуклидов по трофическим цепочкам в окружающей среде и о поступлении радиоактивных ве-

ществ в организм человека через пищевые продукты и воду. Многочисленными экспериментами было доказано, что находящиеся в организме человека радионуклиды являются источниками внутреннего облучения, вносящими значительный вклад в суммарную дозовую нагрузку на человека. Наконец, на последнем, четвертом этапе, в 90-х годах прошлого столетия, проблема радиационной безопасности распространилась на защиту биотической компоненты природы: растительного и животного мира, а также экосистемы в целом.

До настоящего времени обеспечение радиационной безопасности окружающей среды базировалось на соблюдении антропоцентрического принципа, который кратко формулируется следующим образом: "Защищен человек — защищена природная среда". Этот подход к радиационной защите окружающей среды положен в основу всех современных международных рекомендаций по обеспечению радиационной безопасности, например в основополагающих публикациях Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) № 26 (1977) и № 60 (1990), а также национальных, в том числе и российских, нормативно-правовых документах в области радиационной безопасности.

В основе антропоцентрического подхода лежат следующие положения. Во-первых, человек принадлежит к одним из наиболее радиочувствительных организмов на Земле. Во-вторых, при нормировании допустимого для человека радиационного облучения и установлении соответствующих пределов закладываются очень высокие коэффициенты запаса. И, в-третьих, охрана здоровья человека отнесена к числу высших приоритетов.

Вместе с тем, в последнее время появились дискуссии, посвященные сопоставлению антропоцентрического и экоцентрического подходов обеспечения радиационной безопасности [2—7]. При экоцентрическом подходе в систему нормирования воздействия ионизирующей радиации включаются компоненты как живой, так и неживой природы, в том числе и "человек" как элемент биосферы. Таким образом, на первое место выдвигается защита собственно биоты, правда, менее радикальные экоцентристы предпочитают рассматривать человека и другие живые организмы паритетно. Итогом этих дискуссий в среде научной общественности и специалистов в области радиоэкологии и смежных дисциплин в настоящее время наблюдается оживление прений о смене парадигм: антропоцентрический принцип защиты окружающей среды от ионизирующих излучений предлагается заменить экоцентрическим.

Следует отметить, что и такая авторитетная организация, как МАГАТЭ, сначала принимавшая

корректность и обоснованность тезиса "защищен человек — защищена биота", меняет свои позиции в сторону экоцентризма. На наш взгляд, происходящие изменения воззрений в сторону экоцентрических подходов к радиационной безопасности является отражением растущей озабоченности мирового сообщества последствиями техногенного, в том числе радиационного, воздействия на биосферу.

В пользу экоцентрического подхода его сторонники выдвигают следующие аргументы.

Во-первых, человек не является наиболее радиочувствительным живым объектом в биосфере. Он лишь относительно чувствителен к ионизирующим излучениям. Среди изученных до настоящего времени живых организмов [8] известны более радиочувствительные виды, чем человек [4]. В то же время необходимо отметить, что число видов, изученных с точки зрения их радиочувствительности, ничтожно мало (менее 1 %). Например, ихтиологами описаны около 25 000 видов морских и пресноводных рыб [9], относящихся к различным отрядам и семействам [10], но подавляющее большинство видов рыб (99,7...99,9 %) не изучалось на предмет радиочувствительности. Поэтому не исключено, что среди них могут быть найдены новые радиочувствительные виды рыб. Такое же положение касается и многих морских млекопитающих [11], которые не изучены с точки зрения радиочувствительности. Ориентировочно можно лишь полагать, что их радиочувствительность в широких пределах сравнима с радиочувствительностью наземных млекопитающих.

Во-вторых, большие коэффициенты запаса а priori недостаточны для конкретных заключений, поскольку они складываются из количественных оценок, получаемых от многих сложных экосистем и ситуаций.

В-третьих, ни у кого не вызывает сомнения, что здоровье человека напрямую зависит от здоровья экосистем и всей биосферы, в которых он обитает [12], так как "люди не могут быть здоровыми в нездоровых экосистемах" [13].

Широкое распространение антропоцентризма на популяции всех живых существ, справедливо, главным образом, только для человека, вызывает критику сторонников экоцентрического подхода по следующим причинам.

1. На практике могут реализовываться ситуации, когда созданное человеком техногенное загрязнение, в том числе и ионизирующее излучение, при отсутствии человека действует только на природные объекты. Например, места глубоководных сбросов высокорadioактивных отходов (которые имели место до Моратория 1984 года); места вокруг погибших ядерных подводных лодок, покоящихся на



океанском дне; хранилища радиоактивных отходов, полностью изолированные от контактов с людьми; особые места с высокими мощностями доз ионизирующих излучений на Восточном Урале, близ Чернобыльской АЭС и в ее 30-километровой зоне обязательного отселения и т. д.

2. В отличие от представителей биоты, человек имеет возможность целенаправленно защищаться от воздействия ионизирующих излучений с помощью различных средств и методов, включая такие простейшие, но эффективные, как защиту расстоянием и временем.

3. В ряде ситуаций человек может получить облучение в дозах ниже регламентных, которые установлены исходя из принципа гигиенического нормирования. Однако такая же доза облучения для представителей некоторых экосистем будет находиться на уровне, опасном для ряда видовых сообществ, так как дозообразование для людей и представителей биоты различно. Кроме того, только люди способны регулировать и уменьшать поглощенные дозы с помощью специальных контрмер.

Предполагается, что и человек, и биота находятся в одной и той же природной среде и получают одинаковые дозы облучения. Следует подчеркнуть, что это условие принимается как самоочевидное, хотя это прямо и не прописано в формулировке МКРЗ. На самом деле о равенстве доз облучения человека и биоты можно говорить лишь теоретически. В реальных ситуациях человек и биота подвергаются воздействию одного и того же ионизирующего излучения в разных дозах. Это положение названо неэквидозным облучением человека и биоты [12]. Особенности сравнительного дозообразования у человека и биоты, находящихся в одной и той же экосистеме, впервые детально описаны советскими и российскими радиоэкологами [14].

Еще одним фактором, влияющим на соотношение доз облучения человека и представителей биоты, является тип радионуклидного загрязнения. Особенно существенны различия в дозах облучения человека и биоты при радиоактивном загрязнении, связанном с поступлением в окружающую среду  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих нуклидов. Так, биологическая роль  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений при воздействии на человека и животных (например, после выпадения радиоактивных веществ из воздуха) существенно меньше, чем при прямом осаждении этих нуклидов на растения. В первом случае чувствительные ткани от воздействия излучения защищены кожей, шерстью, мехом и т. п., тогда как во втором практически все излучение поглощается радиочувствительными клетками растений.

В гидробиоценозах фито- и зообентос (совокупность донных растений и животных) получают

большие дозы облучения из-за очень высоких коэффициентов накопления ими многих природных и техногенных  $\alpha$ -излучателей, например от таких радионуклидов, как U, Th, Pu, Am и др. В то же время дозы облучения человека в этих условиях могут быть сравнительно невелики, во-первых, из-за слабой проникающей способности  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений, а во-вторых, вследствие низкой миграционной способности  $\alpha$ -излучающих нуклидов, которая в большинстве случаев приводит к тому, что дозы внутреннего облучения оказываются низкими.

Согласно опубликованным данным [12], в 1957 г. местное население получило дозы, меньшие в 10–100 раз, чем дикие позвоночные животные и высшие растения в аварийной зоне Южного Урала. Похожая разница (в 30–120 раз) была зарегистрирована в зоне Чернобыльской АЭС [15] и в 100–300 раз в отношении водной биоты реки Теча по сравнению с местным населением вокруг комбината "Маяк" в Челябинской области, употреблявшим воду и рыбу из реки и молоко местного рогатого скота, пасшегося в пойме этой реки, в 1950–1951 гг. [12].

Как следствие гетерогенного распределения радионуклидов в экосистемах отдельные группы организмов могут подвергаться более высоким дозовым нагрузкам. К числу таких представителей биоты, находящихся в наземных экосистемах, можно отнести микро- и мезофауну в почвах и подстилках, где концентрируются радионуклиды, в водных ценозах — представителей бентоса, обитающих в донных отложениях и аккумулирующих из водной толщи водоема радиоактивные вещества. Еще один пример — ярус многолетних растений в лесных сообществах (в частности древесных, особенно "вечнозеленых" хвойных), на которые оседают из воздуха радионуклиды. С точки зрения возможных радиационных последствий ситуация обостряется, если в экосистемах существуют ниши, где формируются повышенные дозовые нагрузки на биоту в результате концентрации в них радионуклидов.

Например, в хвойном "вечнозеленом" лесу после аэральных радиоактивных выпадений, длительного задержания на надземных частях растений радиоактивных веществ и медленного самоочищения от них происходит повышенное облучение голосеменных деревьев, характеризующихся относительно низкой радиорезистентностью.

В постулате МКРЗ подразумевается сравнение радиационных эффектов у человека и биоты при использовании поглощенных доз в качестве обязательного критерия, характеризующего облучение. Однако на практике сопоставление радиационных изменений у человека и биоты, находящихся в окружающей среде с рассеянными радионуклидами, проводится иногда при использовании в качестве

аргумента не поглощенной дозы, а содержания радионуклидов в природной среде.

Например, в случае радиационных аварий на Южном Урале в 1957 г. и на Чернобыльской АЭС в 1986 г. использовались плотности радиоактивного загрязнения территории, выраженные в Ки/км<sup>2</sup> (Бк/м<sup>2</sup>) по основным дозообразующим радионуклидам (соответственно <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs) или сумме выпавших радионуклидов. Сравнение радиационных эффектов у человека и биоты вне дозового контекста, а в привязке к плотности радиоактивного загрязнения территории может приводить к некорректным выводам. Так, на двух территориях с одинаковым содержанием радионуклидов (с одной и той же плотностью загрязнения), но отличающихся по биогеохимическим условиям окружающей среды (в первую очередь по типу почв), дозы облучения человека биоты могут существенно различаться, и, следовательно, будут существенно различаться и радиационные эффекты. При сравнении доз облучения человека и биоты в экосистемах на дерново-подзолистых песчаных и черноземных почвах нагрузки различаются в несколько раз [16].

Итак, использование антропоцентрического подхода неприменимо к экосистемам, где нет человека или отсутствуют трофические цепочки, ведущие к поступлению радионуклидов в его организм. Антропоцентризм не учитывает неэквидозное облучение человека с одной стороны и биоты — с другой, типичное при облучении радионуклидами, находящимися в окружающей среде. И, наконец, внедрение экоцентризма обеспечивает одинаковое отношение к нормированию радиационного фактора и токсических загрязнителей окружающей среды — радиационной природы, гармонизируя методы и критерии защиты от любого вредного фактора, в то время как антропоцентрический подход вообще не ставит этой задачи. В определенном смысле экоцентрический подход является более общим и включает в себя антропоцентрический, что во многом делает его весьма привлекательным, тем более что он во многом отражает современные научные и философские взгляды на процессы устойчивого развития общества и биосферы.

Однако, формируя отношение к практическому использованию экоцентрического подхода, следует учитывать практические трудности и колоссальные финансовые затраты. Кроме того, потребуются решение сложнейших научных проблем — выполнение крупномасштабных программ радиоэкологических и радиобиологических исследований. Академик Р. М. Алексахин так определил эти проблемы [3]:

- уточнение величин относительной биологической эффективности излучения для представи-

телей флоры и фауны, введение дозиметрических единиц эквивалентных и эффективных поглощенных доз для растений и животных;

- выбор референтных представителей флоры и фауны;
- определение конечных эффектов действия ионизирующих излучений на растения и животных, которые можно использовать в качестве интегральных критериев радиационной защиты природы;
- установление зависимостей "доза — эффект" для референтных представителей флоры и фауны;
- определение роли уровня радиационных эффектов при охране биоты — индивидуального, популяционного, экосистемно-биогеоценотического;
- установление дозовых пределов облучения биоты.

По сути — это программа актуальных и перспективных радиоэкологических работ на XXI век. Формулируя ее, Р. М. Алексахин в отношении экоцентрического подхода к обоснованию и развитию принципов радиационной защиты делает очень важное замечание: "Если будет теоретически и практически обоснована необходимость его практического использования". Другими словами, необходимо теоретически и практически обосновать необходимость отказа от гигиенического подхода в радиационной защите (или обосновать границы его применимости) в пользу экоцентрического подхода к нормированию воздействия ионизирующего излучения. При этом следует подчеркнуть, что существующая нормативная база и система обеспечения радиационной безопасности человека, т. е. использование антропоцентрического подхода, в общем, обеспечили надежные условия для развития ядерной энергетики в первые 50 лет ее существования в различных странах мира.

Характерное в последние годы стремление создать единую концепцию радиационной защиты, обеспечивающую одновременно и охрану здоровья человека, и благополучие биоты в среде ее обитания в условиях растущего фона ионизирующих излучений, должно базироваться на признании целостности социально-природных экосистем, где человек и представители биоты рассматриваются в органически взаимосвязанном единстве. При этом необходимо рационально использовать достижения последних 100 лет в области обеспечения радиационной защиты человека, основываясь на опыте МКРЗ, так как реализация воздействия радиации на человека и другие живые организмы с биологической точки зрения протекает в рамках единых процессов.

По мнению Алексахина Р. М., дополнение антропоцентрической концепции экоцентрической или



тем более замена первой на вторую едва ли будут продуктивными. Усилия радиозэкологов, решающих проблемы охраны окружающей среды от воздействия ионизирующей радиации, и медиков, занимающихся вопросами радиационной защиты человека, должны быть направлены на выработку синтетической позиции, обеспечивающей одновременно охрану здоровья и человека, и других живых организмов, включая животных и растения.

#### Список литературы

1. **Алексахин Р. М.** Радиозэкология и проблемы радиационной безопасности // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2006. — Т. 51, № 1. — С. 28—32.
2. **Алексахин Р. М., Фесенко С. В.** Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и эоцентрический принципы // Радиационная биология. Радиозэкология. — 2004. — Вып. 44, № 1. — С. 93—103.
3. **Казаков С. В., Линге И. И.** О гигиеническом и экологическом подходах в радиационной защите // Радиационная биология. Радиозэкология. — 2004. — Т. 44, № 4. — С. 482—492.
4. **Higley K. A., Alexakhin R. M.** Dose limits for man do not adequately protect the ecosystem. (J. C. McDonald, Moderator) // Radiation Protection Dosimetry. — 2004. — Vol. 109, № 3. — P. 257—264.
5. **IAEA.** International Agency on Atomic Energy. Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation. — Vienna, Austria: IAEA, 2002 — TECDOC-1270. — 29 p.
6. **ICRP.** International Commission on Radiological Protection. A framework for assessing the impact of ionizing radiation on non-human species. — Oxford: Pergamon Press, ICRP Publication 91, 2003. — Annals of the ICRP 33,3. — P. 201—226.
7. **IUR.** International Union of Radioecology. Protection of the environment. Current state and future work. — Oslo, Norway: IUR Report, 2003 // <http://www.uir-iur.org>
8. **Поликарпов Г. Г.** Радиационная экология как научная основа радиационной защиты биосферы и человечества / Под ред. В. И. Мигунова и А. В. Трапезникова. — 2006. — Вып. 8. — С. 3—28.
9. **Никольский Г. В.** Частная ихтиология. 3-е изд. — М.: Наука, 1971. — 458 с.
10. **Larger K. F., Bardach J. E., Miller R. R.** Ichthyology. — NY: John Wiley & Sons, Inc., 1962. — 300 p.
11. **Rice P. W.** A list of the marine mammals of the World. — NOAA Techn. Rep. NMFS SSRF-711, US Dept. of Commerce, 1977. — 50 p.
12. **Кривошукский Д. А., Тихомиров Ф. А., Федоров Е. А., Смирнов Е. Г.** Биоиндикация и экологическое нормирование на примере радиозэкологии // Журнал общей биологии. — 1986. — Т. 47, № 4. — С. 468—478.
13. **Брешиный Ф., Поликарпов Г., Огон Д.** и др. Охрана окружающей среды в XXI веке: радиационная защита биосферы, включая человека (Заявление Международного Союза Радиозэкологии) // Радиационная биология. Радиозэкология. — 2003. — Т. 43, № 4. — С. 494—496.
14. **Алексахин Р. М., Романов Г. Н., Федоров Е. А., Пристер Б. С.** Радиобиология // Информационный бюллетень АН СССР. — 1983. — Вып. 28. — С. 5—9.
15. **Романов Г. Н., Спиринов Д. А.** Действие ионизирующих излучений на живую природу при уровнях, превышающих современные стандарты радиационной безопасности // Доклады Академии наук СССР. — 1991. — Т. 318, № 1. — С. 248—251.
16. **Сельскохозяйственная радиозэкология** / Под ред. Р. М. Алексахина и Н. А. Корнеева. — М.: Экология, 1992. — 400 с.

## ИНФОРМАЦИЯ

**Конференция Международной Водной Ассоциации (IWA)  
"Водоподготовка и очистка сточных вод  
населенных мест в XXI веке:  
Технологии. Проектные решения.  
Эксплуатация станций"**

2—4 июня 2010 года

Международный выставочный центр "Крокус Экспо" Москва, Россия

#### Тематика конференции:

**Водоснабжение:** проектирование, эксплуатация, экономика водопроводных станций; традиционные и перспективные технологии в подготовке и производстве питьевой воды.

**Очистка сточных вод:** проектирование и эксплуатация канализационных очистных сооружений; обработка и утилизация осадков сточных вод; инновационные технологии очистки сточных вод и др.

Контакты:

Многоканальный телефон/факс +7 (495) 225 5986, 782 1013

E-mail: [iwacference@sibico.com](mailto:iwacference@sibico.com) [www.iwacference.ru](http://www.iwacference.ru)

УДК 669.713:661.48

**С. Г. Шахрай**, канд. техн. наук, доц., **В. В. Коростовенко**, д-р техн. наук, проф.,  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск,  
**И. И. Ребрик**, Объединенная компания "Российский алюминий"  
E-mail: shahrai56@mail.ru

## Совершенствование системы сбора газов, образующихся на электролизерах с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом

*На основе представленного в статье анализа состояния системы сбора, эвакуации, обезвреживания анодных газов дана оценка эффективности системы. Предложен ряд технических решений для увеличения эффективности работы системы, базирующихся на инженерных расчетах и математическом моделировании теплофизических и аэродинамических процессов в подколокольном пространстве.*

**Ключевые слова:** анализ, состояние, система сбора, эвакуация, обезвреживание, анодные газы, технические решения, увеличение, эффективность работы.

**Shahrai S. G., Korostovenko V. V., Rebrik I. I. Improving of gas collection system for vertical stud soderberg cells**

*The article deals with analyzing the system of collecting the anode gases as well as their decontamination evacuation. On the basis of this analysis, there is given the estimation of the system efficiency. There are suggested a number of technical solutions to increase the efficiency of the system functioning. These are based on the engineering calculations and the mathematical modeling of thermal physical and aerodynamic processes.*

**Keywords:** analyzing system, collecting, anode gases, decontamination evacuation, number technical solutions, efficiency, functioning.

### Введение

Сбор анодных газов, образующихся в электролизерах с верхним токоподводом (рис. 1), осуществляется газосборным колоколом (ГСК). Эффективность его работы является фактором, определяющим состояние атмосферы корпуса электролиза и интенсивность фонарных выбросов загрязняющих веществ. При герметичном ГСК эффективность улавливания анодных газов составляет 98 %; фтористого водорода — 92 %.

В случаях забивания подколокольного пространства оплесами электролита, появления обвалов корки, дымок, огоньков, разгерметизации газосборника эти показатели снижаются до 80...40 % [1]. В такие периоды происходят интенсивные выбросы загрязняющих веществ в рабочую зону корпуса электролиза (рис. 2) и далее в фонарь. При этом значительно снижаются экологические и технико-экономические показатели электролизного производства вследствие безвозвратной потери фтористых солей, одного из основных видов сырья в производстве алюминия.

Вместе с тем, анализ конструкции газосборного колокола и эффективности его работы позволяет

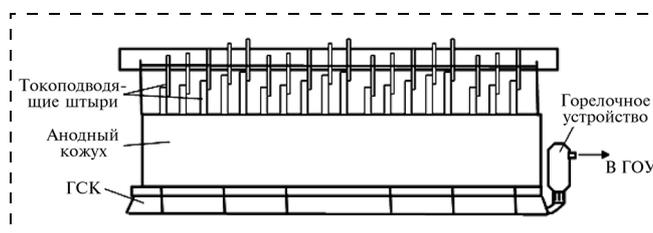


Рис. 1. Электролизер с верхним токоподводом



Рис. 2. Общий вид корпуса электролиза



сделать вывод о том, что улучшение экологических показателей электролизного производства алюминия возможно путем разработки комплекса технических мероприятий, направленных на увеличение пропускной способности подколокольного пространства и организацию вторичного газоотсоса от электролизера.

### Газосборный колокол электролизера

Газосборный колокол состоит из отдельных чугунных секций, которые подвешиваются на пояс ГСК и образуют совместно с анодом газоходный канал по всему периметру электролизера (рис. 3). Пояс ГСК выполнен в виде уголка, жесткость которому придают стальные пластины, одновременно играющие роль теплоотводящих ребер. Их количество на современных электролизерах превышает сотню единиц (рис. 4).

Для герметизации газоходного канала нижняя часть секций присыпается глиноземом. Таким образом, формируется корка, препятствующая поступлению воздуха в подколокольное пространство и выбиванию из-под него газов [2]. Из подколокольного пространства газы поступают в горелочное устройство, где происходит дожиг горючих оксида углерода и смолистых веществ, в том числе бенз(а)пирена, обладающего канцерогенным действием [3, 4]. Предварительно очищенные таким образом газы далее направляются в газоочистные установки (ГОУ).

Приоритет создания газосборного колокола принадлежит Норвежской компании Elkem. Впервые он был испытан в 1939 г. на электролизерах мощностью 30 кА. Однако с началом второй мировой войны работы в данном направлении были приостановлены и возобновились лишь после ее окончания. Промышленное применение ГСК началось

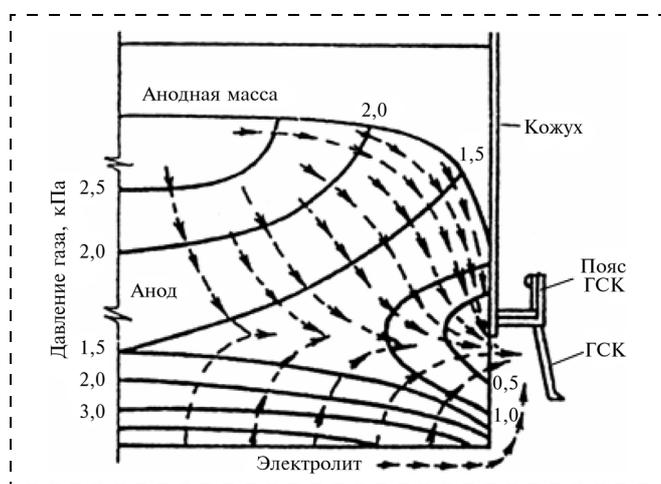


Рис. 3. Схема поступления газов в подколокольное пространство

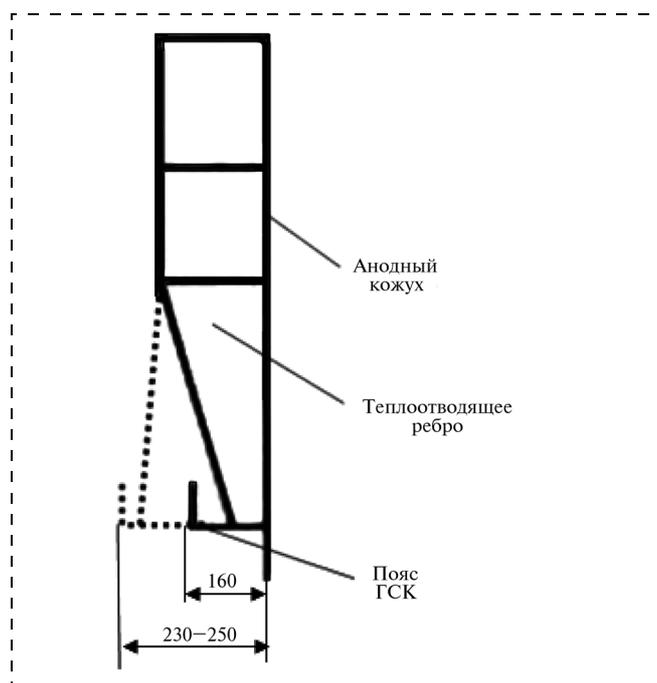


Рис. 4. Пояс ГСК и теплоотводящие ребра:  
 — существующая конструкция; - - - - - по предлагаемому техническому решению

в 1947 г. на заводе "Рейнольдс", штат Алабама, на электролизерах мощностью 100 кА [5].

В СССР газосборный колокол начал применяться в 50-х годах прошлого века на электролизерах С-2, С-3, мощность которых была сопоставима с мощностью электролизеров завода "Рейнольдс" — немногим более 100 кА. С тех пор, вследствие простоты и надежности, его конструкция существенных изменений практически не претерпела. Объем анодных газов, образующихся на электролизерах С-2, С-3, составляет 20...35 м<sup>3</sup>/ч, площадь открытой корки (вне колокольного укрытия) — 6,1 м<sup>2</sup>. Газосборный колокол электролизеров С-2, С-3 собирается из 26 отдельных секций, периметр анода составляет 19,28 м [6].

Разработка и внедрение в 60-х годах прошлого века конструкций новых, более мощных электролизеров С-8 и С-8БМ проектной мощностью 156 кА практически не коснулась изменения конструкции газосборного колокола. На них применяется та же конструкция ГСК, что и на электролизерах "предыдущего поколения" — С-2 и С-3, с тем лишь отличием, что он собирается из 30 отдельных секций, а периметр анода составляет 22,3 м. Площадь открытой корки электролизеров С-8 и С-8БМ 8,9 м<sup>2</sup>, что почти в 1,5 раза выше, чем у электролизеров С-2, С-3.

Модернизация электролизеров С-8 и С-8БМ, активно проводимая в течение последних 5...10 лет,

позволила увеличить их единичную мощность до 170...175 кА, а в отдельных случаях и до 180 кА. Соответственно увеличился объем металла, нарабатываемый электролизером в единицу времени и объем первично образующихся анодных газов, который по расчетам, выполненным по методике [4, 7], в настоящее время составляет 40...45 м<sup>3</sup>/ч, и это при той же "пропускной" способности подколокольного пространства. В результате средняя эффективность сбора анодных газов газосборным колоколом, по отчетным данным заводов, не превышает 90 %, что является недостаточным для достижения санитарных и экологических норм, установленных Российскими нормативными документами и рекомендованных конференцией OSPAR [8–13].

Одной из причин недостаточной эффективности сбора образующихся анодных газов является высокое аэродинамическое сопротивление подколокольного пространства. Газоходный канал, образуемый анодом и ГСК, в разрезе имеет форму прямоугольной трапеции площадью ~0,05 м<sup>2</sup> (см. рис. 3). С позиции аэродинамики такая форма не является оптимальной — сужающееся кверху пространство способствует образованию в нем застойных зон. В последних происходит образование отложений, занимающих значительную часть площади поперечного сечения газоходного канала. Наиболее подвержены зарастанию участки подколокольного пространства, расположенные под выливными секциями ГСК и под секциями, устанавливаемыми под бункерами автоматической подачи глинозема. Площадь поперечного сечения газоходного канала под ними составляет ~0,0375 м<sup>2</sup>, что практически в 1,5 раза меньше, чем под остальными секциями, и на этих участках создаются "пережимы" газового потока.

Сократить аэродинамическое сопротивление и повысить пропускную способность подколокольного пространства возможно путем увеличения площади его поперечного сечения [14]. Возможность реализации данного технического решения обосновывается следующими соображениями. Согласно справочнику [6] расстояния между анодом и катодом электролизеров С-2, С-3 составляют 765 мм; С-8, С-8БМ — 835 мм (разница 70 мм). Расстояние между анодом и ГСК у всех типов электролизеров одинаково и составляет 265 мм. Соответственно расстояние "ГСК — катод" электролизеров С-2, С-3 составляет 500 мм; С-8, С-8БМ — 570 мм. По сути, этот размер является поперечным габаритом корки, где выполняются технологические операции и его значение 500 мм у электролизеров С-2, С-3 вполне достаточно для обеспечения удобства работ. Следовательно, сокращение этой величины на электролизерах С-8, С-8БМ с 570 до 500 мм не создаст

дополнительных помех при обслуживании электролизера.

Сократить это расстояние, одновременно увеличив пропускную способность газоходного канала, возможно двумя способами: увеличением ширины пояса газосборного колокола и изменением конфигурации секций газосборного колокола.

По первому способу достаточно увеличить ширину пояса ГСК по продольной стороне электролизера на 70...90 мм со 160 мм в настоящее время до 230...250 мм (см. рис. 4). При этом на торцевых сторонах она остается прежней вследствие того, что эти участки не являются "проблемными" зонами и в них практически не образуются отложения. Отсутствие отложений в этих зонах обусловлено тем, что давление сходящих из-под подошвы анода газов в торцевых сторонах электролизера на 200...300 Па ниже, чем по продольным [15, 16]. Однако этот способ не решает проблемы оптимизации формы газоходного канала, он по-прежнему остается трапециевидным.

Второй способ увеличения пропускной способности газоходного канала — изменение конфигурации секций ГСК с трапециевидной на параболическую с увеличенным на 70...100 мм наружным габаритом (рис. 5) [17]. Параболическая форма канала приблизит его к оптимальной круглой форме, где отсутствуют застойные зоны. В таком канале практически исключены отложения, следовательно, частота разгерметизации газосборника с целью их удаления сведена к минимуму.

Результатом предлагаемых технических решений является увеличение площади поперечного сечения газоходного канала в 1,2–1,5 раза со снижением

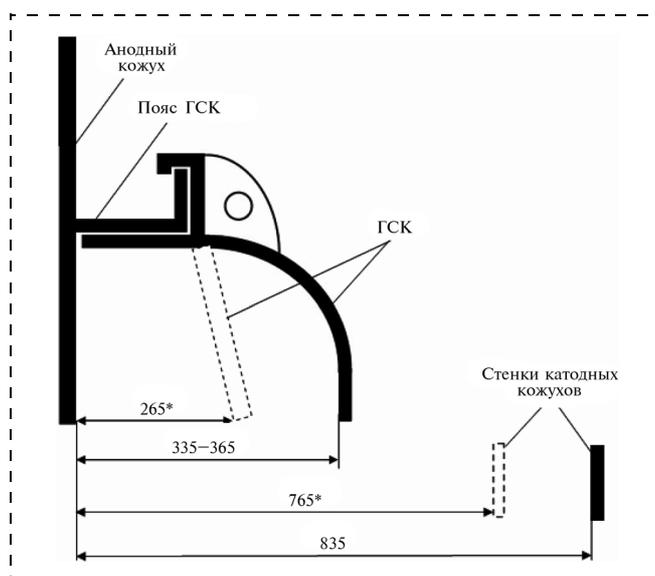


Рис. 5. Газосборный колокол с параболической секцией



### Сравнительные аэродинамические характеристики подколольных пространств электролизеров

Параметр	Ед. изм.	Тип электролизера		
		С-2, С-3	С-8, С-8БМ	С-8, С-8БМ с параболической секцией
Общий объем образующихся анодных газов	м <sup>3</sup> /ч	30,0	42,0	42,0
Площадь поперечного сечения газоходного канала (подколольного пространства)	м <sup>2</sup>	0,05	0,05	0,123
Скорость движения газов в газоходном канале (подколольном пространстве)	м/с	0,082	0,116	0,047
Число Рейнольдса		80,0	160,0	80,0
Коэффициент трения $\lambda$		0,73	0,37	0,85
Потери давления	Н/м <sup>2</sup>	0,05	0,12	0,05

его сопротивления более, чем в 2 раза. При этом аэродинамические характеристики потока в подколольном пространстве становятся сопоставимыми с характеристиками электролизеров С-2 и С-3, для которых ГСК создавался изначально (см. таблицу).

Кроме того, увеличение площади теплоотводящих ребер (см. рис. 4) интенсифицирует отвод теплоты от анода конвекцией, который находится в прямой зависимости от площади теплоотдающей поверхности и разности ее температуры и окружающей среды [18]. Это улучшит микроклимат в рабочей зоне корпуса электролиза и сократит выбросы с поверхности анода за счет уменьшения его температуры.

#### Организация вторичного газоотсоса от электролизера

Проектный объем газоотсоса от электролизеров С-8, С-8БМ составляет 652 м<sup>3</sup>/ч, от корпуса электролиза — порядка 60 000 м<sup>3</sup>/ч. Соответственно газоочистные установки проектировались и строились для очистки таких объемов газов. В настоящее время производительность газоочистных установок Братского и Иркутского алюминиевых заводов 60 000 м<sup>3</sup>/ч; Красноярского, после ввода в эксплуатацию "сухих газоочисток", — 100 000 м<sup>3</sup>/ч. Высокий объем газоотсоса от электролизера обусловлен тем, что дожиг анодных газов осуществляется в щелевых проточных горелочных устройствах, в которых отсутствует искусственное перемешивание компонентов, и горение носит преимущественно диффузионный характер. Рекомендуемый коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  для щелевых горелок составляет 2,4...6,0, что в 2 раза и более выше оптимального  $\alpha = 1,15...2,0$ , достаточного для полного дожигания горючих компонентов анодного газа. Избыточно подсосываемый воздух охлаждает горелку и снижает эффективность ее работы. Кроме того, высокий объем газоотсоса от электролизера сопровождается ростом энергозатрат на эвакуацию

газов, габаритов газоходных сетей, а также нагрузки на ГОУ. Корректность расчета  $\alpha$  подтверждена результатами математического моделирования теплофизических и аэродинамических процессов в горелочном устройстве [19, 20].

Ввиду вышеизложенного, для увеличения эффективности работы горелочных устройств объем подсосываемого в них воздуха необходимо сократить минимум в 2 раза. В этом случае произойдет "высвобождение" порядка 50 % мощностей ГОУ, которые рациональней направить на организацию вторичного газоотсоса от электролизера.

Для этого предлагается на продольной стороне электролизера, где обвалы и разрушения корки происходят наиболее часто, установить вытяжной зонт, который обеспечит сбор анодных газов, выбивающихся из-под газосборного колокола и фильтрующихся через корку. При этом нижняя кромка вытяжного зонта во избежание создания помех при выполнении технологических операций должна быть расположена выше пояса газосборного колокола. Разрежение в зонте и в горелочном устройстве регулируется с помощью шиберов, установленных в их газоотводящих патрубках (рис. 6).

Через вытяжные зонты от каждого электролизера возможно дополнительно эвакуировать 200...300 м<sup>3</sup>/ч воздуха, что обеспечит сбор газов, выбивающихся из-под ГСК при его разгерметизации, а также

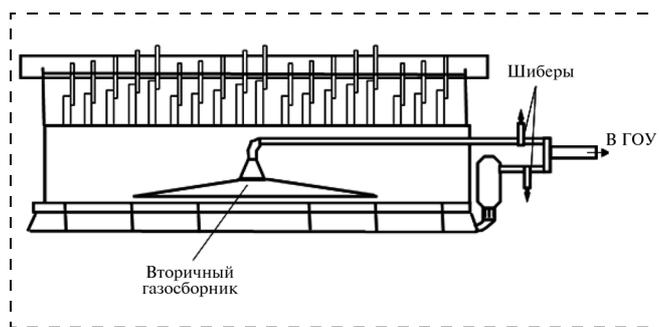


Рис. 6. Электролизер с вторичным газосборником

фильтрующихся через поверхность корки. Согласно данным работы [14], при герметичном ГСК средние концентрации загрязняющих веществ на высоте ~1,5 м над поверхностью корки составляют (мг/м<sup>3</sup>): фтористого водорода — 0,42; твердых фторидов — 0,56; пыли — 5,01; смолистых веществ — 0,164; бенз(а)пирена — 0,000975. Организация дополнительного газоотсоса от корпуса электролиза в объеме 18 000...27 000 м<sup>3</sup>/ч обеспечит за счет мощностей существующих ГОУ сокращение удельных выбросов загрязняющих веществ (кг/т Al): фторидов — на 0,02; пыли — 0,12; смолы — 0,003; бенз(а)пирена — на 0,00002. Сокращение валовых выбросов загрязняющих веществ в масштабах современного алюминиевого завода, сопоставимого по мощности с Красноярским, с учетом уменьшения площади открытой поверхности корки, а также сокращения частоты разгерметизации ГСК, при которой интенсивность выбросов возрастает в разы, составит порядка 700 т/год. Эти величины эквивалентны увеличению эффективности газосборного колокола в среднем на 2,5 %.

### Выводы

Внедрение рассмотренных технических решений улучшит экологические и технико-экономические показатели электролизного производства вследствие:

- исключения зарастания подколокольного пространства отложениями и сокращения частоты выполнения технологических операций, связанных с разгерметизацией ГСК;
- уменьшения на 13...19 % площади открытой корки и снижение на такую же величину выбросов анодных газов с ее поверхности;
- увеличения полноты дожига горючих компонентов анодного газа в горелочных устройствах электролизера;
- интенсификации отвода теплоты за счет увеличения площадей наружных поверхностей секций ГСК и теплоотводящих ребер анодного кожуха;
- рационального использования мощностей существующих газоочистных установок.

### Список литературы

1. **Расчетная** инструкция (методика) по определению состава и количества вредных (загрязняющих) веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух при электролитическом производстве алюминия (в ред. Приказа Ростехнадзора от 29.11.2005 № 892).
2. **Янко Э. А.** Производство алюминия. Пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов. — СПб.: Изд-во С. Петербургского университета, 2007. — 305 с.
3. **Дикун П. П.** Канцерогенные свойства индивидуальных соединений и комплекса веществ класса полициклических ароматических углеводородов с конденсированными кольцами // Вредные химические вещества. Углеводороды. Галогенопроизводные углеводородов. — Л.: Химия, 1990. — С. 250—268.
4. **Вредные вещества в промышленности:** Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том Органические вещества / Под ред. Н. В. Лазарева и Э. Н. Левиной. — Л.: Химия, 1976. — 592 с.
5. **Из истории** технологии производства алюминия: Карл Вильгельм Содерберг // Техничко-экономический вестник РУСАЛа. Июнь 2005. — № 11. — С. 40—42.
6. **Басов А. И., Ельцев Ф. П.** Справочник механика заводов цветной металлургии. — М.: Металлургия, 1981. — 495 с.
7. **Буркат В. С., Друкеров В. А.** Сокращение выбросов в атмосферу при производстве алюминия. — Санкт-Петербург, 2005. — 275 с.
8. **Федеральный Закон** "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002. № 7-ФЗ.
9. **Федеральный Закон** "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.1999. № 52-ФЗ.
10. **Федеральный Закон** "Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.1999. № 96-ФЗ.
11. **Гигиенические нормативы** ГН 2.2.5.1313—03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. (в ред. Дополнения № 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 24.12.2003 № 160, Дополнения № 3, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30.07.2007 № 56, с изм., внесенными Дополнением № 2, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 22.08.2006 № 24).
12. **Гигиенические нормативы** ГН 2.1.6.1338—03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 03.11.2005 № 26, с изм., внесенными Постановлениями Главного государственного санитарного врача РФ от 17.10.2003 № 150, от 03.11.2005 № 24, от 19.07.2006 № 15, от 04.02.2008 № 6, от 18.08.2008 № 49).
13. **OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North — East Atlantic.** Ministerial Meeting of the OSPAR Commission // Sintra: — 22 — 23 July 1998.
14. **Шахрай С. Г., Сугак Е. В., Смола П. В., Белоусов С. В.** Методы снижения выбросов при электролитическом производстве алюминия // Сборник докладов XII Международной конференции "Алюминий Сибири 2006". — Красноярск, 2006. — С. 267—272.
15. **Коробов М. А., Дмитриев А. А.** Самообжигающиеся аноды алюминиевых электролизеров. — М.: Металлургия, 1972. — 208 с.
16. **Крюковский В. А.** Исследование циркуляции электролита и анодных газов в междуполосном зазоре мощных алюминиевых электролизеров. — Автореферат дисс... канд. техн. наук. — Ленинград: Всесоюзный институт алюминиевой и магниевой промышленности (ВАМИ), 1974. — 20 с.
17. **Шахрай С. Г., Куликов Б. П., Петров А. М.** и др. Газосборное устройство алюминиевого электролизера (варианты). — Патент РФ № 2324012. — Оpubл. 10.05.2008. — БИ № 13.
18. **Панов Е. В., Васильченко Г. Н., Даниленко С. В.** и др. Тепловые процессы в электролизерах и миксерах алюминиевого производства / Под общей редакцией Б. С. Громова. — М.: ГУП "Издательский дом "РУДА И МЕТАЛЛЫ", 1998. — 256 с.
19. **Шахрай С. Г., Сугак Е. В., Фризоргер В. К., Тихомиров В. Н.** Способы повышения эффективности термического обезвреживания анодных газов в горелочных устройствах электролизера // Сборник докладов XIII Международной конференции "Алюминий Сибири 2007". — Красноярск, 2007. — С. 405—409.
20. **Шахрай С. Г.** Повышение эффективности вентиляции корпусов электролизного производства алюминия путем совершенствования системы газоотсоса. — Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. — Иркутск: Иркутский государственный технический университет (ИрГТУ), 2008. — 20 с.

УДК 504.064.36

**Т. А. Борисова,**

Байкальский институт природопользования СО РАН

E-mail: tabor@binm.bscnet.ru

## Теоретико-методические подходы к исследованию природно-антропогенного риска на Байкальской природной территории

*Статья посвящена разработке теоретико-методических подходов анализа и оценки природно-антропогенных рисков региона, вызываемых проявлением неблагоприятных и опасных природных процессов и явлений. Территориальная оценка риска является необходимым условием для принятия управленческих решений в политике обеспечения безопасности жизнедеятельности и устойчивого развития территории.*

**Ключевые слова:** опасные процессы и явления, опасность, природно-антропогенный риск, оценка риска.

**Borisova T. A.** *Theoretical and methodical approaches to the investigation of the natural anthropogenic risks at the Baikal natural territory*

*The article is devoted to elaboration of theoretical and methodic approaches of analysis and estimation of nature-anthropogenic risks of the region, which are challenged by inauspicious and dangerous natural processes and phenomenon. Territorial estimation of risk is the necessary condition to take administrative decision for security of capable of life and sustainable development of territory.*

**Keywords:** dangerous processes and phenomenon, danger, nature-anthropogenic risk, estimation of risk.

В последнее десятилетие в связи с ростом негативных социальных и экономических последствий от проявлений опасных процессов и явлений стало уделяться особое внимание разработке программ по обеспечению национальной безопасности и устойчивого развития России. Это вызвало необходимость научного анализа и оценки риска, которые неизбежно возникают в отношениях человек—природа.

Действительно, за последние пятьдесят лет, как показывает статистика, количество природных катастроф на земле увеличилось почти в три раза, из них наиболее распространенными являются тропические штормы — 2302 (32 %), наводнения —

2281 (32 %), землетрясения — 885 (12 %), засухи — 716 (10 %), другие природные процессы — 978 (14 %). Среди континентов мира наиболее подверженными действию опасных природных процессов являются Азия (38 %) и Северная и Южная Америка (26 %), далее идут Африка (14 %), Европа (14 %) и Океания (8 %) [1]. В мире каждый год гибнет от стихийных бедствий более 125 тыс. человек. Ежегодно число пострадавших увеличивается на 6 % [2, 3].

Существенное влияние на условия жизнедеятельности и здоровье населения во многих регионах планеты оказывают крупные аварии и катастрофы техногенного характера. С ростом технической оснащенности с каждым годом растет их число, так за последнее десятилетие произошло 56 % крупных аварий XX века [4].

Для территории России характерно более 30 видов опасных природных процессов и явлений, среди которых наибольшую угрозу представляют землетрясения, наводнения, ураганные ветры и штормы, извержения вулканов, цунами, провалы и опускания земной поверхности, оползни, сели, снежные лавины и сход ледников, аномальные температуры, лесные пожары. По данным МЧС в России за 1990—2002 г. зарегистрировано 2350 природных чрезвычайных ситуаций. За 35 лет от природных стихий погибли более 4,5 тыс. человек и пострадали 540 тыс. человек. Ежегодный ущерб достигает 20...24 млн долл. [2, 3].

На наш взгляд, рост природных и техногенных катастроф за последнее столетие наряду с природными предопределяющими факторами связан с увеличением численности населения и потребностей человека, а также с активным освоением территорий, в том числе и новых, мало пригодных для проживания и хозяйствования.

В масштабах России Байкальская природная территория относится к регионам с высокой вероятностью катастрофических проявлений природных процессов и явлений, характеризуется сложным геологическим строением с широким набором геологических формаций, активной современной тек-

тонической деятельностью, высокой сейсмичностью и рядом физико-географических особенностей (резкоконтинентальный климат, контрастный горный рельеф, широкое распространение многолетнемерзлых пород).

По уровню сейсмической активности территория входит в зону Байкальского рифта с максимальной активностью 9...10 баллов и более и зону Забайкалья с умеренной активностью и с "транзитными" землетрясениями силой 6...7 и 8 баллов [5]. Анализ показывает, что за столетие здесь происходят 1...2 катастрофических землетрясения силой 9...11 баллов. Для примера следует упомянуть Муйское землетрясение на северо-востоке Байкала, интенсивностью 10...11 баллов (27.06.1957 г.). В результате мощного сотрясения произошли опускание межгорной впадины на 5...6 м, поднятие прилегающей части хребта на 1...1,5 м, обвалы и осыпи на площади 150 тыс. км<sup>2</sup>. При Цаганском землетрясении (23.12.1861 г.) участок Цаганской степи — тектонический блок площадью 260 км<sup>2</sup> опустился на 7...8 м; из них 203 км<sup>2</sup> под уровень Байкала, где образовался залив Провал. Среднебайкальское 9-балльное землетрясение (30.08.1959 г.) ощущалось на площади около 800 тыс км<sup>2</sup>, в результате произошло опускание дна Байкала на 10...15 м, оживился разлом, ограничивающий залив Провал и др. [6].

Климатические особенности территории (большое количество снежных осадков, накапливаемых в горах в зимний период, и циклоническая деятельность второй половины лета), горный рельеф, а также освоение потенциально опасных земель определяют высокую вероятность наводнений. Так, в XX столетии высокие наводнения на реке Селенга отмечались 8 раз, в 1932 г., 1935 г., 1973 г. — наиболее катастрофические. Наводнения, прошедшие в 1971, 1973, 1991—1995 гг., нанесли колоссальный ущерб: в 1971 г. размеры ущерба в Республике Бурятия составили около 1,4 млрд руб., 1994 г. — 40 млрд руб. Наиболее опасными являются реки Джида, Иркут, в верховьях горных рек зачастую формируются сели.

В отдельные годы настоящим бедствием для Байкальского региона становятся лесные пожары. В частности неблагоприятными оказались — 2002 и 2003 гг. В 2003 г. в Республике Бурятия произошло 3396 лесных пожара на площади 232 300 га, а ущерб составил 29 979,3 млн руб. [7].

В горных районах высока вероятность схода снежных лавин, обвалов, осыпей, камнепадов и др.

Кроме того, к активизации опасных природных процессов и явлений, зачастую приводит предпри-

имчивая хозяйственная деятельность человека. Распашка степных и сухостепных территорий вызывает высокую эродированность земель; масштабные лесные пожары и вырубki — нарушение водного баланса, эродированность, а в зонах многолетней мерзлоты — заболачиваемость, солифлюкцию, подрезание склонов при строительстве дорог — обвалы, камнепады, оползни, лавины и др.

В этой связи возникает проблема как негативного влияния природной среды на хозяйственное освоение территории, так и человека на среду обитания. Актуальность данной проблемы приобретает особую значимость для Байкальской природной территории в связи с потенциальной возможностью возникновения чрезвычайных экологических ситуаций на ней.

Таким образом, для обеспечения безопасности населения и хозяйственных объектов на Байкальской природной территории и устойчивого развития территории в целом необходимо регулирование отношений между человеком и природой, которое может быть осуществлено на основе анализа и оценки риска с целью управления.

Проведенный обзор литературы по данной проблеме показывает, что первые разработки, начатые в 1980-х годах, сводились зачастую к оценкам опасности территорий с использованием отдельных показателей риска: к опыту оценки сейсмического, геоморфологического риска для определенных объектов. Для большинства авторов предметом исследования являлась комплексная оценка опасности территории различными методами и разработка обзорных оценочных карт [8].

Впервые И. П. Герасимовым и Т. В. Звонковой [9] был предложен метод суммарной оценки опасности природных процессов, основанный на сочетании различных видов природных опасностей по силе разрушительного воздействия и негативных последствий. Территория ранжировалась на четыре группы с выделением ареалов преобладающих комбинаций различных видов опасных природных процессов, в зависимости от интенсивности проявления, количества жертв и наносимого экономического ущерба.

А. С. Курбатовой, С. М. Мягковым, А. Л. Шныпарковым [10] разработана методика оценки риска, где интегральным показателем служит суммарная повторяемость чрезвычайных ситуаций разной категории тяжести в зависимости от нанесенного ущерба и количества жертв. На основе ее были составлены карты суммарной повторяемости чрезвычай-



чайных ситуаций трех категорий тяжести для территории России и всего земного шара.

Единственным примером количественной оценки интегрального риска от нескольких процессов разного генезиса явилась карта природного экономического риска строительного освоения и использования территории РФ, разработанная А. Л. Рогозиным (1990 г.). В основу этой карты было положено перекрестное трехрядное районирование территории по основным факторам развития процессов, определяющим их характер, механизм и интенсивность развития. Суммарная природная оценка риска представлена в баллах от 1 до > 200, имеющих стоимостной эквивалент [11].

Рассмотренные выше методические разработки имеют ряд сложностей, поскольку основаны на огромном статистическом материале, требующих длинных рядов наблюдений, которые не всегда имеются либо имеют противоречивые данные. При этом они опробированы на глобальных территориях на основе масштабных катастроф по количеству жертв и экономическому ущербу и отражают фактический уровень наиболее освоенных территорий. На региональном уровне применение описанных выше методик является не совсем возможным в виду ряда причин. Во-первых, такие оценки слишком мелкомасштабны и весьма схематичны; во-вторых, исходя из специфики региона, имеются методические трудности в информационной базе (слабая изученность отдельных процессов и явлений, отсутствие репрезентативных рядов наблюдений, сравнительно малоосвоенность территории, низкая плотность населения и др.).

В рамках Государственной программы "Безопасность" и Федеральной Целевой программы "Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" были начаты системные исследования по проблеме количественной оценки и управления природно-техногенными рисками. Результаты исследований были представлены в монографии "Природные опасности России" в шести томах, где рассмотрены вопросы теории и практики количественного анализа и оценки природных и техноприродных рисков. Авторами (Рогозин и др.) усовершенствована методика трехрядного районирования, предложены методические подходы к оценке риска на региональном и локальном уровнях и др.

Для рассмотрения методики анализа и оценки риска необходимо конкретизировать и привести в систему основные понятия: "опасные процессы и

явления", "катастрофа", "опасность", "риск", "экологический риск", "природно-антропогенный риск".

В целом понятие "*опасные процессы и явления*" понимается как изменения элементов природной среды или событий в ней, которые в силу своей интенсивности, площади распространения и продолжительности могут оказать негативное воздействие на жизнедеятельность людей, хозяйственные и иные объекты [12].

Проявления опасных природных процессов и явлений могут вызвать катастрофу, приводящую к огромному ущербу объектов хозяйства и большим человеческим жертвам. Исходя из теории катастроф, *катастрофами* называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий [13].

Географами под катастрофой принято понимать быстрое полное разрушение природных, социально-экономических территориальных структур, вызванное природными процессами или хозяйственной деятельностью [14, 15].

В данном исследовании более подробно остановимся на истолковании определения терминов "риск" и "опасность", которые зачастую воспринимаются как синонимы. Французские специалисты, проводившие работы по оценке опасности территории (программа ZERMOS), использовали под термином "опасность" общепринятый термин "риск". Также не было их четкого разделения при переводе с английского языка. В Оксфордском словаре термин "risk" определяется как опасность (hazard), случайность, плохие последствия, неудачное воздействие и т. д. На шестом Европейском конгрессе по сейсмостойкому строительству впервые было предложено разделение понятий "опасность" и "риск", где, например, под сейсмической опасностью принято было понимать эффекты, непосредственно характеризующие интенсивность и частоту сейсмических сотрясений, а под сейсмическим риском — их негативные последствия.

Мы разделяем эту точку зрения и считаем методологически важным представление "опасности" в качестве объективной реальности (состояния, свойства вещественного объекта), существующей в отношении как с обществом, так и с природой и являющейся естественной средой обитания человека [16].

Таким образом, *опасность* есть процесс, свойство или состояние природной среды, общества или техники (техносферы), которое может представлять угрозу для людей, объектов хозяйства или природы [12].

Жизнедеятельность человека в условиях опасности сопряжена с риском. Следовательно, *риск*, в целом, понимается как возможность наступления неблагоприятного события, которое может возникнуть только там, где население и хозяйство подвергаются опасности, поэтому основополагающим в термине "риск" является его антропоцентрический характер.

Анализ отечественной и мировой литературы показывает, что широкое распространение получила трактовка понятия "*риск*" как количественная мера опасности и определение риска как вероятность возникновения какого-либо опасного события; как вероятность негативных последствий (уязвимость объекта, ущерб) от него; как произведение вероятности опасного события и размеров ожидаемого ущерба [17]. Однако, всевозможные подходы к проблемам анализа и оценки риска приводят к разным определениям данного понятия, но однозначно принимается как вероятностная мера опасности. В соответствии с принятыми определениями составлена схема, на которой, на наш взгляд, логично и последовательно отражены и графически представлены процесс развития катастроф и процесс формирования потенциальных рисков (рис. 1).

Термин "*экологический риск*" большинство авторов понимает как возможность негативных изменений в природе и обществе, обусловленных воздействием хозяйственной деятельности человека на окружающую среду. В федеральном законе "Об охране окружающей среды" (10.01.2002 г.), экологический риск трактуется как вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

Известно, что взаимодействие человека и природной среды складывается как из различных видов антропогенного воздействия на нее, так и неблагоприятного влияния самой среды на человека, совершенно не зависящего от его деятельности и являющегося следствием развития природы. Следовательно, существующие особые природные

(геологические, геоморфологические, сейсмические, гидрологические, климатические, геокриологические, биологические и др.) условия территории с активно развивающейся хозяйственной деятельностью на ней создают определенные предпосылки формирования *природно-антропогенного риска*, т. е. в возможности возникновения природных, природно-техногенных, техногенных катастроф.

Несомненно, термины "экологический риск" и "природно-антропогенный риск" достаточно близки по своему определению. Однако мы полагаем, что понятие "*природно-антропогенный риск*" является природным и частью экологического риска, т. е. тем риском, который возникает для жизнедеятельности человека именно при проявлении опасных природных процессов и явлений природно-антропогенного генезиса.

Таким образом, рассматривая риск как вероятностную меру опасности, мы понимаем *природно-антропогенный риск* как вероятность проявления опасных природных процессов и явлений, обусловленных природными и антропогенными факторами, ведущих к возникновению катастрофических ситуаций и негативным социальным и экономическим последствиям.

В этой связи правомерным является изучение всей совокупности опасных природных процессов и явлений, их повторяемости, интенсивности, основных пространственных закономерностей распространения с учетом социально-экономических

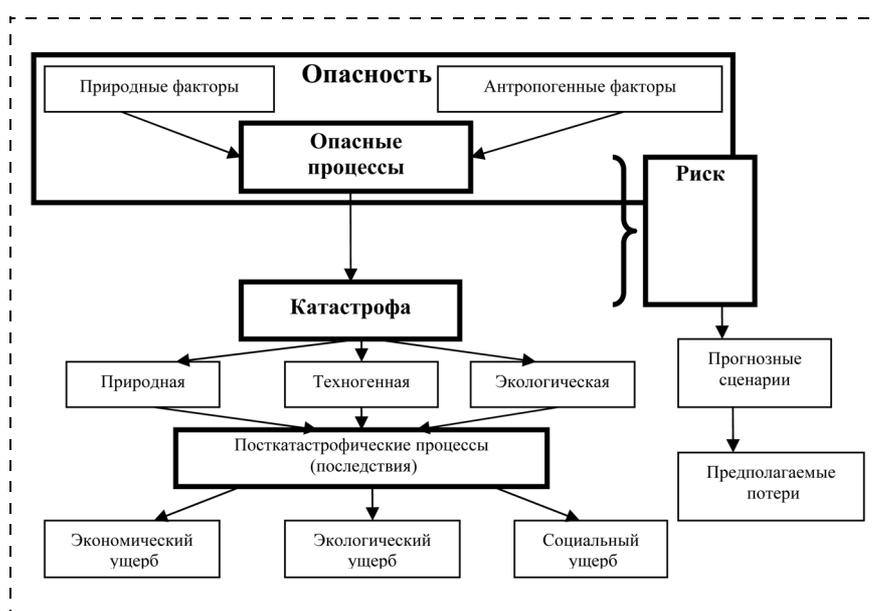


Рис. 1. Схема развития катастроф и формирование потенциального риска



особенностей развития территории с целью интегральной оценки риска на ней.

Оценка природно-антропогенного риска состоит из нескольких основных этапов. Инвентаризационный этап заключается в выявлении и систематизации существующих видов природных опасностей на основе литературных фондовых полевых и картографических материалов. Его основной задачей является сбор и анализ исходной статистической и картографической информации по основным характеристикам процессов и явлений в пространственно-временной динамике и формирование базы данных. При недостаточности информации по отдельным процессам применяется метод дешифрирования космических разновременных снимков с выделением пораженных территорий. В случае отсутствия необходимых геоданных используется метод экспертных оценок.

Аналитический этап состоит из двух стадий. На *первой стадии* производится определение критериев и расчет показателей для оценки степени опасности территории отдельного процесса и явления. Основными классификационными показателями опасности являются: *повторяемость*  $P(H)$ , характеризующая частоту возникновения опасности (случаев в год) и рассчитываемая по формуле  $P(H) = n/N$  (отношением числа лет с проявлениями к числу лет в рассматриваемый период); *сила воздействия* или интенсивность проявления классифицируется в форме разработанной для территории исследования интегральной пятибалльной шкалы, составленной на основе специальных шкал для каждого вида природной опасности; *площадь проявления* процесса и явления и его пространственное распространение.

На основе анализа показателей опасности с учетом физико-географических, геологических условий развития процессов и генезиса их формирования разрабатывается серия аналитических карт опасности, в которых проводится ранжирование территории и выделение таксонов с присвоением определенных баллов.

*Вторая стадия* заключается в расчете показателей экономического, социального рисков и наложение их на карты опасности с целью создания частных карт риска. Для определения уровня риска применяется методика А. Л. Рагозина, заключающаяся в вероятности возможных потерь через уязвимость. Под уязвимостью понимается свойство любого материального объекта утрачивать способность к выполнению своих естественных функций в результате его поражения опасностью определен-

ного генезиса, интенсивности и длительности воздействия [16]. Она рассчитывается по формуле

$$V(H) = N(H)/N(T),$$

где  $N(H)$  — количество разрушенных (подверженных) элементов опасностью;  $N(T)$  — их общее количество в оцениваемом объекте до поражения указанной опасностью;

$$\text{или } V(H) = S(H)/S(T),$$

где  $S(H)$  — площадь поражения опасностью;  $S(T)$  — общая площадь освоенной территории.

Таким образом, этот показатель позволит достоверно установить возможные потери для сложных разномасштабных объектов различного происхождения.

Рассчитав показатели повторяемости и уязвимости, определяем удельный физический риск, который устанавливается по формуле

$$R(sf) = P(H) \cdot V(H)$$

и является основным при картографировании и сравнительной оценке риска. Данный показатель характеризует физический риск удельных потерь с единицы площади в пределах всей оцениваемой территории за единицу времени. Физический риск (фактические потери в год от проявления опасного процесса и явления) определяется, как  $R(f) = S(H) \cdot P(H)$  и служит основой для определения экономического и социального рисков. Экономический риск:

$$R(e) = R(f) \cdot d(e),$$

где  $d(e)$  — плотность национального богатства, руб./км<sup>2</sup>;

социальный риск

$$R(s) = R(f) \cdot d(p) \cdot P(i),$$

где  $d(p)$  — плотность населения, чел./км<sup>2</sup>;  $P(i)$  — вероятность поражения человека, оказавшегося в зоне поражения [16, 18]. Затем методом ранжирования выделяем уровень риска по каждому таксону. Интегральная оценка риска выполняется суммированием частных оценок.

Основными методами всего исследования являются картографирование как метод точной фиксации и изображения изучаемых объектов и геоинформационное моделирование, представляющее собой совокупность программно-технологических операций по инвентаризации и формализации первичных слоев данных с последующим совмещением их в тематические покрытия ГИС для частных

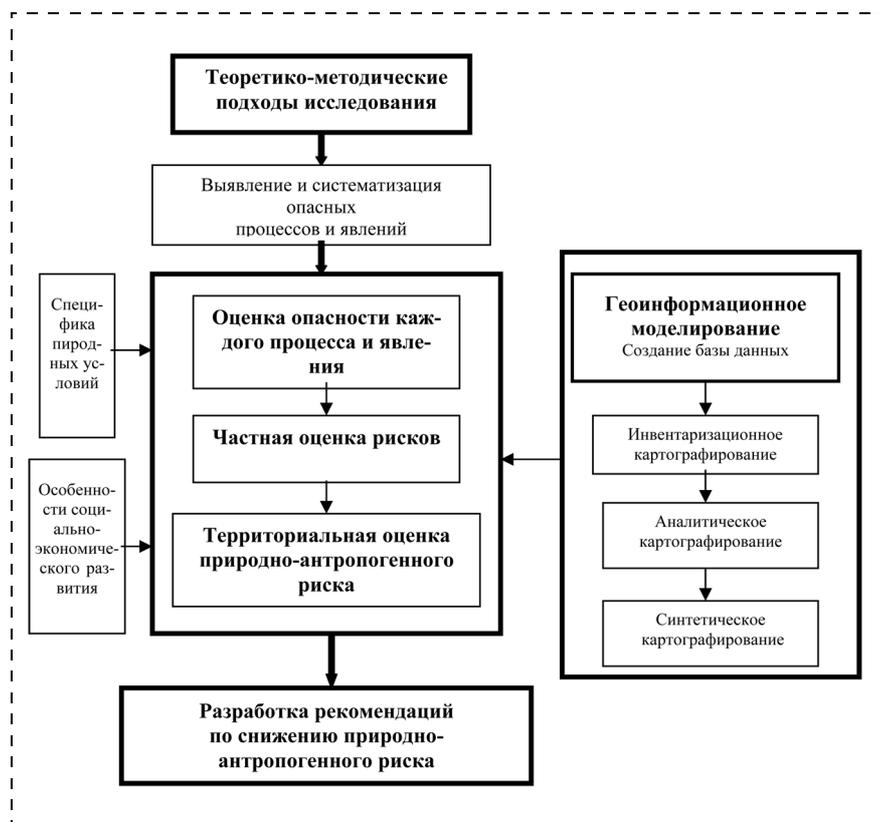


Рис. 2. Схема исследования природно-антропогенного риска на Байкальской природной территории

оценок опасности и риска, а также для интегральной оценки природно-антропогенного риска.

Результатом исследования является территориальная оценка природно-антропогенного риска, которая может стать необходимым условием для принятия управленческих решений в политике обеспечения безопасности жизнедеятельности и устойчивого развития территории.

Таким образом, обобщение российского и международного опыта в исследовании позволили конкретизировать основные понятия исследования и разработать инструментарий исследования, в котором рассмотрена методика оценки природно-антропогенного риска и разработана принципиальная схема-модель исследования рисков на Байкальской природной территории (рис. 2). Она состоит из четырех основных, взаимосвязанных блоков, отражающих весь процесс исследования, обладает логичной структурой, в которой информация может быть организована, последовательно рассмотрена.

#### Список литературы

1. EM-DAT; The OFDA. CREO international Disaster Database — www. Cred. Be / emdat — University Cathotique de Louvain — Brussels — Belgium.
2. Осипов В. И. Природные катастрофы на рубеже XXI // Вестник РАН. — 2001. — Т. 71. — № 4. — С. 291–302.
3. Экологические императивы устойчивого развития России. — СПб.: Петрополис, 1996. — 192 с.
4. Владимирова В. А., Измалков В. И. Катастрофы и экология. — М.: Центр стратегических исследований МЧС ООО "Контакт-Культура". — 2000. — 379 с.
5. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. — Новосибирск: Наука, 1977. — 302 с.
6. Демин Э. В., Татков Г. И. Последствия землетрясений на территории Бурятии. Улан-Удэ: ТОО "ОЛЗОН", 1996. — 126 с.
7. "Бурятия в цифрах. 2005 г.". Статистический сборник.
8. Карта неблагоприятных и опасных природных процессов и явлений Украины. — М.: ГУГК, 1986.
9. Герасимов И. П., Звонкова Т. В. Стихийные бедствия на территории СССР: изучение, контроль и оповещение / Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы / Под ред. Г. Уайта. — М.: Прогресс, 1978. — С. 349–365.
10. Курбатова А. С., Мягков С. М., Шныпарков А. Л. Природный риск для городов России. — М.: Изд-во НИИПИ экологии города, 1997. — 240 с.
11. Природные опасности России. Тематический том I. Природные опасности и общество / Под ред. А. Л. Рогозина. — М.: Издательская фирма "КРУК", 2003. — 345 с.
12. География, общество, окружающая среда. Том IV: Природно-антропогенные процессы и экологический риск / Под ред. С. М. Малхазовой и Р. С. Чалова. — М.: Издательский дом "Городец", 2004. — 616 с.
13. Арнольд В. И. Теория катастроф. — М.: Наука, 1990. — 127 с.
14. Пузаченко Ю. Г., Борунов А. К., Кошкарёв А. В., Скулкин В. С. Географические основы предупреждения и ликвидации последствий природно-техногенных катастроф // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. — 1991. — № 6. — С. 40–54.
15. Трофимов А. М. Географическая теория катастроф // Тез. докл. совещ. "Природные и соц.-экон. проблемы экологич. дестабилизации регионов". АН СССР. Отд. океанол., физ. атм. и геогр. Научн. совет по фундамент. геогр. и геоэкологич. проблемам. — Алма-Ата, 1991. — С. 5–6.
16. Природные опасности России. Тематический том 6. Оценка и управление природными рисками / Под ред. А. Л. Рогозина. — М.: Издательская фирма "КРУК", 2003. — 320 с.
17. Кочуров Б. И., Миронюк С. Г. Подходы к определению и классификации экологического риска // География и природные ресурсы. — 1993. — № 4. — С. 22–27.
18. Рагозин А. Л. Общие положения оценки и управления природным риском // Гэоэкология. — 1999. — № 5. — С. 417–429.

Г. П. Павлихин, д-р техн. наук, проф., В. С. Ванаев, канд. техн. наук., доц.,  
А. Ф. Козьяков, канд. техн. наук., проф., МГТУ им. Н. Э. Баумана  
E-mail: E-9@mx.bmstu.ru

## История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1976—2007 годы. Белов Сергей Викторович

*Продолжение публикаций "Безопасность жизнедеятельности", № 10, 2008 и № 3, 5, 9, 10, 2009 по истории кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приведены сведения о Белове С. В., шестом заведующим кафедрой "Охрана труда" МВТУ им. И. Э. Баумана после Синева П. И., Скороходова Н. И., Кушвида П. Г., Гладких П. А. и Юдина Е. Я., а также информация о функционировании кафедры в период с 1976 по 2007 год.*

**Ключевые слова:** кафедра, жизнедеятельность, экология, промышленная безопасность, охрана труда, безопасность труда, техника безопасности.

**Pavlihin G. P., Vanaev V. S., Kozjakov A. F.**  
*The history of chair "Ecology and Industrial safety" MSTU of name N. E. Bauman (1976—2007). Belov Sergej Viktorovich.*

*There are the continuations of the articles from "Safety of activity", № 10, 2008 and № 3, 5, 9, 10, 2009 about the chair's history "Ecology and industrial safety" MSTU of name N. E. Bauman. Information about Belov S. V. as sixth chair's manager "Protection of labour" MHTS of name N. E. Bauman after Sinev P. I., Skorokhodov N. J., Kushvid P. G., Gladkikh P. A. and Judin E. J. and too information about functioning of the chair in period with 1976 to 2007 year is given.*

**Keywords:** chair, activity, ecology, industrial safety, protection of labour, occupational safety, safety (laws).

После ухода из МВТУ им. Н. Э. Баумана Юдина Е. Я. 5 июля 1975 года обязанности заведующего кафедрой в течение полугода исполнял кандидат технических наук, доцент А. Ф. Козьяков. С 15 января 1976 года врио зав. кафедрой Э-9 был назначен доктор технических наук, доцент Сергей Викторович Белов приказом № 82лс от 19.01.76 г. [1]. Он занимал этот пост в течение 31 года и вынужден был оставить его 1 декабря 2007 году по причине болезни.

### Краткая биография

С. В. Белов родился 6 декабря 1932 года в деревне Барановское Виноградовского района Московской области. В 1940 году он поступил в Московскую среднюю школу № 633. После войны, в 1948 году он на отлично закончил семилетку и поступил в Московский авиационный моторостроительный техникум Министерства авиационной промышленности СССР, который с отличием окончил в 1952 году по специальности "Спецдвигатели".

В 1952 году С. В. Белов поступил в Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Высшее Техническое Училище им. Н. Э. Баумана, полный курс которого окончил с отличием в 1958 году по специальности "Машиностроение" с присвоением квалификации инженера-механика. Получив распределение после окончания Училища, с марта 1958 года он был зачислен на должность



Белов Сергей Викторович

инженера в организацию п/я 764 (г. Королев). Но Сергея Викторовича не оставляло желание продолжать учебу дальше, в аспирантуре. Поэтому в июле 1959 года он уволился. Руководство организации п/я 764 пошло ему навстречу и с августа 1959 года он снова в МВТУ им. Н. Э. Баумана на кафедре "Двигателестроение" (Э-1) в качестве ведущего инженера. В феврале 1961 года его освобождают от занимаемой должности в связи с зачислением в очную аспирантуру, в которой он обучался до 30 августа 1963 года.

С сентября 1963 года С. В. Белов зачислен на должность ассистента кафедры "Двигателестроение" (Э-1). Можно считать, что с этого момента начинается стремительный взлет его педагогической деятельности. Он становится заместителем декана энергомашиностроительного факультета [2]. В начале 1965 года С. В. Белов защищает кандидатскую диссертацию. Решением Совета энергомашиностроительного факультета МВТУ им. Н. Э. Баумана от 5 апреля 1965 года Белову Сергею Викторовичу присуждена ученая степень кандидата технических наук. С сентября 1965 года он переведен на должность старшего преподавателя кафедры Э-1 как избранный по конкурсу, а в сентябре 1966 года зачислен на должность и.о. доцента той же кафедры. Решением Высшей Аттестационной Комиссии от 14 февраля 1968 года (протокол № 11/90) Белов Сергей Викторович утвержден в ученном звании доцента по кафедре "Двигателестроение".

В течение последующих десяти лет работы на кафедре Э-1 С. В. Белов подготовил докторскую диссертацию и в 1976 году ему присуждена ученая степень доктора технических наук. Этим событием в своей биографии Сергей Викторович как бы подытожил этап работы на кафедре Э-1, где он читал курс "Основы теории автоматического управления ракетными двигательными установками". Практика чтения лекций по данному курсу легла в основу учебника (в соавторстве с А. И. Бабкиным, Н. Б. Рутовским, Е. В. Соловьевым), который вышел в издательстве "Машиностроение" в 1978 году [3] и переиздан в 1986 году.

### **Работа в должности заведующего кафедрой**

По воспоминаниям Сергея Викторовича Белова впервые с коллективом кафедры "Охрана труда" (Э-9) он встретился 15 января 1976 года, когда его представили как нового заведующего кафедрой. На протяжении полугода до этой даты кафедру возглавлял и. о. заведующего А. Ф. Козьяков, старейший сотрудник кафедры, опытнейший преподаватель дисциплины "Охрана труда". Состояние кафедры находилось на высоком учебно-методическом и научном уровне, о чем говорит отчет за

1975 год [4], подписанный А. Ф. Козьяковым 4 декабря 1975 года. Сергей Викторович с присущей ему энергией сразу подхватил эстафету кафедрального бытия. Первое заседание кафедры под его председательством как исполняющего обязанности заведующего кафедрой Э-9 прошло 29 января 1976 года (протокол № 128), а уже в отчете о работе кафедры Э-9 за 1975/1976 учебный год он сформулировал основные задачи, которые предстоит решать кафедре в ближайшем будущем:

"Для улучшения организации учебного процесса и повышения уровня и содержания учебно-методической работы кафедры продолжать работу по приближению преподавания курса "Охрана труда" к профилям инженерной подготовки соответствующих специальностей кафедр училища, рассматривая курс "Охрана труда" как дисциплину, необходимую для подготовки инженера широкого профиля. Большое внимание уделять переоборудованию учебной лаборатории кафедры, постановке новых лабораторных работ по наиболее важным направлениям применительно к машиностроению, вопросам охраны труда, оснащению лаборатории современной измерительной техникой, созданию стендов и наглядных пособий по курсу охраны труда. Одновременно начать работы по оснащению специализированной аудитории и продолжить работу по совершенствованию методики преподавания и содержания лекционного курса "Охрана труда", методики проведения лабораторных занятий, руководства выполнением раздела "Охрана труда" в дипломных проектах.

Для повышения квалификации преподавательского состава: постоянно расширять контакты с профилирующими и общетехническими кафедрами в части дипломного проектирования; шире использовать факультет повышения квалификации как основную форму повышения квалификации преподавателей.

В области научно-исследовательской работы кафедры основной задачей считать применение результатов этой работы в учебном процессе, а также и практическое решение различных вопросов охраны труда в народном хозяйстве и укреплении связей с промышленностью".

В сентябре 1976 года С. В. Белов переведен на должность профессора, зав. кафедрой как избранный по конкурсу по кафедре Э-9. А уже на следующий год решением Высшей аттестационной комиссии при Совете Министров СССР от 16 сентября 1977 года (протокол № 34) Белову Сергею Викторовичу присвоено ученое звание профессора по кафедре "Охрана труда".

Еще до перехода на кафедру Э-9 С. В. Белов начал заниматься проблемой пористых металлов.



В 1976 году в издательстве "Машиностроение" выходит его монография "Пористые металлы в машиностроении", которую сразу переиздали в Японии. В 1981 году книга вышла вторым изданием [5], а в 1987 году в издательстве "Металлургия" вышел справочник по этой же тематике "Пористые проницаемые материалы" под редакцией С. В. Белова [6].

Вопросы, связанные с проблематикой, затронутой в этих монографиях, нашли свое логическое продолжение в научно-исследовательской деятельности кафедры Э-9. Одним из важнейших этапов в совершенствовании НИР на кафедре в 1981 году явилось создание отраслевой лаборатории. В 1980 году было закончено формирование штатов, развернута исследовательская деятельность по основным направлениям деятельности отраслевой лаборатории, определена тематика работ. С 1981 по 1986 год основная научно-исследовательская деятельность на кафедре велась в рамках отраслевой лаборатории Министерства химического машиностроения СССР.

Базовое предприятие — НПО "Криогенмаш" (г. Балашиха) поручило отраслевой лаборатории (научный руководитель проф. С. В. Белов) реализацию трех научных направлений: 1) гидродинамика криогенных жидкостей и их очистка от примесей фильтрованием; 2) снижение шума воздухо-разделительных установок; 3) безопасность эксплуатации изолированных криогенных систем и разработка технических средств дренажа криопродуктов. Руководителями научных направлений были, соответственно, доц. Г. П. Павлихин, доц. А. С. Терехин и доц. И. В. Переездчиков.

К 1986 году сотрудниками отраслевой лаборатории были разработаны и внедрены фильтры для очистки газообразных и жидких криопродуктов; малошумные клапаны для воздухо-разделительных установок, способы и устройства безопасного дренажа криопродуктов, методики расчета процессов дренажа и инееобразования при эксплуатации ракетных баков.

Итогом комплексного исследования пористых материалов явилось создание новых высокопрочных комбинированных пористых сетчатых металлов (КПСМ), на которые в 1994 г. было получено четыре патента (авторский коллектив С. В. Белов, В. А. Большаков, Ю. М. Новиков, А. Г. Колесников) и Золотая медаль 53-й Всемирной Брюссельской выставки инноваций, новейших исследований и технологий "Эврика 2004" (С. В. Белов, Ю. М. Новиков). Применение КПСМ позволило успешно участвовать в научно-прикладных программах ракетно-космической отрасли "Бриз-М", "Тополь-М", "Купон", "Морской старт".

Как уже было отмечено, основное направление развития учебно-методической работы С. В. Белов

видел в совершенствовании лабораторной базы и в постоянном приближении курса "Охрана труда" к специфике конкретных кафедр с необходимостью отражения вопросов этого курса в дипломных проектах всех специальностей. Эти идеи и их повседневную реализацию можно проследить в архивных материалах кафедры с 1977 по 1981 годы, которые находятся в Центральном архиве города Москвы (ЦАГМ). Было создано более 30 методических разработок, цель которых заключалась в совершенствовании кафедральной лабораторной практики.

Следует обратить внимание на активное участие сотрудников кафедры в создании лабораторного практикума под редакцией Н. Д. Золотницкого [7]. Это учебное пособие, вышедшее в 1979 году, было совместной работой нескольких организаций.

Первые годы состав кафедры представлял собой коллектив, сложившийся еще при Е. Я. Юдине. Для решения задач, поставленных перед кафедрой, С. В. Белов начинает увеличивать численность коллектива. К 1980 году педагогический состав кафедры выглядел следующим образом:

1. Зав. каф., д.т.н.	Белов С. В.
2. Доцент, к.т.н.	Козьяков А. Ф.
3. Доцент, к.т.н.	Сивков В. П.
4. Доцент, к.т.н.	Строкин А.А.
5. Доцент, к.т.н.	Терехин А.С.
6. И.о. доц., к.т.н.	Павлихин Г.П.
7. И.о. доц., к.т.н.	Переездчиков И.В.
8. И.о. доц., к.т.н.	Тупов В. В.
9. Ст. преподаватель, к.т.н.	Смирнов С. Г.
10. Ст. преподаватель	Барбинов Ф. А.
11. Ст. преподаватель	Яковлева А. Ф.
12. Ассистент, к.т.н.	Морозова Л. Л.
13. Ассистент, к.т.н.	Чернышева О. В.
14. Ассистент	Кирикова О. В.
15. Доц. 0,25 ст.	Иванов Б. А.

Позже коллектив кафедры пополнили: Спиридонов В. С., Девисиллов В. А., Новиков Ю. М., Панфилов А. Е., Пластинин Ю. В., Якубович Д. М., Юдин А. Ф., Николаев В. П., Львов В. А., Рынсков Ю. О., Карпов Е. В. В дальнейшем пополнение коллектива молодежью из числа студентов и аспирантов стало постоянной практикой кафедры.

Серьезное внимание уделяет С. В. Белов созданию учебников, учебных пособий и методических указаний для дипломного проектирования по различным вопросам охраны труда, охраны окружающей среды, промышленной экологии и безопасности. С 1977 года по настоящее время их вышло более сорока наименований. Безусловный интерес представляют учебники и учебные пособия, в которых рассматривались вопросы, выходящие за пределы

традиционной охраны труда и освещающие проблемы защиты окружающей среды, промышленной экологии, эргономики и пр. Ознакомиться со всеми этими публикациями можно в полном перечне изданий, имеющемся на кафедре "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Нужно особо отметить те издания, которые пережили время и до сих пор пользуются исключительным спросом среди студентов всех технических вузов страны при работе над дипломами.

1. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. Е. Я. Юдина, С. В. Белова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1983.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник / Под общ. ред. С. В. Белова. — М.: Машиностроение, 1985.

3. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник / Под ред. С. В. Белова. — М.: Машиностроение, 1989.

К подготовке к изданию этих публикаций был привлечен практически весь педагогический состав кафедры.

Решающую роль в деле сближения тематики охраны труда с профессиональной спецификой факультетов МВТУ сыграли специальные сборники типовых расчетов, подготовленные под редакцией С. В. Белова коллективом сотрудников кафедры для всех факультетов, которые в то время (1970—1980 годы) были в МВТУ.

1. Сборник типовых расчетов по курсу "Охрана труда" (для специальностей факультета АМ) / В. П. Сивков, С. Г. Смирнов, А. Ф. Козьяков, А. С. Терехин, Э. П. Пышкина, Л. Ф. Яковлева, В. В. Тупов, Г. П. Павлихин; Под ред. С. В. Белова. — М.: Ротапринт МВТУ, 1979.

2. Сборник типовых расчетов по курсу "Охрана труда" (для студентов факультета "Энергомашиностроение") / В. П. Сивков, С. В. Белов, Л. Л. Морозова, В. В. Тупов, А. А. Строкин, И. В. Переездчиков, А. С. Терехин, А. Ф. Козьяков, В. П. Николаев, Б. А. Иванов, Э. П. Пышкина; Под ред. С. В. Белова. — М.: Ротапринт МВТУ, 1980.

3. Сборник заданий и типовых расчетов по охране труда для факультета М.: Утвержден редсоветом МВТУ как учебное пособие / А. А. Строкин, Л. Л. Морозова, А. С. Терехин, А. Ф. Козьяков, Е. А. Чернышева, С. В. Белов, Ю. М. Новиков; Под ред. С. В. Белова. — М.: Типография МВТУ, 1981.

4. Сборник типовых расчетов по курсу "Охрана труда" (для студентов конструкторско-механического факультета): Утвержден редсоветом МВТУ как учебное пособие / В. П. Сивков, Е. В. Карпов, С. Г. Смирнов, А. Ф. Козьяков, В. Н. Федосеев,

А. С. Терехин, В. А. Комаров, О. В. Кирикова, Э. П. Пышкина, Л. Л. Морозова, Л. Ф. Яковлева, В. В. Тупов, В. Н. Федосеев, Е. А. Чернышева, А. А. Строкин; Под ред. С. В. Белова, А. Ф. Козьякова. — М.: Типография МВТУ, 1984.

5. Сборник типовых расчетов по курсу "Охрана труда" для студентов факультета П: Утвержден редсоветом МВТУ как учебное пособие / В. П. Сивков, Г. П. Павлихин, С. Г. Смирнов, О. В. Кирикова и др.; Под ред. С. В. Белова. — М.: Типография МВТУ, 1986.

К концу 1970-х годов кафедре становится тесно в рамках курса "Охрана труда". В первую очередь это ощущает заведующий кафедрой С. В. Белов, который передает это ощущение всем сотрудникам кафедры. Из отчета по итогам работы за 1979 год можно узнать, что кафедрой проведена большая работа по внедрению в читаемые курсы вопросов защиты окружающей среды. В весеннем семестре 1979 года в порядке опыта С. В. Беловым был прочитан 42-часовой курс лекций "Охрана труда и инженерная экология" в потоках Э-1 и Э-8. Продолжена работа над курсом "Защита окружающей среды" для преподавателей-стажеров училища (лекторы: Белов С. В., Козьяков А. Ф., Павлихин Г. П., Терехин А. С.). Также начата работа по составлению тематики заданий к дипломному проектированию по вопросам инженерной экологии. Под руководством преподавателей кафедры (Белова С. В., Козьякова А. Ф., Терехина А. С., Строкина А. А., Сивкова В. П., Тупова В. В., Павлихина Г. П., Смирнова С. Г., Морозовой Л. Л.) выполнен ряд дипломных проектов со спецчастью, посвященной охране окружающей среды. По итогам смотра-конкурса 1979 года на лучшую учебно-методическую литературу, изданную в МВТУ им. Баумана, первое место по разделу "Руководства по дипломному проектированию" заняла разработка "Расчет и конструирование предохранительных клапанов" (авторы Белов С. В., Павлихин Г. П., Пронин Н. А.).

С 1980 года кафедра была переименована и стала называться "Охрана труда и окружающей среды". В плане разработки проблем высшего образования в 1980 году кафедрой выполнялись темы "МВТУ — Экология" и "МВТУ — Охрана труда", в которых разрабатывались вопросы экологического воспитания студентов МВТУ и совершенствования подготовки студентов по вопросам охраны труда. Начато чтение нового курса "Охрана труда и инженерная экология". Большие задачи ставила перед собой кафедра на 1981/82 учебный год в части внедрения в читаемые курсы вопросов защиты окружающей среды. В частности, во всех потоках V курса дневного отделения планируется замена ранее читавшегося курса "Охрана труда" на курс



"Охрана окружающей среды" с общим объемом нагрузки 56 часов.

С начала 1980-х годов тематика методической литературы, разрабатываемая сотрудниками кафедры, приобретает новое звучание. Начинают заметно преобладать методические разработки, относящиеся к экологической тематике и защите окружающей среды.

Кафедра ощущала потребность в новой дисциплине, рождение которой откладывалось только из-за отсутствия четкой научной концепции и соответствующего формального повода для учебно-профессиональной перестройки. Другими словами, назрела идея рассмотрения вместо локальной проблемы охраны труда в исключительно производственной сфере, глобальной проблемы безопасности человека в техносфере. Социально-общественные события в стране, развернувшиеся в конце 1980-х годов, объективно подтолкнули этот процесс. На стыке трех дисциплин, имеющих ярко выраженную прикладную направленность, "Охрана труда", "Охрана окружающей среды" и "Гражданская оборона" родилась новая научная дисциплина "Безопасность жизнедеятельности" (БЖД).

В 1989 году была создана Государственная Комиссия Совета Министров СССР по чрезвычайным ситуациям, проведшая анализ состояния травматизма в стране, в том числе производственного, который показал, что риск гибели человека на производстве на порядок ниже, чем в быту. Было отмечено, что на производстве есть пусть и не совершенная, но установленная законом система мер защиты работающих. Есть и подготовка специалистов по охране труда в вузах. Но вне производства ничего подобного нет. И главное, как отметил при вступлении в должность председатель Комиссии, зам. председателя Совета Министров Догужаев В. Х., "сознание самоценности человеческой жизни обязывает изменить отношение общества к проблеме безопасности человека, подняться над ведомственными интересами, взяться за решение, прежде всего, общих проблем безопасности деятельности (а не только труда!) человека. Нерешенность общих проблем препятствует решению частных".

Такого рода подход получил полную поддержку в высшей школе, в ВЦСПС и ЦК профсоюза работников просвещения и научных учреждений. Уже в начале 1989 года группа специалистов-энтузиастов в лице д-ра техн. наук, проф. С. В. Белова (МГТУ им. Баумана), д-ра техн. наук, проф. О. Н. Русака (Санкт-Петербургская Государственная лесотехническая академия им. С. М. Кирова), проф., канд. техн. наук В. Л. Лапина ("МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского), М. Л. Пономарева (Госкомобразование СССР), входивших в то время в состав Научно-ме-

тодического Совета по охране труда, предложила перестроить НМС под новым названием, отвечающим новым веяниям, обосновывая необходимость введения в высших учебных заведениях курса "Безопасность жизнедеятельности".

В результате появляется Приказ Государственного Комитета СССР по народному образованию от 20.03.89 г. за № 203, который утверждает Состав Научно-методического совета Госкомобразования СССР "Безопасность жизнедеятельности" под председательством д-ра техн. наук, проф. С. В. Белова (заместители В. Л. Лапин и О. Н. Русак, ученый секретарь Ю. Г. Сибаров). Это первое официальное признание понятия "Безопасность жизнедеятельности" в образовательной сфере. Эту календарную дату можно считать датой рождения *нового термина "Безопасность жизнедеятельности"*.

В состав НМС по безопасности жизнедеятельности наряду с представителями высшей школы были введены руководители научно-исследовательских институтов, начальники управлений и отделов охраны труда ряда ведущих министерств, представители ВЦСПС и ЦК профсоюза. Из Положения об НМС также следовало, что новый Совет впервые получает право активно работать не только в области безопасности труда, но и в области промышленной экологии.

Следует отметить, что даже среди членов президиума нового совета не было единства в вопросе перехода к новой терминологии. Так, О. Н. Русак, в принципе поддержавший переход от термина охрана к термину безопасность, считал, что "безопасность жизнедеятельности" это получивший распространение неудачный синоним словосочетания "безопасность деятельности" [8]. Понятие "безопасность жизнедеятельности" в словаре [8] имеет дефиницию, отличающуюся от определения, которого придерживается С. В. Белов в своей терминологии [9].

Содержание новой дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" было определено в первом варианте педагогическим коллективом кафедры МГТУ им. Н. Э. Баумана, которая с 1989 года стала называться "Промышленная экология и безопасность".

20 сентября 1989 года Учебно-методическое управление МГТУ утвердило программу курса "Промышленная экология и безопасность (Безопасность жизнедеятельности)" для машиностроительных специальностей МГТУ им. Н. Э. Баумана, состоящего из десяти тем. Авторами первого варианта программы были проф. С. В. Белов, проф. А. Ф. Козьяков, доц. В. П. Сивков. Эту календарную дату можно считать датой рождения *новой образовательной дисциплины "Безопасность жизнедеятельности"*.

Программа была представлена на совещании заведующих кафедрами "Охрана труда", проходившем в Ленинграде. Участники совещания поддержали предложение НМС о переходе к изучению в вузах страны новой дисциплины "Безопасность жизнедеятельности", включив в нее на основе интеграции содержательную часть курсов "Охрана труда" и "Промышленная экология".

27 апреля 1990 года состоялась коллегия Госкомобразования СССР, рассмотревшая вопрос "О мерах по созданию системы непрерывного образования в области жизнедеятельности". По ее результатам (Решение № 8/3) образование в области безопасности жизнедеятельности становится обязательным и непрерывным от дошкольного уровня до всех форм повышения квалификации и переподготовки специалистов. Дисциплина "Безопасность жизнедеятельности" приходит в высшую школу на смену курсам "Охрана труда" и "Гражданская оборона". Обращает на себя внимание факт признания Коллегией Госкомобразования СССР необходимости "организации подготовки специалистов по безопасности жизнедеятельности".

По мнению проф. С. В. Белова, с этим документом (Решение Коллегии Госкомобразования СССР № 8/3 от 27.04.90 г.) фактически *родилась новая наука*. Наука, отличающаяся своим масштабным подходом к проблемам жизнедеятельности человека и призванная интегрировать на общей методической основе в единый комплекс знания, необходимые для обеспечения комфортного состояния и травмобезопасности человека во взаимодействии со средой обитания и прежде всего с технологической сферой.

Во исполнение решения коллегии Госкомобразования СССР был издан Приказ № 473 от 09.07.90 "О первоочередных мерах по перестройке образования по вопросам охраны труда и гражданской обороны", определивший дальнейшую судьбу дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" в образовательной системе России. Согласно этому приказу НМС по безопасности жизнедеятельности до 1 сентября 1990 года должен был разработать и утвердить типовую программу одноименного курса, включив последний в учебные планы специальностей высшей школы вместо курса "Охрана труда".

Приказ в части, касающейся непосредственно руководителей вузов, содержал, в частности, следующие требования:

1. Включить с 1991/92 учебного года в учебные планы вместо курса "Охрана труда" дисциплину "Безопасность жизнедеятельности" общим объемом не менее 100 часов учебного времени для технических, строительных, сельскохозяйственных вузов

и 60 часов — для педагогических вузов, с обязательной сдачей экзамена по дисциплине.

2. Ввести с 1991/92 учебного года в дипломные проекты (работы) выпускников вузов специальный раздел "Безопасность и экологичность проекта", поручив проведение консультаций и экспертизы проекта преподавателям кафедр экологического профиля и "Охрана труда", выделив на их проведение не менее 4 часов.

3. Ввести в программу государственного экзамена по специальности вопросы, связанные с безопасностью труда, поручив их разработку кафедрам "Охрана труда".

4. Обеспечить в течение четырех лет, начиная с 1.09.91, прохождение повышения квалификации в области безопасности жизнедеятельности всеми преподавателями кафедр "Охрана труда" через систему ФПК педагогических кадров высших учебных заведений.

Первая типовая программа (*первое поколение*) дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" для технических, сельскохозяйственных и экономических специальностей вузов была утверждена НМС по безопасности жизнедеятельности 16.01.91 и разослана в вузы в соответствии с письмом Госкомобразования № 96-101-15/п от 15.05.01. Ее содержание во многом соответствовало программе, разработанной в МГТУ им. Н. Э. Баумана в 1989 г. [10].

В 1992 году впервые выходит конспект лекций "Безопасность жизнедеятельности". Первая часть конспекта написана проф. С. В. Беловым, доц. Л. Л. Морозовой, доц. В. П. Сивковым и издана Всесоюзной ассоциацией специалистов по охране труда (ВАСОТ) [11]. В 1993 году в том же издании выходит вторая часть конспекта лекций "Безопасность жизнедеятельности", написанная коллективом авторов из семи человек, в том числе С. В. Беловым, А. Ф. Козьяковым, Г. П. Павлихиным [12].

С 5 по 9 апреля 1993 года [13] в соответствии с решением Государственного комитета РФ по высшей школе (приказ от 10.01.93 № 12) НМС по безопасности жизнедеятельности провел в городе Зеленограде семинар-совещание заведующих кафедрами "Безопасность жизнедеятельности", "Охрана труда", "Охрана окружающей среды" на тему: "Безопасность жизнедеятельности. Научно-методические проблемы образования. Подготовка кадров". Это было первое Всероссийское совещание заведующих кафедрами вузов по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности. Организатором этой встречи был Московский инженерно-строительный институт (МИСИ). Устроителем второго совещания в 2001 году был МГТУ им. Н. Э. Баумана [13].



Третье Всероссийское совещание заведующих кафедрами вузов по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды также прошло в МГТУ им. Н. Э. Баумана 16—21 мая 2005 года [14]. Четвертое совещание проходило в сентябре 2009 года. Организация второго и третьего совещания проходила под контролем проф. С. В. Белова; организация четвертого совещания осуществлялось под контролем проф. Г. П. Павлихина.

Следует отметить, что Комитет по высшей школе приказом от 26.04.93 № 250 "Об организации экспертного совета по циклу общеинженерных дисциплин" формально, т. е. по всей юридической форме, признал дисциплину "Безопасность жизнедеятельности" общеинженерной (общепрофессиональной). Именно тогда, произошло самое главное — была утверждена новая образовательная дисциплина "Безопасность жизнедеятельности", обязательная к преподаванию во всех вузах страны. Последующие мероприятия носили уже чисто административный рутинный характер.

*Второе поколение* примерной программы дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" состояла из двух отдельных программ:

— первая — для всех направлений бакалавриата (авторы: проф. С. В. Белов, проф. В. Л. Лапин), рекомендованная Госкомвузом России 13.03.1995;

— вторая — для всех специальностей высшего образования (авторы: проф. С. В. Белов, проф. В. Л. Лапин, доц. В. А. Девисилов, доц. Л. П. Титоренко), утвержденная Госкомвузом России 27.04.1995 и согласованная с МЧС России 16.05.1995.

*Третье поколение* программы дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" (авторы: проф. С. В. Белов, доц. В. А. Девисилов, проф. В. Л. Лапин) рекомендовано Минобразованием России для всех направлений и специальностей высшего профессионального образования. Эта программа была согласована с МЧС России (14.12.2000) и Минтрудом России (13.11.2000), утверждена Минобразованием России 17.12.2000 года и действует по настоящее время.

Приказом Госкомвуза России в 1994 году вводится новый Классификатор направлений и специальностей высшего профессионального образования (Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования), где впервые образована группа, включающая новые специальности "Безопасность жизнедеятельности в техносфере", "Инженерная защита окружающей среды", "Безопасность технологических процессов и производств", "Защита в чрезвычайных ситуациях",

а также бакалавриат и магистратура по защите окружающей среды.

В 1995 году был разработан, утвержден и введен в действие Государственный общеобразовательный стандарт выпускника по специальности "Безопасность жизнедеятельности" с квалификацией — *учитель безопасности жизнедеятельности*, разработанный РГПУ им. А. И. Герцена (г. Санкт-Петербург). Реализация этого образовательного стандарта в вузах России позволила начать подготовку учителей по курсу ОБЖ для средней общеобразовательной школы.

Необходимо отметить, что активная организаторская деятельность в рассматриваемой области становления новой дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" и достигнутые результаты по подготовке специалистов по безопасности жизнедеятельности неразрывно связаны с деятельностью НМС по безопасности жизнедеятельности и Совета УМО при МГТУ им. Н. Э. Баумана, а в первую очередь инициатора всей этой работы проф., д-ра техн. наук, зав. кафедрой "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана Сергея Викторовича Белова. Наибольший личный вклад в деятельность Советов и в решение проблемных задач внесли также (в то время) ведущий методист Главного учебно-методического управления Госкомобразования СССР Пономарев Н. Л., заведующий кафедрой, доц. Московского авиационно-технического института имени К. Э. Циолковского [Лапин В. Л.], заведующий кафедрой, проф. Ленинградской лесотехнической академии им. С. М. Кирова Русак О. Н., доц. МГТУ имени Н. Э. Баумана Девисилов В. А., заведующий кафедрой, проф. Российского Государственного Университета нефти и газа имени И. М. Губкина [Прусенко Б. Е.], проф. Медведев В. Т., проф. Матрюков Б. С., доц. Кукин П. П.

Значимость этой работы была высоко оценена руководством страны. Группа преподавателей ведущих вузов была удостоена премии Президента Российской Федерации в области образования. В числе лауреатов два представителя МГТУ им. Н. Э. Баумана: проф. С. В. Белов и доц. В. А. Девисилов.

Все это время сотрудники кафедры "Промышленная экология и безопасность", которая с 1990 года стала называться "Экология и промышленная безопасность", не сидели сложа руки. Под руководством заведующего кафедрой Сергея Викторовича Белова коллектив работал над созданием первого учебника по новой дисциплине "Безопасность жизнедеятельности". Конечно, в основу книги легли конспекты лекций, изданные ВАСОТ, которые предназначались для преподавателей вузов. Но объем нового учебника был существенно больше,

а в содержании были учтены результаты практической обкатки лекционного материала для различных аудиторий.

В 1999 году под редакцией С. В. Белова впервые вышла в свет книга "Безопасность жизнедеятельности", рекомендованная Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений (последующие семь изданий: 1999 — второе издание, 2001 — третье, 2004 — четвертое, 2005 — пятое, 2006 — шестое, 2007 — седьмое, 2009 — восьмое). В 2000 году выходит аналогичная книга "Безопасность жизнедеятельности", рекомендованная Министерством образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов учреждений среднего профессионального образования (последующие пять изданий: 2002 — второе, 2003 — третье, 2004 — четвертое, 2006 — пятое, 2009 — шестое).

Сфера интересов С. В. Белова по становлению "Безопасности жизнедеятельности" не ограничивается решением перечисленных выше проблем. С января 2001 года по инициативе Б. И. Антонова и С. В. Белова начинает издаваться ежемесячный научно-практический и учебно-методический журнал "Безопасность жизнедеятельности" (главный редактор С. В. Белов), входящий в перечень журналов, в которых по рекомендации ВАК РФ должны публиковаться научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. С июля 2003 года журнал начинает выходить с приложением [15, 16]. С первого номера С. В. Белов использовал страницы журнала для продвижения идей совершенствования дисциплины "Безопасность жизнедеятельности". Именно здесь он ставил самые насущные вопросы, связанные со становлением и развитием новой научной дисциплины. В том, какая огромная работа была проведена С. В. Беловым в этом направлении, можно убедиться, проанализировав публикации С. В. Белова по тематике БЖД за период существования журнала.

Трудно переоценить роль С. В. Белова в становлении журнала. К сожалению, в декабре 2007 года Сергей Викторович был вынужден оставить место главного редактора в связи с уходом на пенсию по болезни, но он продолжает принимать активное участие в его работе. Так, под его редакцией в Приложении к журналу издан словарь-путеводитель "Безопасность жизнедеятельности. Терминология". Журнальные публикации С. В. Белова, как правило, находят свое логическое завершение в издании учебников и учебных пособий. Готовится к изданию учебное пособие "Введение в специальность". Одной из последних (по состоянию на май 2009 года) монографических публикаций по тематике "Безопас-

ность жизнедеятельности", подготовленной С. В. Беловым, является учебное пособие "Безопасность жизнедеятельности. Терминология", которое в соавторстве с В. С. Ванаевым и А. Ф. Козьяковым вышло в 2007 году в издательстве МГТУ им. Н. Э. Баумана [17] в сокращенном виде и в 2008 году в издательстве КНОРУС [18] в полной версии.

Сухая статистика событий рождения новой дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" дает наглядное представление о невероятном темпе ее становления и бурном развитии в настоящее время.

При вступлении С. В. Белова в должность в 1976 году вышло учебное пособие Ф. А. Барбинова и А. М. Галеевой "Охрана природы" под редакцией Е. Я. Юдина, уже ушедшего тогда из Училища. Эту новую и важную тенденцию С. В. Белов продолжил. Под его редакцией в 1983 году вышел учебник "Охрана окружающей среды" (второе издание в 1991 году). Логическим продолжением этой идеи, рассматривающей безопасность в рамках техносферы, явилось включение в учебный курс кафедры новой для нее дисциплины "Экология" и подготовка силами преподавателей-совместителей по экологии курса лекций под редакцией С. В. Белова [19]. В 2005 году этот курс лекций вышел в виде учебного пособия, издание которого было повторено в 2006 и 2007 годах.

Одним из важнейших событий в жизни кафедры было получение новых площадей. Это произошло в начале 2004 года. Из главного корпуса кафедра переехала в корпус "Энергомашиностроение". Событие, о котором мечтали практически все предыдущие заведующие кафедрой как о чем-то несбыточном, явилось апофеозом деятельности Сергея Викторовича Белова как блестящего администратора.

Такая невероятно напряженная работа не могла не сказаться на его здоровье. В 1999 году он серьезно заболел. Полностью оправиться от болезни он смог только через полтора года, но с 1 декабря 2007 года Сергей Викторович все же оставил пост заведующего кафедрой "Экология и промышленная безопасность", уйдя на пенсию. В эти вынужденные перерывы обязанности зав. кафедрой исполнял его заместитель Сергей Георгиевич Смирнов.

В настоящее время Сергей Викторович продолжает внимательно интересоваться жизнью кафедры и принимать самое активное участие в ее работе [20].

Его исключительный вклад в технику, науку и педагогику по достоинству был оценен. Постановлением Государственного комитета СССР по народному образованию и Центрального комитета профсоюза работников просвещения, высшей школы и научных учреждений № 11-1/15 от 06.05.88 ему был вручен диплом о присуждении премии II степени за лучшую научную работу "Разработка



и внедрение методов и устройств безопасной эксплуатации криогенных систем" (цикл работ). За достигнутые успехи в развитии народного хозяйства СССР он четырежды награждался медалями ВДНХ СССР: 1981, 1984 — бронзовой, 1988, 1990 — серебряной. За заслуги в области высшего образования СССР дважды награждался значком Министерства высшего и среднего специального образования СССР и ЦК профсоюза "За отличные успехи в работе".

25 июня 1998 года Сергея Викторовича Белова избирают действительным членом Российской академии естественных наук.

Указом Президента Российской Федерации от 12 декабря 1998 года С. В. Белову присвоено почетное звание "Заслуженный деятель науки Российской Федерации".

Решением Президиума Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности № 106 от 28.XI.2002 года Белов Сергей Викторович удостоен почетного звания "Заслуженный деятель науки" и награжден "Звездой ученого".

На основании решения Ученого Совета МГТУ им. Н. Э. Баумана от 27 июня 2005 года, протокол № 10 С. В. Белов награжден почетным знаком "За заслуги перед Университетом" и юбилейным знаком "175 лет МГТУ имени Н. Э. Баумана".

Коллектив кафедры, которую на протяжении 31 года возглавлял Сергей Викторович, присоединяется ко всем добрым пожеланиям, какие он только принимал за свою жизнь, и желает ему твердости духа в дополнение к его железной воле, которую он постоянно проявляет при реализации своих подвижнических идей. Коллектив старается быть достойным его авторитета, а посему вынужден все время беспокоить его по самым разным вопросам, прислушиваясь к его мнению, советам, рекомендациям.

#### Список литературы

1. Белов С. В., Тупов В. В., Козьяков А. Ф., Спиридонов В. С. Становление и развитие научной деятельности кафедры "Экология и промышленная безопасность" // Безопасность жизнедеятельности. — 2005. — № 11. — С. 2—7.
2. Федоров И. Б., Павлихин Г. П. Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. 175 лет. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 352 с.
3. Основы теории автоматического управления ракетными двигателями установками: Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов высших технических учебных заведений / А. И. Бабкин, С. В. Белов, Н. Б. Рутковский, Е. В. Соловьев. — М.: Машиностроение, 1978. — 328 с.
4. ЦАГМ (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Опись № 4. Дело № 3864. (На 20 листах). Министерство высшего и среднего специального образования СССР.

Московское высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана. Кафедра Охраны труда (Э-9), План и отчет о научно-исследовательской работе кафедры за 1975 год.

5. Белов С. В. Пористые металлы в машиностроении. — 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1981. — 247 с.
6. Пористые проницаемые материалы: Справ. изд. / Под ред. С. В. Белова. — М.: Металлургия, 1987. — 335 с.
7. Лабораторный практикум по охране труда: Учеб. пособие для вузов / С. Г. Смирнов, Ф. А. Барбинов, А. Ф. Козьяков, А. С. Терехин, Э. П. Пышкина и др.; Под ред. Н. Д. Золотницкого. — М.: Высш. школа, 1979. — 215 с.
8. Безопасность деятельности: Энциклопедический словарь / Под ред. О. Н. Русака. — СПб.: Информационно-издательское агентство "ЛИК", 2003. — 504 с.
9. Белов С. В., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. Безопасность жизнедеятельности. Терминология: Учеб. пособие / Под ред. С. В. Белова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 304 с.
10. Белов С. В. Примерная программа дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" (четвертое поколение) // Безопасность жизнедеятельности. — 2004. — № 12. — Приложение.
11. Белов С. В., Морозова Л. Л., Сивков В. П. Безопасность жизнедеятельности: Конспект лекций. Ч. 1. — М.: ВАСОТ, 1992.
12. Безопасность жизнедеятельности. Конспект лекций. Ч. 2 / П. Г. Белов, А. Ф. Козьяков, С. В. Белов, Г. П. Павлихин, Д. М. Якубович, В. Г. Давыдов, Б. А. Еременко; Под ред. С. В. Белова. — М.: ВАСОТ, 1993. — 164 с.
13. Белов С. В. Становление, развитие и итоги научно-педагогической деятельности в области БЖД в России в конце XX—начале XXI веков / Сборник материалов Всероссийского совещания заведующих кафедр вузов по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности, 9—13 апреля 2001 г. (Часть 1). — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. — 152 с.
14. Итоговые материалы 3-го Всероссийского совещания заведующих кафедрами по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды (16—21 мая 2005 г.). Под ред. С. В. Белова и В. А. Девисилова. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 159 с.
15. Белов С. В., Ванаев В. С., Антонов Б. И. "Безопасность жизнедеятельности" в информационном поле научно-технической периодики // Безопасность жизнедеятельности. — 2006. — № 10. — С. 2—4.
16. Ванаев В. С., Русак О. Н., Павлихин Г. П. Сто номеров журнала "Безопасность жизнедеятельности" // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 4. — С. 2—5.
17. Белов С. В., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. Безопасность жизнедеятельности. Терминология: Учеб. пособие / Под ред. С. В. Белова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 304 с.
18. Белов С. В., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. Безопасность жизнедеятельности. Терминология: учебное пособие / Под ред. С. В. Белова. — М.: КНОРУС, 2008. — 400 с.
19. Экология: Курс лекций / М. Н. Корсак, С. А. Мошаров, А. П. Пестряков и др.; Под ред. проф. С. В. Белова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 212 с.
20. Белов С. В. Из задуманного, предложенного, но еще не признанного // Материалы IV Всероссийского совещания заведующих кафедрами вузов по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды и Юбилейной учебно-методической конференции, посвященные 20-летию дисциплины "Безопасность жизнедеятельности". — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — С. 20—26.

## О межгосударственном стандарте 31191.2—2004 (ИСО 2631-2: 2003)

### "Вибрация и удар. Изменение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрации внутри зданий"

Этот ГОСТ введен в действие с 1 июля 2008 г.

В разделе "Область применения" стандарта отмечается, что он устанавливает общие требования, относящиеся к измерению и оценке общей вибрации внутри зданий с точки зрения ее влияния на степень комфорта обитателей. При этом стандарт распространяет метод измерения и оценки вибрации по ГОСТ 31191.1—2004 на случай, когда типичная поза обитателей здания, в которой они испытывают воздействие вибрации, не определена. Для этой цели в стандарте установлена функция частотной коррекции  $W_m$ , которую применяют в диапазоне частот от 1 до 80 Гц. Обращается внимание, что стандарт не распространяется на оценку воздействия вибрации на конструкцию здания. Подчеркивается, что стандарт не следует применять для оценки воздействия вибрации на здоровье и безопасность людей, и в нем не установлены допустимые значения вибрации.

В разделе "Нормативные ссылки" дается перечень стандартов ИСО и внесистемных стандартов, используемых в рассматриваемом документе.

В разделе "Термины и определения" стандарта разъяснение тех из них, которые фигурируют в ГОСТ 31191.2—2004. Отметим приведенную классификацию типов вибрации согласно стандарту. Различают следующие типы вибрации:

— по непрерывности действия — непрерывная, прерывистая, импульсная;

— по уровню — постоянная (на наблюдаемом интервале действия вибрации максимальное и минимальное значение измеряемого параметра различаются не более чем в два раза) и непостоянная.

В разделе "Измерение вибрации внутри здания" указывается, что вибрацию измеряют одновременно в трех взаимно перпендикулярных направлениях. При этом система координат должна быть привязана к конструкции здания, а направление ее осей  $x$ ,  $y$  и  $z$  должны совпадать с направлениями соответствующих осей для стоящего человека, (определено ГОСТ 31191.1—2004).

Оценку воздействия вибрации на человека проводят с учетом того, где, в каком количестве могут находиться в здании люди и чем они заняты. Вибрацию внутри помещения измеряют в тех местах, где ее значение (с учетом частотной коррекции)

максимально, или в специально определенных (исходя из целей оценки) точках. Стандартом рекомендуется проведение нескольких измерений вокруг выбранной точки, чтобы оценить разброс значений параметра вибрации.

Отмечается, что в качестве измеряемого параметра рассматриваемый документ устанавливает

Значения функции частотной коррекции  $W_m$  для сигнала ускорения

$X^1)$	Частота, Гц		$W_m$	
	Номинальное значение	Истинное значение	В абсолютных единицах	В относительных единицах (дБ)
-7	0,2	0,1995	0,0629	-24,02
-6	0,25	0,2512	0,0994	-20,05
-5	0,315	0,3162	0,0156	-16,12
-4	0,4	0,3981	0,243	-12,29
-3	0,5	0,5012	0,368	-8,67
-2	0,63	0,6310	0,530	-5,51
-1	0,8	0,7943	0,700	-3,09
0	1	1,000	0,833	-1,59
1	1,25	1,259	0,907	-0,85
2	1,6	1,585	0,934	-0,59
3	2	1,995	0,932	-0,61
4	2,5	2,512	0,910	-0,82
5	3,15	3,162	0,872	-1,19
6	4	3,981	0,818	-1,74
7	5	5,012	0,750	-2,50
8	6,3	6,310	0,669	-3,49
9	8	7,943	0,582	-4,70
10	10	10,00	0,494	-6,12
11	12,5	12,59	0,411	-7,71
12	16	15,85	0,337	-9,44
13	20	19,95	0,274	-11,25
14	25	25,12	0,220	-13,14
15	31,5	31,62	0,176	-15,09
16	40	39,81	0,140	-17,10
17	50	50,12	0,109	-19,23
18	63	63,10	0,0834	-21,58
19	80	79,43	0,0604	-24,38
20	100	100,0	0,0401	-27,93
21	125	125,9	0,0241	-32,37
22	160	158,5	0,0133	-37,55
23	200	199,5	0,00694	-43,18
24	250	251,2	0,00354	-49,02
25	315	316,2	0,00179	-54,95
26	400	398,1	0,000899	-60,92

<sup>1)</sup>  $X$  — номер третьоктавной полосы частот согласно ГОСТ 17168—82.



среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения. В обязательном приложении А дано точное определение функции частотной коррекции  $W_m$ , используемой для измерений по каждому направлению. В таблице приведены значения передаточной функции для сигнала ускорения на среднегеометрических частотах третьоктавных полос с учетом фильтрации сигнала в полосе частот от 1 до 80 Гц. При этом разъясняется, что если поза человека во время воздействия на него вибрации точно определена, используют функции частотной коррекции по ГОСТ 31191.1—2004.

При оценке вибрации рекомендуется вначале отнести ее к одному из основных типов, встречающихся на практике и вызывающих жалобы обитателей здания, так как может оказаться, что разным типам вибрации могут соответствовать разные допустимые значения параметров вибрации. Для единства подхода к оценке вибрации стандартом определены следующие виды источников вибрации:

- источник постоянного воздействия (например, непрерывно работающий промышленный объект);
- источник регулярно повторяющегося воздействия (например, проезжающие транспортные средства);
- источник ограниченного по времени (непостоянного) воздействия (например, строительные работы).

Во всех случаях требования к средствам измерений должны соответствовать ГОСТ ИСО 8041—2006 (ИСО 8040: 2005 IDT).

В разделе стандарта "Реакция человека на вибрацию внутри здания" даются следующие комментарии по этой проблеме. Жалобы на повышенную вибрацию в здании могут начать поступать от его обитателей сразу после превышения ею порога чувствительности. Иногда такие жалобы обусловлены вторичными эффектами, например шумом, излученным вибрирующими поверхностями (переизлученным шумом). В общем случае восприятие

человеком вибрации зависит от того, насколько он ожидал ощутить вибрацию такого уровня, от экономических и социальных факторов, а также от наличия или отсутствия других внешних воздействий. Обращается внимание, что оценка вибрации в зданиях не связана с риском кратковременного расстройства здоровья или снижением производительности труда, поскольку вибрация такого высокого уровня встречается редко (если все же установление этого критерия необходимо, следует использовать ГОСТ 31191.1—2004).

Как правило, для ограниченного по времени воздействия (например, связанного с проведением строительных работ) допустимыми считают более высокие уровни вибрации, чем для постоянного или регулярно повторяющегося воздействия. Дискомфорт, обусловленный вибрацией, может быть снижен в этом случае проведением соответствующих мероприятий (например, использованием предупреждающих сигналов или объявлений о начале проводимых работ). Отмечается, что если вибрация действует в течение длительного времени, это может вызвать эффект привыкания и соответствующее уменьшение числа жалоб.

В рекомендуемом приложении В представлено руководство по сбору данных для оценки реакции человека на вибрацию внутри зданий, где дается перечень всех параметров, которые могут влиять на реакцию человека на вибрацию, включая сопутствующие явления (звуковая вибрация, визуальные воспринимаемые колебания, акустические шумы, вызываемые внешними источниками — автотранспортом, железнодорожным транспортом, и т. п.).

**А. Ф. Козьяков**, канд. техн. наук, проф.,  
МГТУ им. Н. Э. Баумана  
E-mail: E-9@mx.bmstu.ru

## 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) 550-0766, e-mail: rusak-maneb@mail.ru**

Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. В. Конова*. Корректор *М. Г. Джавадян*.

Сдано в набор 10.12.09. Подписано в печать 22.01.10. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 8,18. Заказ 100.

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.