



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

8(116)
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

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Петренко В. А. Прогнозы среднедекадных значений температуры воздуха и скорости ветра в зимний период 2014 года на территории проведения Олимпийских игр 2

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Белов П. Г., Комаревцева Т. А. Универсальный способ прогнозирования риска техногенных происшествий 9

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Катин В. Д., Косыгин В. Ю. Пути повышения экологической эффективности сжигания топлива в котельных предприятий железнодорожного транспорта в условиях Дальнего Востока 18

Кобылянский И. Г. Экологические аспекты эксплуатации судовых холодильных установок 22

Красногорская Н. Н., Якупова Л. М., Нафикова Э. В., Ферапонтов Ю. И., Елизарьев А. Н., Фашевская Т. Б. Интеграция генетических алгоритмов и искусственных нейронных сетей для прогнозирования качества речной воды 24

Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н., Предин В. В., Зиновьев Н. Г. Экологические аспекты применения термитных смесей в машиностроении 31

Свергузова С. В., Свергузова Ж. А., Тарасова Г. И. Эффективная очистка сточных вод как фактор экологической безопасности жизнедеятельности 36

Алыков Н. М., Шачнева Е. Ю. Изучение сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А 39

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Тимме Е. А., Шмакова Л. В. Оценка функциональной надежности спасателей при проведении работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций в условиях высокогорья 43

Водяник В. И. Взрывы бытового газа не должны приводить к разрушению зданий 48

ОБРАЗОВАНИЕ

Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. Кафедре Э-9 "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана — 80 лет 53

Приложение. Белов С. В., Симакова Е. Н. Ноксология. Учебное пособие. Выпуск 3

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 551.6

В. А. Петренко,

Специализированный центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей, г. Сочи

E-mail: pogodawadim@rambler.ru

Прогнозы среднедекадных значений температуры воздуха и скорости ветра в зимний период 2014 года на территории проведения Олимпийских игр

Рассмотрены результаты статистического анализа многолетних гидрометеорологических наблюдений в районе проведения XXII зимних Олимпийских и XI Паралимпийских игр в Краснополянском поселковом округе города-курорта Сочи. Полученный тренд был рассчитан для важнейших метеоэлементов, таких как средняя температура воздуха и средняя скорость ветра. Результаты анализа приведены для прогноза значений этих метеоэлементов на время проведения Олимпийских игр — в зимний период 2014 г. Установлено, что средняя температура воздуха в период проведения Олимпийских игр "Сочи-2014" будет выше средне-многолетнего значения, а скорость ветра практически совпадет с среднемноголетним значением.

Ключевые слова: прогноз, фоновый мониторинг, температура воздуха, скорость ветра, линейная зависимость, временные ряды метеопараметров.

Petrenko V. A. Forecasts of the medium of decade values of air temperature and wind speed during winter 2014 on the territory of the Olympic Games

The results of statistical analysis of long-term meteorological observations in the area of the XXII Winter Olympic Games and XI Paralympic Games in Krasnopolyanskaya the village district of the city-resort of Sochi. The resulting trend has been calculated for the most important meteorological parameters such as average temperature and average wind speed. The results are given for predicting the values of these meteorological parameters at the time of the Olympic Games — in the winter of 2014. Found that the average air temperature during the Olympic Games "Sochi-2014" will be above average annual value, and the wind speed is practically the same as the averages.

Keywords: the forecast, background monitoring, air temperature, speed of a wind, linear dependence, time numbers of meteorological parameters.

Введение

В феврале-марте 2014 г. в городе-курорте Сочи планируется проведение важнейших международных спортивных мероприятий — XXII зимних Олимпийских игр (с 7 февраля по 23 февраля) и XI Паралимпийских зимних игр (с 7 марта по 16 марта). До проведения Олимпийских игр, в январе 2014 г., в зимний сезон 2012—2013 гг. намечаются проведения различного уровня соревнований, в том числе международного уровня с целью определения готовности олимпийских объектов. Схема размещения основных спортивных объектов представлена на рис. 1 (см. 2-ю стр. обложки). Как видно из этого рисунка, спортивные объекты и места проведения соревнований сосредоточены в горном кластере на высотах 500...2000 м.

Одно из главных условий успешного проведения Олимпиады — состояние погоды зимой 2014 г. в горном кластере района Красной Поляны. Практически все соревнования связаны со снегом, а снег, как известно, существует при отрицательных температурах. Количество и производительность установок по искусственному оснежению спортивных трасс напрямую зависят от температуры воздуха. При выпадении дождя или смешанных осадков, которые бывают при положительных температурах воздуха, основные спортивные мероприятия могут быть отменены или перенесены. Важным метеоэлементом является также значение скорости ветра, так как многие виды соревнований, особенно прыжки на лыжах с трамплинов, отменяются или переносятся при скорости ветра выше 3,5...7,0 м/с, поэтому прогноз значений метеоэлементов на период проведения игр "Сочи-2014" является важной и актуальной проблемой. Указанные параметры, в том числе их динамика по дням и часам, тесно связаны с безопасностью спортсменов, так как многие виды спорта, включенные в программу зимних игр, связаны с повышенным риском.

Существуют различные методы долгосрочного прогноза [1, 2]. Их использование на практике осуществлялось для прогнозирования изменений температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы в степной и предгорной зонах центральной части Северного Кавказа [3].

Наиболее важными выводами, полученными в этих исследованиях, по мнению автора, являются [3]:

— повышение средней температуры воздуха обусловлено увеличением минимальной температуры воздуха, т. е. повышением нижней границы интервала изменения метеоэлемента. Значимых изменений максимальной температуры воздуха на рассматриваемом отрезке времени не наблюдается;

— характер изменения природно-климатических характеристик территорий, расположенных на близком расстоянии, может оказаться различным.

В данной разработке использовалась методика прогноза с помощью регрессионного анализа. При прогнозе метеоэлементов с использованием уравнений регрессии предполагается, что текущие условия или направление их изменения будут сохраняться на протяжении некоторого времени. Периодические уточнения позволят вносить коррективы в прогноз. В результате полученных эмпирических формул прогноза можно рассчитать величины метеоэлементов на заданное время.

С учетом этих положений в настоящей статье приводится попытка подекадного прогноза средней температуры воздуха и средней скорости ветра по району Красной Поляны на январь-март 2014 г.

Прогнозирование метеоэлементов

Для прогнозирования динамики скорости ветра и температурного режима воздуха использованы временные ряды декадных значений средней температуры воздуха и средней скорости ветра за январь, февраль, март; и ряды декадных значений средней температуры воздуха и средней скорости ветра в феврале по четырем основным срокам (00, 06, 12, 18 час Всемирного скоординированного времени (ВСВ), совпадающем со временем по Гринвичу, соответственно 04, 10, 16, 22 час по Московскому времени). При этом использовались данные метеостанций (м/с), расположенных в Красной Поляне: станции фонового мониторинга (СФМ) "Красная Поляна", м/с "Кордон Лаура" (565 и 575 м над уровнем моря (н. у. м.), соответственно) за период 1985—2009 гг., и данные снеговой метеостанции (СЛС) "Аибга" (2225 м н. у. м.) за весь период наблюдения (2004—2010 гг.).

Основные соревнования в горном кластере предполагается проводить на следующих высотах н. у. м.: от 725 м (старт) до 590 м (финиш) — прыжки на лыжах с трамплинов; от 850 м (старт) до 680 м

(финиш) — сани и бобслей; 1000 м — сноуборд и фристайл; 1500 м — лыжные гонки и биатлон; от 2290 м (старт) до 950 м (финиш) — скоростной спуск и слалом-гигант.

Отметим, что во временных рядах метеоэлементов заключена практически вся информация о характере влияния на их динамику различных факторов. Временные ряды метеоэлементов на рассматриваемом отрезке времени теоретически формируются под влиянием линейной составляющей зависимости. Анализ линейной составляющей прогнозируемых метеоэлементов выражается зависимостью:

$$Y(x) = a_0 + b_0x, \quad (1)$$

где a_0 и b_0 — коэффициенты линейной составляющей в динамике метеоэлемента; $Y(x)$ — среднедекадные значения температуры воздуха или скорости ветра; x — количество лет исследуемого ряда.

Для составления подекадного прогноза на январь-март 2014 г. из среднесуточных значений температуры воздуха и скорости ветра были получены среднедекадные значения этих величин за 25 лет по данным СФМ "Красная Поляна" и м/с "Кордон Лаура" и за 7 лет по данным СЛС "Аибга". Затем были составлены статистические выборки для исследования аналитической связи между результативным (метеоэлемент) и факторным (декада года) признаками.

На рис. 2 и 3 приведены линейные тренды декадных значений средней скорости ветра и средней температуры воздуха в феврале по одному сроку ВСВ по данным СФМ "Красная Поляна". Для этих выборок были построены тренды на декады января-марта до 2014 г.

Прогноз метеоэлементов по данным СЛС "Аибга" в связи с ограниченными данными (короткий ряд наблюдений) проводится методом скользящей средней и только на один год вперед (рис. 4 и 5).

При отображении парной регрессии графически было установлено, что ход метеоэлементов представляет ломаную линию, увеличиваясь или уменьшаясь в арифметической прогрессии. Это свидетельствовало о наличии линейной связи между годами и значениями метеоэлементов.

Тренд на декады января-марта до 2014 г. по данным СФМ "Красная Поляна" и м/с "Кордон Лаура" были составлены на основе метода наименьших квадратов. Решая систему нормальных уравнений [4]

$$\begin{cases} a_0n + b_0\sum x = \sum Y; \\ a_0\sum x + b_0\sum x^2 = \sum tY, \end{cases} \quad (2)$$

где n — число членов ряда, были получены коэффициенты a_0 и b_0 к количеству интервалов выборки,



в данном случае к годам; на основе этих коэффициентов были составлены линейные зависимости метеоэлементов от годов, представленные в табл. 1 и 2.

Графики и тренды были получены с помощью программы Excel.

Ветровой и температурный режим в районе СФМ "Красная Поляна" и м/с "Кордон Лаура"

В холодную половину года в связи с увеличением барических градиентов отмечается увеличение скорости ветра. Наибольшее число дней с сильным ветром отмечается в январе-марте.

СФМ "Красная Поляна" расположена на левом борту долины реки Мзымта, и здесь особенно четко проявляется суточный ход горно-долинных ветров. Наименьшая повторяемость штилей отмечается в дневные часы, а максимальная — ночью и рано утром. Скорость ветра имеет хорошо выраженный суточный ход, определяемый, в основном, суточным ходом температуры воздуха.

В районе пос. Красная Поляна в 12 час ВСВ (16 час Московского времени) в январе-марте скорость ветра максимальная за сутки: среднедекадные значения составляют 1,3...1,7 м/с, а наступление минимальной скорости ветра за сутки не имеет чет-

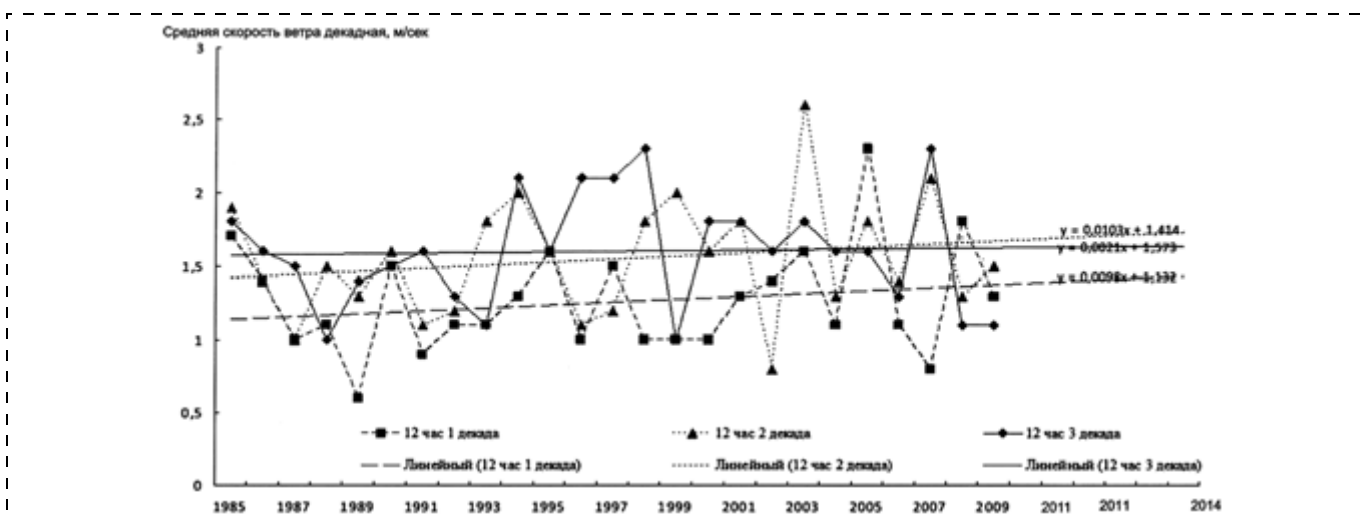


Рис. 2. Основные тренды декадных значений средней скорости ветра (м/с) в феврале по срокам ВСВ по данным СФМ "Красная Поляна"

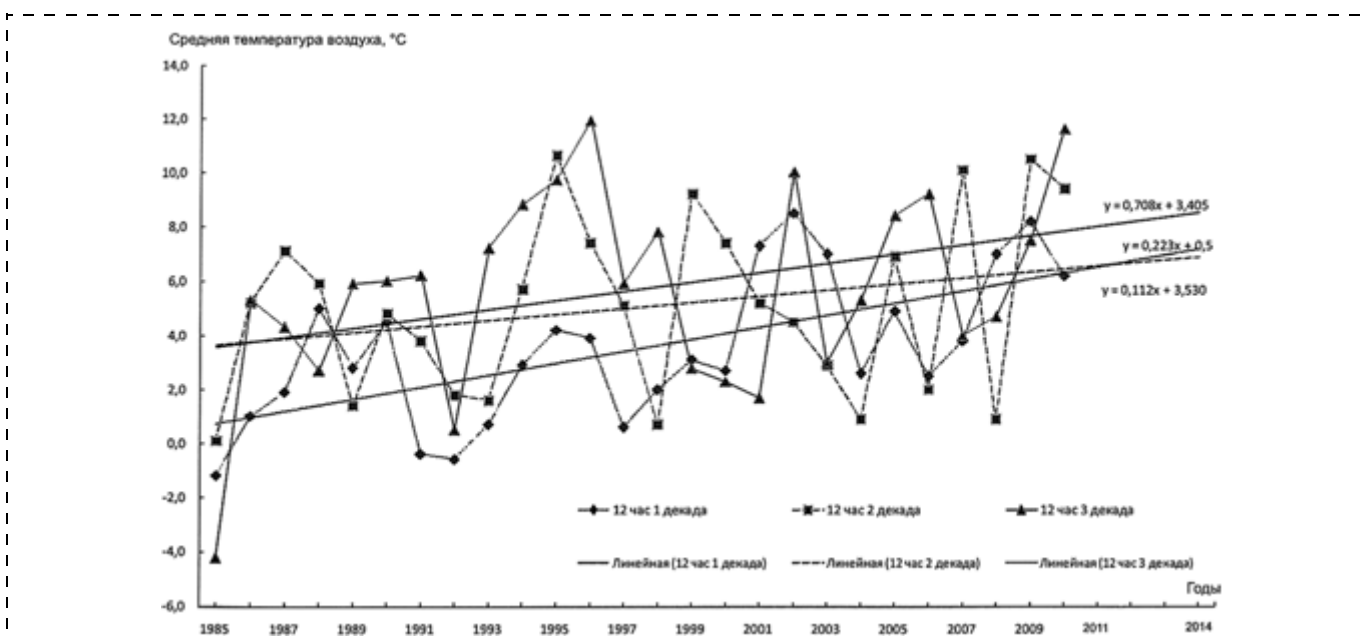


Рис. 3. Основные тренды декадных значений средней температуры воздуха (°C) в феврале по срокам ВСВ по данным СФМ "Красная Поляна"

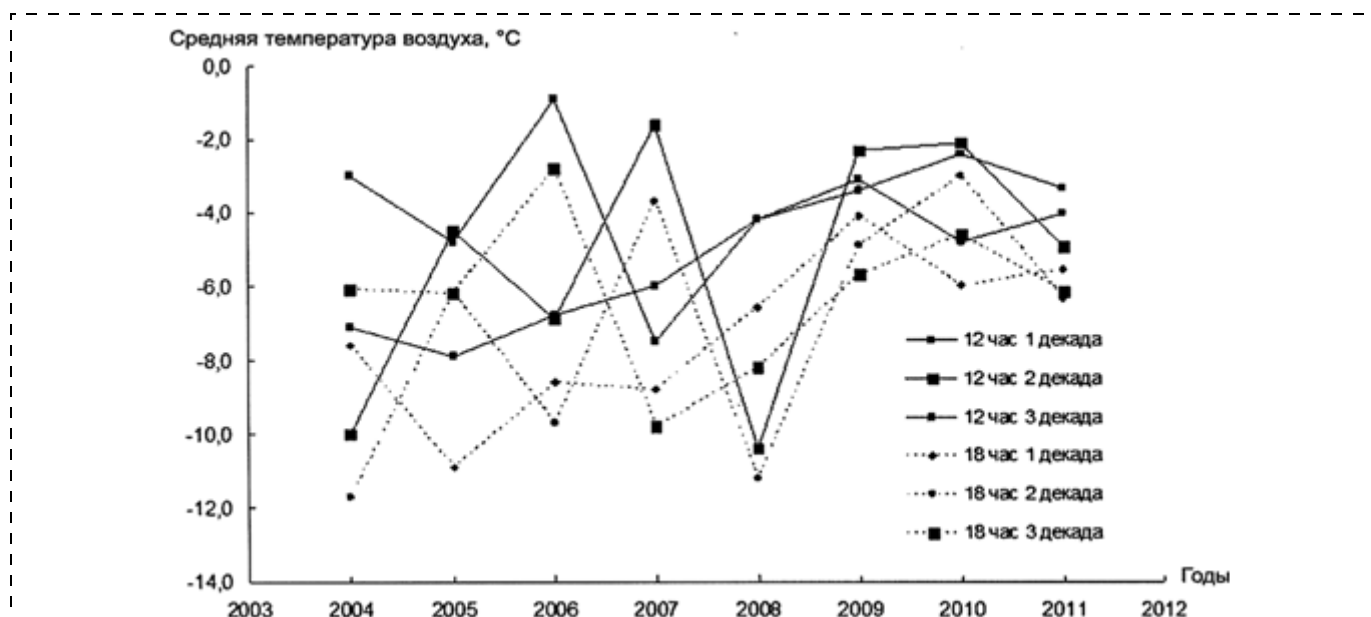


Рис. 4. Динамика декадных значений средней температуры (°C) в феврале по срокам ВСВ по данным СЛС "Айбга"

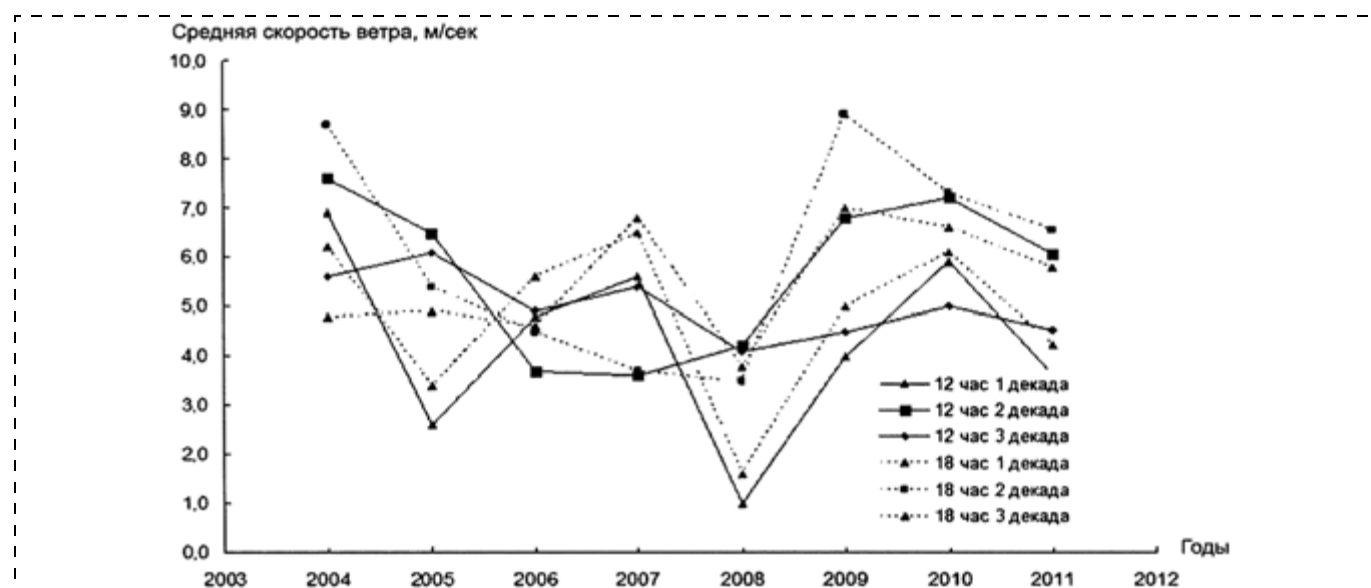


Рис. 5. Динамика декадных значений средней скорости ветра (м/с) в феврале по срокам ВСВ по данным СЛС "Айбга"

кой закономерности. В дневные часы скорость ветра больше среднесуточной, ночью — наоборот.

Необходимо отметить, что в пос. Красная Поляна сильный ветер со скоростью, равной 14 м/с и более, отмечается не чаще 1—2 раза в год, причем не каждый год. Среднегодовая скорость ветра составляет 1,2 м/с.

На высотах 500...700 м н. у. м. прогнозируемая декадная средняя скорость ветра в феврале 2014 г. незначительно отличается от средних многолетних значений (разность не более 0,4 м/с) и составляет около 1 м/с (табл. 3). В 12 час ВСВ, когда скорость

ветра максимальная за сутки, прогнозируемая декадная средняя скорость ветра равна или незначительно превышает средние многолетние значения.

На высотах 600...700 м н. у. м. (данные по СФМ "Красная Поляна" и м/с "Кордон Лаура") 1-я декада января теплая, среднемноголетняя температура воздуха в 1-ю декаду на 1 °C выше последующих значений. Прогнозируемые значения на 2014 г. температуры воздуха на 1-ю декаду января ниже средних многолетних на 0,5 °C и составляют от -0,5 до +0,8 °C (табл. 4).



Таблица 1

Уравнения линейного тренда декадных значений средней температуры воздуха по данным СФМ "Красная Поляна" и м/с "Кордон Лаура"

Периоды	СФМ "Красная Поляна"	м/с "Кордон Лаура"
1 декада января	$y = -0,034x + 1,821$	$y = -0,037x + 0,605$
2 декада января	$y = 0,026x + 0,044$	$y = 0,006x - 0,833$
3 декада января	$y = 0,094x - 0,872$	$y = 0,073x - 1,7$
1 декада февраля	$y = 0,155x - 1,749$	$y = 0,127x - 2,353$
2 декада февраля	$y = 0,028x + 0,904$	$y = 0,032x - 0,354$
3 декада февраля	$y = 0,071x + 1,052$	$y = 0,061x - 0,07$
1 декада марта	$y = 0,130x + 1,625$	$y = 0,090x + 0,718$
2 декада марта	$y = 0,046x + 3,339$	$y = 0,045x + 2,352$
3 декада марта	$y = -0,024x + 6,437$	$y = -0,021x + 5,25$

Таблица 2

Уравнения линейного тренда декадных значений средней скорости ветра и средней температуры воздуха в феврале по четырем срокам ВСВ по данным СФМ "Красная Поляна"

Периоды	Средняя скорость ветра	Средняя температура
00 час 1 декада	$y = -0,011x + 1,159$	$y = 0,119x - 2,646$
00 час 2 декада	$y = -0,023x + 1,327$	$y = 0,003x - 0,518$
00 час 3 декада	$y = -0,018x + 1,323$	$y = -0,068x + 1,419$
06 час 1 декада	$y = -0,014x + 1,059$	$y = 0,180x - 3,822$
06 час 2 декада	$y = -0,012x + 1,08$	$y = 0,083x - 1,419$
06 час 3 декада	$y = -0,008x + 1,118$	$y = 0,045x + 0,301$
12 час 1 декада	$y = 0,009x + 1,132$	$y = 0,223x + 0,499$
12 час 2 декада	$y = 0,010x + 1,414$	$y = 0,112x + 3,530$
12 час 3 декада	$y = 0,002x + 1,573$	$y = 0,708x + 3,405$
18 час 1 декада	$y = -0,014x + 1,236$	$y = 0,091x - 0,674$
18 час 2 декада	$y = -0,020x + 1,373$	$y = -0,065x + 2,222$
18 час 3 декада	$y = -0,026x + 1,582$	$y = -0,092x + 3,389$

Минимальные из средних декадных температур на этих высотах отмечаются со 2-й декады января по 1-ю декаду февраля включительно, и равны +0,4 °С по СФМ "Красная Поляна" и -0,7 °С по м/с "Кордон Лаура".

Прогнозируемые на 2-ю декаду января 2014 г. декадные значения средних температур воздуха на

уровне средних многолетних значений. Прогнозируемые на 3-ю декаду января 2014 г. декадные значения средних температур воздуха на 1...1,5 °С выше средних многолетних и составляет от +0,5 до +2 °С. В 1-й декаде февраля 2014 г. прогнозируемые значения выше средних многолетних на 1,5...2,5 °С и составляют от +1,5 до +2,9 °С. Во 2-й декаде февраля 2014 г. прогнозируемые значения на уровне средних многолетних и составляют от 0 до +1,7 °С. С 3-й декады февраля по 2-ю декаду марта 2014 г. прогнозируемые значения температур воздуха выше средних многолетних на 1...2 °С.

Прогнозируемая на февраль 2014 г. декадная средняя температура воздуха в СФМ "Красная Поляна" составит от +1,5 до +3 °С, в районе м/с "Кордон Лаура" от +0,6 до +2 °С. Этот же показатель составит в СФМ "Красная Поляна" от +4,5 до +6 °С, в районе м/с "Кордон Лаура" — от +3,5 до +4,5 °С.

Температура воздуха на высотах 500...700 м н. у. м. имеет хорошо выраженный суточный ход. Максимальные за сутки температуры в феврале наблюдаются в срок 12 час ВСВ (16 час Московского времени), их средние многолетние за декаду значения составляют от +3,5 до +5,5 °С (табл. 5).

Расчеты по срочным наблюдениям показывают превышение прогнозируемых декадных температур воздуха в феврале 2014 г. за сроки 06, 12 час ВСВ над средними многолетними на 1...3 °С. И только в срок 18 час ВСВ во 2-й и 3-й декадах февраля прогнозируемая декадная температура воздуха ниже средних многолетних значений на 1 °С и составляет от +0,3 до +0,6 °С. В феврале 2014 г. прогнозируемая декадная температура воздуха в срок 06 час ВСВ составит от +1 до +1,7 °С, в срок 12 час ВСВ — от +5,8 до +7 °С. В ночные часы прогнозируемая декадная средняя температура воздуха около 0 °С (от -0,5 до +0,5 °С).

Таблица 3

Средние многолетние значения декадных средних скоростей ветра по четырем срокам ВСВ по данным СФМ "Красная Поляна" и прогнозируемые их значения на 2014 г., м/с

Срок ВСВ	1-я декада февраля			2-я декада февраля			3-я декада февраля		
	Среднее многолетнее	Прогноз на 2014 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2014 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2014 г.	Разность
00 час	1,0	0,8	-0,2	1,0	0,6	-0,4	1,1	0,8	-0,3
06 час	0,9	0,6	-0,3	0,9	0,7	-0,2	1,0	0,9	-0,1
12 час	1,3	1,4	+0,1	1,5	1,7	+0,2	1,6	1,6	0
18 час	1,0	0,8	-0,2	1,1	0,8	-0,3	1,2	0,8	-0,4
Среднее суточное	1,1	0,9	-0,2	1,1	1,0	-0,2	1,2	1,0	-0,2



Ветровой и температурный режимы на хребте Аибга

На высоте 2225 м н. у. м. по данным СЛС "Аибга" среднегодовая скорость ветра 4,1 м/с. Число случаев скорости ветра равной и более 14 м/с в январе-марте составляет в среднем 55 случаев в месяц. На этих высотах суточный ход скорости ветра выражен слабо. По средним многолетним данным декадная средняя скорость ветра в течение суток изменяется от 4,4 до 6,0 м/с.

Прогнозируемая декадная средняя скорость ветра в феврале 2011 г. в течение суток изменяется в пределах 3,5...6,6 м/с. Прогнозируемая декадная скорость ветра в феврале 2011 г. в течение суток ниже средних многолетних значений на 0,5 м/с (табл. 6).

На высоте 2225 м н. у. м. за зимние месяцы декадные значения средней температуры воздуха от -5 до +8 °С отмечаются с января по февраль включительно (табл. 7). Устойчивое потепление отмечается с 3-й декады марта.

Таблица 4

Многолетние средние значения декадных средних температур воздуха по данным СФМ "Красная Поляна" и м/с "Кордон Лаура" и прогнозируемые их значения на 2014 г., °С

Период		СФМ "Красная Поляна"			м/с "Кордон Лаура"		
Месяц	Декада	Среднее многолетнее	Прогноз на 2014 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2014 г.	Разность
Январь	1	1,4	0,8	-0,6	0,1	-0,5	-0,6
	2	0,4	0,8	0,4	-0,8	-0,7	0,1
	3	0,4	1,9	1,5	-0,7	0,5	1,2
Февраль	1	0,3	2,9	2,6	-0,7	1,5	2,2
	2	1,3	1,7	0,4	0,1	0,6	0,5
	3	2,0	3,2	1,2	0,7	1,8	1,1
Март	1	3,3	5,5	2,2	1,9	3,4	1,5
	2	3,9	4,7	0,8	2,9	3,7	0,8
	3	6,1	5,7	-0,4	5,0	4,6	-0,4

Таблица 5

Средние многолетние значения декадных средних температур воздуха по четырем срокам ВСВ по данным СФМ "Красная Поляна" и прогнозируемые на 2014 г. их значения, °С

Срок ВСВ	1-я декада			2-я декада			3-я декада		
	Среднее многолетнее	Прогноз на 2014 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2014 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2014 г.	Разность
00 час	-1,1	0,9	+2,0	-0,5	-0,4	+0,1	0,2	-0,6	-0,8
06 час	-1,6	1,6	+3,2	-0,4	1,1	+1,5	0,5	1,7	+1,2
12 час	3,4	7,1	+3,7	4,9	5,8	+0,9	5,5	6,7	+1,2
18 час	0,4	2,1	+1,7	1,3	0,3	-1,0	1,9	0,6	-1,3
Среднее суточное	0,3	2,9	+2,7	1,3	1,7	+0,4	2,0	2,1	0,1

Таблица 6

Средние многолетние значения декадных средних скоростей ветра по четырем срокам ВСВ по данным СЛС "Аибга" и прогнозируемые их значения на 2011 г., м/с

Срок ВСВ	1-я декада февраля			2-я декада февраля			3-я декада февраля		
	Среднее многолетнее	Прогноз на 2011 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2011 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2011 г.	Разность
00 час	5,0	4,6	-0,4	6,1	6,4	0,3	5,1	5,1	0
06 час	4,4	3,8	-0,6	5,1	5,9	0,8	5,2	4,9	-0,3
12 час	4,4	3,6	-0,8	5,7	6,1	0,4	5,1	4,5	-0,6
18 час	4,9	4,2	-0,7	6,0	6,6	0,6	5,5	5,8	0,3
Среднее суточное	4,7	4,1	-0,6	5,7	6,2	0,5	5,2	5,0	-0,2



Таблица 7

Средние многолетние значения декадных средних температур воздуха по данным СЛС "Аибга" и прогнозируемые их значения на 2011 г., °С

Срок ВСВ	1-я декада февраля			2-я декада февраля			3-я декада февраля		
	Среднее многолетнее	Прогноз на 2011 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2011 г.	Разность	Среднее многолетнее	Прогноз на 2011 г.	Разность
00 час	-7,8	-5,8	2,0	-7,7	-6,6	1,1	-6,4	-6,4	0
06 час	-7,3	-5,5	1,8	-7,4	-6,3	1,0	-5,5	-5,6	-0,1
12 час	-5,7	-4,0	1,7	-5,4	-4,9	0,5	-3,7	-3,3	0,4
18 час	-7,5	-5,6	1,9	-7,2	-6,4	0,8	-6,2	-6,2	0,0
Среднее суточное	-7,1	-5,2	1,9	-6,9	-6,1	0,8	-5,4	-5,4	0,1

На высоте 2225 м н. у. м. температура с 1-й декады января по 3-ю декаду марта 2011 г. прогнозируется ниже средних многолетних значений на 0,2...1 °С.

На высоте 2225 м н. у. м. наиболее вероятные значения декадной средней температуры воздуха в январе составят от -6° до -8 °С, в феврале от -5° до -6 °С, в марте — от -1,4° до -5,3 °С.

Среднедекадная многолетняя толщина снежного покрова на высотах 500...700 м н. у. м. в феврале за год максимальна. В среднем она составляет для СФМ "Красная Поляна" 37...43 см, для м/с "Кордон Лаура" — 62...65 см. Среднедекадная многолетняя толщина снежного покрова в феврале по этим станциям изменяется от 0 до 169 см. В связи с увеличением температуры воздуха в последние годы наблюдений толщина снежного покрова уменьшилась. В отдельные зимние месяцы толщина снежного покрова, например, в феврале 2010 г. составила 0 см.

На высоте 2228 м н. у. м. среднедекадная многолетняя толщина снежного покрова в феврале составляет 245...289 см, но максимальных значений в году достигает со 2-й декады марта по 1-ю декаду апреля. Среднедекадная толщина снежного покрова за этот период составляет 314...315 см.

Заключение

На основе обработки данных метеостанций, расположенных на территории проведения игр "Сочи-2014", получены результаты расчетов экстраполяции динамики температурного режима воздуха и скорости ветра на различных высотах.

На высотах 500...700 м н. у. м. декадные значения средней температуры воздуха и декадные значения средней температуры в дневные сроки 06 час и 12 час ВСВ положительные. Такие температуры воздуха в феврале 2014 г. явно будут являться проблемой для организации спортивных состязаний и могут даже привести к их отмене или переносу.

На высоте 2228 м н. у. м. прогнозируемые значения температуры и скорости ветра получены на 2011 г. Короткая длина рядов данных СЛС "Аибга" не позволяет прогнозировать значения метеоэлементов до 2014 г.

Полученные прогнозируемые декадные значения средней температуры и средней скорости ветра могут быть использованы при планировании как технического обеспечения, так и мер по обеспечению безопасности XXII зимних Олимпийских и XI Паралимпийских игр 2014 г. в г. Сочи.

Список литературы

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 2. — М.: Мир, 1974. — 384 с.
2. Альберг Дж., Нильсон Э., Уолт Дж. Теория сплайнов и ее приложения. — М.: Мир, 1972. — 316 с.
3. Ашабокова Ф. К., Бисчиков Р. М., Бисчкова Л. Б. Об одном подходе и некоторых результатах прогнозирования изменений температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы в степной и предгорной зонах центральной части Северного Кавказа // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. — Нальчик, 2008. — Т. 10. — № 2. — С. 94—100.
4. Практикум по теории статистики: Учеб. пособие / Под ред. проф. Р. А. Шмойловой. — М.: Финансы и статистика, 1998. — 416 с.
5. http://www.sc-os.ru/ru/building_program/map/.

УДК 330.131.7.001.18:351.78

П. Г. Белов, д-р техн. наук, проф., МАТИ—РГТУ им. К. Э. Циолковского,
Т. А. Комаревцева, инж., ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
E-mail: safsec@mail.ru

Универсальный способ прогнозирования риска техногенных происшествий

Рассмотрен оригинальный способ прогнозирования риска техногенных происшествий путем моделирования процесса их возникновения и нежелательного развития. Универсальность метода обеспечивается учетом не только всех типовых предпосылок и этапов соответствующей причинно-следственной цепи, но также конструктивных и организационно-технических барьеров, препятствующих ее образованию и проявлению "эффекта домино". Предлагаемый способ позволяет прогнозировать вероятность и ущерб от техногенных происшествий, а также оценивать эффективность мероприятий по снижению этих параметров риска.

Ключевые слова: аварийно химически опасное вещество, количественная оценка риска, вероятность, ущерб, техногенное происшествие, каскадная авария ("эффект домино"), графоаналитическое моделирование, причинно-следственная диаграмма.

Belov P. G., Komarevtseva T. A. Universal approach to the assessment of the industrial accidents risk

In the present article the original way of the assessment of industrial risk by modeling is considered. This universality of method obtained by counting not only all typical causes and main stage cause-sequence accident model, but and the construction and organization barriers for "domino effect" accident. The offered methodology can be used for estimation probability and damage of industrial accident, allowing to compare the arrangements for lowering these risk parameters.

Keywords: emergency chemically dangerous substance, quantitative risk assessment, probability, damage, industrial accident, cascade accident ("domino effect"), graph-analytic modeling, cause and consequence diagram.

Под техногенным происшествием подразумевается случайное событие, вызвавшее практически одномоментное появление таких опасных факторов, которые затем привели к уничтожению или повреждению находящихся вблизи и не защищенных от них

объектов из состава людских, материальных и природных ресурсов. Подобные происшествия удобно делить на катастрофы, аварии и несчастные случаи с людьми, а их появление особенно опасно для тех объектов промышленности и транспорта, которые характеризуются высокой плотностью размещения энергоемкого технологического оборудования. Данный факт указывает на необходимость продолжения исследований, направленных на предотвращение и снижение ущерба от рассматриваемых здесь техногенных происшествий.

Кроме того, известные ныне методы предварительного (качественного) анализа риска техногенных аварий не способны ранжировать их источники и потенциально опасные последствия. В отличие от качественных соответствующие количественные методы более пригодны для прогнозирования таких показателей риска, как вероятность появления рассматриваемых здесь техногенных происшествий и размеры ожидаемого от них социально-экономического ущерба, а также — собственно техногенного риска как интегральной количественной меры их опасности, являющейся функцией подобных вероятностей и ущербов.

Цель данной статьи — апробация разработанного авторами универсального подхода к прогнозированию перечисленных выше показателей техногенного риска.

Концепция прогнозирования показателей риска техногенных происшествий

Излагаемые ниже наиболее общие принципы априорной оценки вероятности и ущерба от техногенных аварий лучше всего демонстрировать на примере аварийных выбросов большого количества тех аварийно химически опасных веществ (АХОВ), которые способны образовывать топочвоздушные смеси (ТВС), склонные к последующему взрыву или воспламенению. Для моделирования подобных происшествий удобно использовать диаграммы причинно-следственных связей типа "дерево происшествия" и "дерево событий", а в качестве АХОВ — компримированный и сжиженный природный газ (далее — КПГ и СПГ).

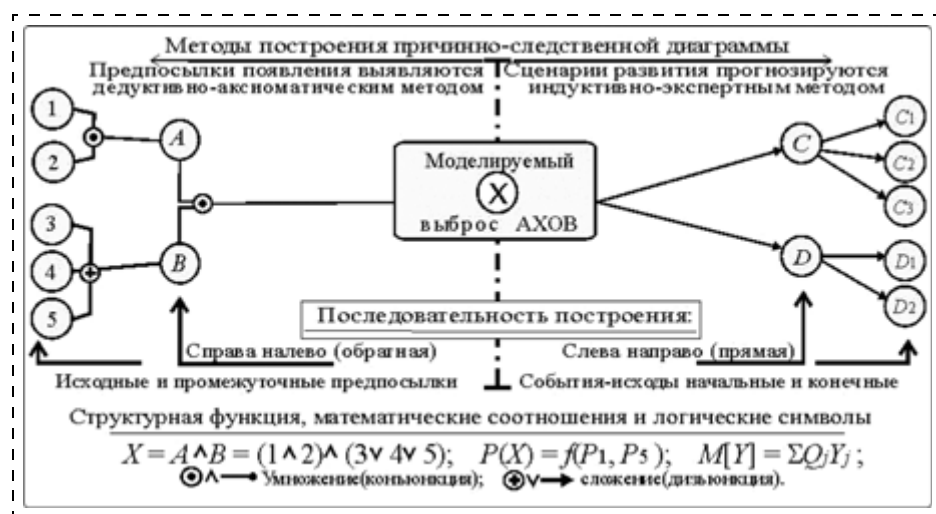


Рис. 1. Процедура графоаналитического моделирования ЧС с выбросом АХОВ

Обобщенная процедура подобного моделирования показана на рис. 1.

В верхней части этого рисунка расположена упрощенная сдвоенная диаграмма, левая половина которой воспроизводит условия, способные привести к возникновению моделируемого выброса (X) вследствие появления двух предпосылок верхнего (A, B) уровня и не менее трех из пяти исходных событий, соединенных линиями с узлами логического перемножения и сложения. Ее правая половина уже интерпретирует сценарии наиболее вероятного поведения продуктов исследуемого выброса, учитывающие два промежуточных (C, D) и пять конечных исходов моделируемой аварии. Текст вокруг диаграммы поясняет метод и порядок ее построения. Отметим, что учтенными там предпосылками являются ошибки людей, отказы техники и неблагоприятные для них внешние воздействия, а исходами — формы возможного физико-химического превращения образовавшейся ТВС (взрыв, пожар) и виды ущерба, причиняемого объектам из состава людских, материальных и природных ресурсов.

Нижняя часть рисунка включает: структурную функцию дерева происшествия (аварийного выброса АХОВ); общее выражение для оценки вероятности $P(X)$ его наступления с помощью вероятностей P_i исходных предпосылок; формулу для расчета математического ожидания $M[Y]$ возможного при этом ущерба через условные вероятности O_j всех конечных несовместных исходов дерева событий и размеры сопутствующего каждому из них ущерба Y_j . В основании рисунка приведены символы, используемые в структурных функциях и эквивалентных им схемах функциональной целостности (СФЦ) [1].

При моделировании подобных чрезвычайных ситуаций (ЧС) целесообразно также опираться на следующие постулаты: 1) под техногенным проис-

шествием понимаем начало аварийного выброса АХОВ вследствие разгерметизации соответствующей емкости; 2) в число предпосылок происшествия включаем наиболее вероятные отказы техники, ошибки людей и неблагоприятные для них воздействия извне, а в число порождающих факторов — низкое качество конкретных компонентов системы человек—машина—среда и/или их постепенную естественную деградацию; 3) при идентификации сценариев развития инициирующего происшествия учитываем самые нежелательные исходы; аварийного истечения АХОВ в ок-

ружающую емкость среду, его неконтролируемого распространения с образованием и заполнением ТВС части этой среды, возможного физико-химического превращения с появлением опасных факторов взрыва или/и пожара, разрушительного проявления поражающих факторов на близлежащие объекты с причинением крупного ущерба вследствие их повреждения, вызванного воздействием подобных вторичных опасных факторов.

Кроме того, при построении модели рассматриваемого случайного процесса особое внимание следует уделять выявлению и учету влияния тех всевозможных конструктивно-технологических решений и эксплуатационно-технических мероприятий, которые могут применяться, например, для снижения риска каскадных аварий на объектах производства, хранения и транспортировки КПП/СПГ. Роль таких заблаговременно предусмотренных профилактических мер может быть уподоблена барьерам, выполняющим следующие основные функции: а) исключение отказов, ошибок и нерасчетных внешних воздействий, возникновение которых способно привести к аварийному выбросу большого количества рассматриваемых авторами АХОВ; б) недопущение образования причинной цепи подобной аварии из нескольких предпосылок выше перечисленных трех типов; в) перераспределение условных вероятностей возможных сценариев развития каскадной аварии в направлении от менее благоприятных к более благоприятным; г) смягчение тяжести самых разрушительных исходов аварии с помощью мер, направленных на ослабление каскадного эффекта и повышение результативности предполагаемых аварийно-спасательных работ.

Изложенная идея проиллюстрирована с помощью рис. 2, отличающегося от рис. 1 следующим:

а) он повернут по часовой стрелке на 90°; б) вместо совокупности узлов и связей причинно-следственной диаграммы на рис. 2 фигурируют лишь упомянутые выше типовые барьеры, препятствующие развитию рассматриваемого процесса от исходных предпосылок дерева происшествия к моделируемому аварийному выбросу АХОВ (верхний затемненный треугольник), а от него — к конечным исходам дерева событий (нижний затемненный треугольник); в) боковыми стрелками и цифрами в прямоугольниках с текстом указан порядок выявления и учета барьеров при построении графической модели.

Что касается учета выявленных барьеров при модельном представлении исследуемого аварийного процесса в виде комбинированной причинно-следственной диаграммы, то их можно интер-

претировать совокупностью тех препятствий, которые будут затруднять прохождение соответствующего сигнала от каких-либо исходных предпосылок дерева происшествия к центральному событию этой модели, а от него — к конечным исходам дерева событий. Количественная и качественная оценка эффекта подобного влияния на показатели риска каскадной аварии может быть осуществлена путем либо уменьшения возможности появления соответствующих предпосылок и исходов, либо введения дополнительных условных вероятностей, характеризующих возможность преодоления каждого из таких барьеров.

Естественно, что начальный (качественный) этап подобного прогнозирования риска техногенных аварий следует выполнять, руководствуясь известными

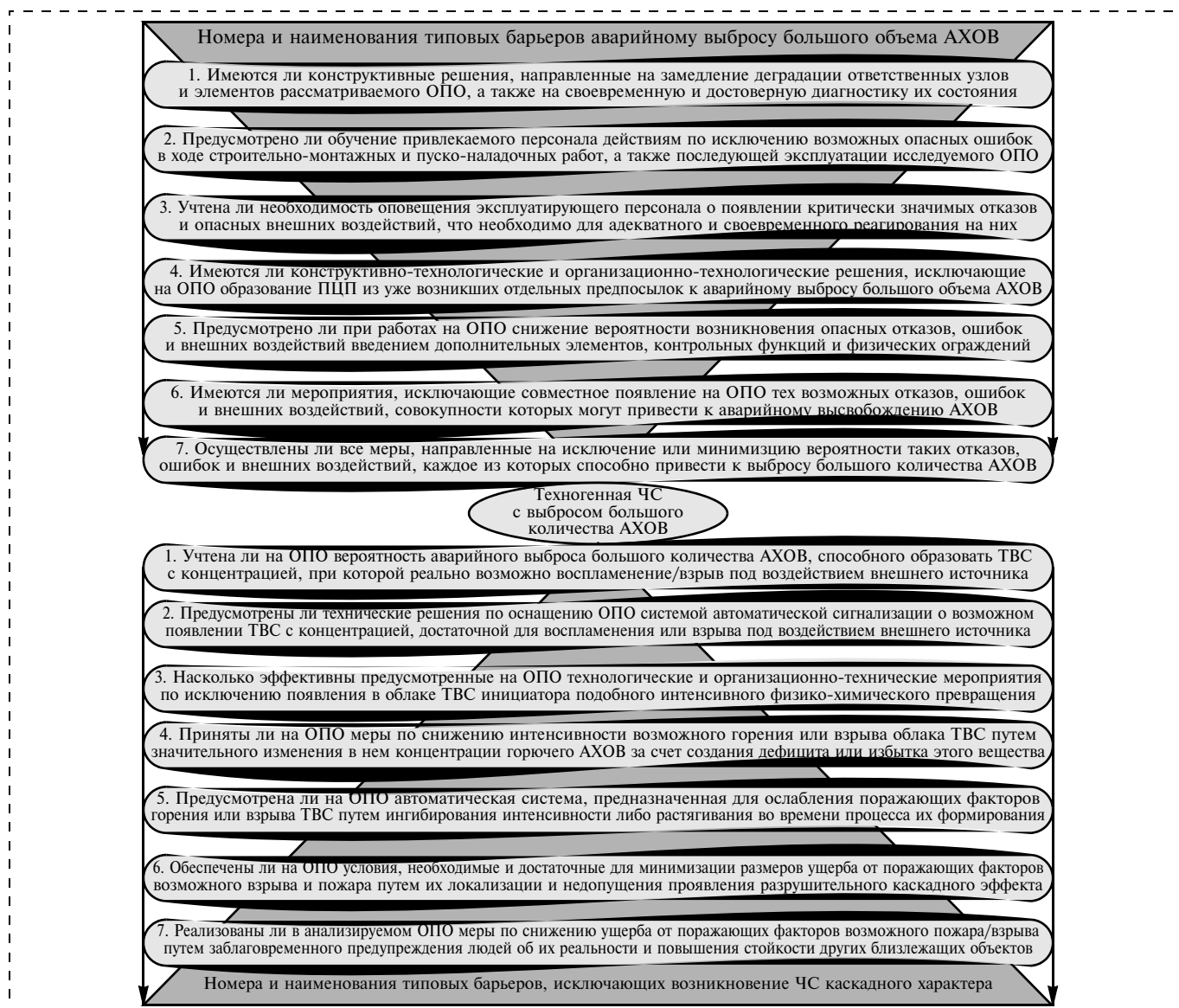


Рис. 2. Логика учета влияния барьеров на пути техногенного происшествия (ОПО — опасный производственный объект; ПЦП — причинная цепь происшествия)



закономерностями их появления/развития и применяя дедуктивно-индуктивные методы идентификации соответствующих причинно-следственных связей. Тогда как последующий количественный анализ построенной таким образом графической модели целесообразно осуществлять уже с помощью наиболее совершенного ныне компьютерного программного комплекса АРБИТР [1] после ее преобразования в соответствующую СФЦ. Привлечение подобных автоматизированных средств обусловлено, с одной стороны, колоссальной трудоемкостью логических и вычислительных операций с большим числом событий и параметров, реально влияющих на появление и развитие техногенного каскадного происшествия, а с другой — недопустимостью сокращения числа этих операций путем замены строгих логических и точных аналитических выражений приближенными.

Следует отметить, что изложенные выше принципы позволяют упорядочить построение причинно-следственных диаграмм, что является не только самым сложным этапом моделирования, но и абсолютно необходимым для прогноза как упомянутых выше вероятности $P(X)$ и среднего ущерба $M[Y]$ от аварийного выброса рассматриваемых АХОВ, так и изменения этих показателей, ожидаемого от альтернативных мероприятий по снижению параметров P_i , Q_i и Y_i . Априорная оценка подобного эффекта особенно важна для практики благодаря более высокой точности количественной оценки относительных изменений $\Delta P(X) = f(\Delta P_i)$ и $\Delta M[Y] = \Sigma(\Delta P_i \Delta Q_i)$ в сравнении с малодостоверными прогнозными оценками абсолютных значений данных характеристик риска аварии с выбросом АХОВ. Вот почему особый интерес представляет дальнейшая конкретизация и систематизация рассмотренных принципов с целью упорядочения процесса прогнозирования и снижения техногенного риска.

Обобщенный подход к прогнозированию и снижению риска техногенных происшествий

Логично утверждать, что самыми предрасположенными к техногенным происшествиям, сопровождающимся каскадным эффектом, сегодня являются объекты химической, нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности, а также трубопроводы и другие транспортные средства, поставляющие сырье или готовую продукцию. Ведь разгерметизация оборудования с используемыми там аварийно опасными, агрессивными и токсичными веществами может приводить к образованию взрывопожароопасных и удушающих смесей, обладающих вредными или токсичными свойствами. Тогда как последующее физико-химическое превращение смеси некоторых таких АХОВ с воздухом в форме детонации или дефлаграции чревато образованием вторичных поражающих факторов

ударного (осколки, перегрузки или избыточное давление воздушной волны сжатия), а также термического и токсичного воздействия взрыва.

В качестве наиболее характерного сценария возникновения каскадных ЧС на подобных объектах может служить следующая совокупность случайных событий, вызванных разрушением либо разгерметизацией емкости с АХОВ и сосуда с вредным веществом под избыточным давлением, либо подпитывающих их коммуникаций: аварийное истечение и неконтролируемое распространение продуктов выброса → образование горячей струи, факела либо облака вредной или аварийно опасной смеси → воздействие облака на незащищенные объекты либо инициация его интенсивного физико-химического превращения внешним источником → токсическое заражение объектов или воспламенение/взрыв облака ТВС → термическое, барическое либо осколочное поражение близлежащих объектов → образование, распространение и разрушительное воздействие вторичных опасных и вредных факторов → проявление "эффекта домино" в форме причинения дополнительного ущерба соответствующим объектам из состава людских, материальных и природных ресурсов.

Анализ данного сценария указывает на возможность упорядочения прогноза риска каскадных аварий, инициируемых крупной утечкой различных взрывопожароопасных веществ. Делать это следует путем построения и системного анализа причинно-следственных диаграмм типа "дерево событий" при обязательном учете заблаговременно предусмотренных проектно-конструкторских и эксплуатационно-технических препятствий-барьеров нежелательному развитию инициирующих происшествий с АХОВ. Обобщенная структура одного из построенных подобным образом деревьев-событий показана на рис. 3.

Обратим внимание, что приведенная здесь модель как бы воспроизводит нижнюю часть рис. 2, но уже конкретизируя его применительно к возможным последствиям аварийного высвобождения большого количества какого-либо горючего вещества вследствие его интенсивной утечки из поврежденной емкости по причине ее повреждения и несвоевременного отключения подпитывающих коммуникаций. Однако вместо подобного инициирующего происшествия сверху изображена лишь стрелка с вероятностью $P_{гс}$ наступления, тогда как различные исходы процесса его последующего развития, также рассматриваемого на семи уровнях, помечены цифровыми кодами и соответствующими вероятностями Q . При этом особое внимание уделено воздействию термического (T) и ударного ($У$) опасных факторов пожара/взрыва, которые могли (см. затемненные прямоугольники) привести к "эффекту домино", что учтено вероят-

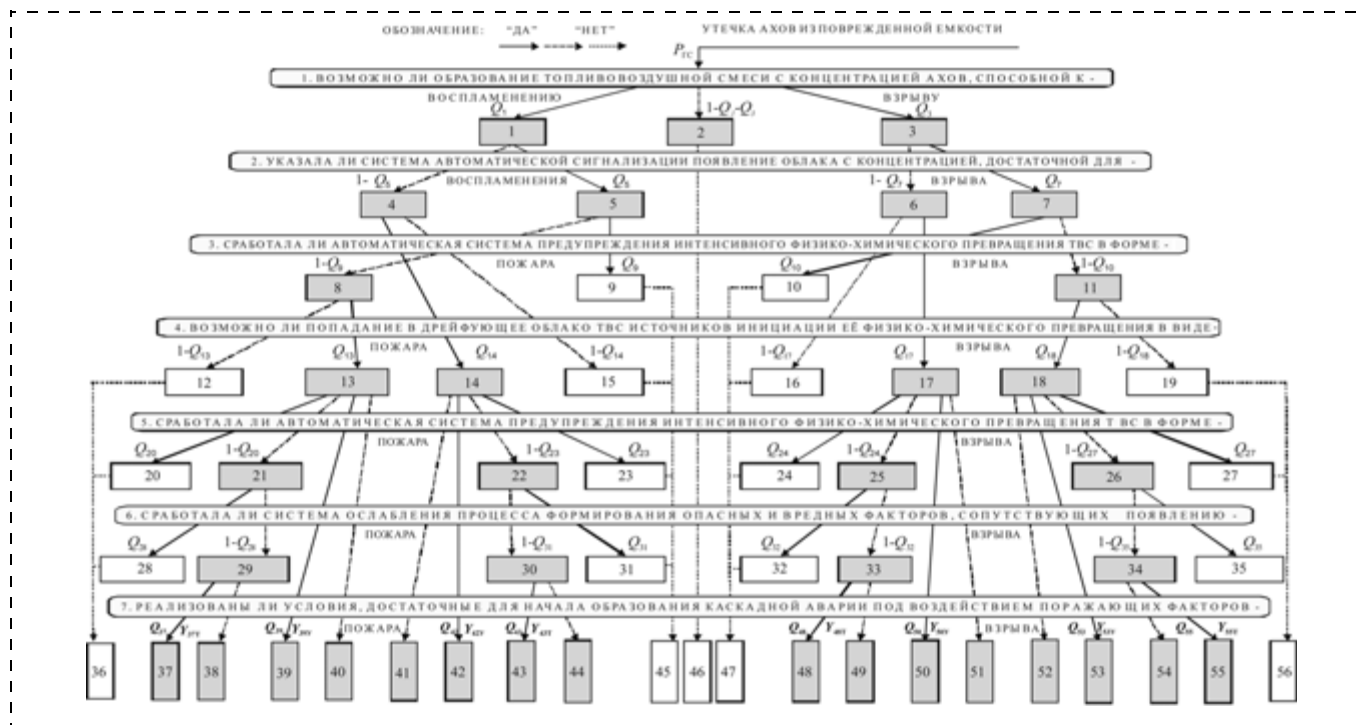


Рис. 3. Обобщенная модель развития каскадной аварии вследствие выброса АХОВ

ностями Q_j и ущербами Y_j восьми соответствующих конечных исходов данного дерева событий.

Проиллюстрируем возможность прогноза приведенных выше параметров техногенного риска на примере тех воздействий опасных факторов иницирующей аварии, которые чреваты последующим повреждением каких-либо других объектов, расположенных вблизи от аварийного и незащищенных от таких факторов. Будем считать также, что среди повреждаемых таким образом объектов могут быть сосуды, заполненные горючей жидкостью и находящиеся под избыточным давлением ее паров, в результате чего возможны взрыв или воспламенение продуктов пролива с появлением вторичных поражающих факторов. Образующиеся при этом осколки, сейсмо-воздушные волны сжатия и мощные тепловые потоки способны затем привести к повреждению близлежащего технологического оборудования, включая разгерметизацию других сосудов с АХОВ, т. е. к проявлению каскадного эффекта.

Нетрудно видеть, что самым вероятным первоисточником развития каскадной аварии в подобных случаях является мгновенное разрушение сосуда, имеющего большой объем либо высокое внутреннее давление и наполненного каким-либо вредным или аварийно опасным веществом. Ведь это чревато одновременным образованием не только осколков и первичной волны сжатия, но также облака вредной или топливовоздушной смеси. Вот почему основное внимание ниже будет уделено рассмотрению особенностей развития каскадных аварий, вызванных раз-

герметизацией перечисленных сосудов с взрывопожароопасными АХОВ, с целью априорной оценки лишь тех параметров, которые характеризуют последствия, сопровождающиеся появлением мощных вторичных поражающих факторов.

Что касается конкретных резервуаров или сосудов, повреждение которых способно привести к появлению аварий каскадного характера, то их выбор целесообразно осуществлять в ходе предварительной оценки техногенного риска создаваемых опасных производственных процессов. Это означает, что прогнозирование риска техногенных аварий следует начинать с изучения особенностей проектируемого объекта на стадии его эскизного проектирования и продолжать в течение всей технической разработки, а окончательную оценку проводить по завершению приема в эксплуатацию головного объекта. Тогда как основным методом должно быть моделирование, реализуемое с учетом рекомендаций, которые изложены в работе [2].

Обобщенная процедура прогнозирования параметров каскадного риска

Естественно считать, что состав и содержание этапов обобщенной процедуры прогнозирования параметров риска каскадной аварии следует увязывать с семью уровнями дерева событий, приведенных на рис. 3. При этом значения одних искомых параметров могут быть найдены с помощью конструкторско-технологической документации и статистических данных, а для определения других потребуются дополнительные модели и исходные данные. Проиллюстрируем последо-



вательно и кратко, как могут прогнозироваться на всех этих этапах не только указанные там условные вероятности, но и те параметры, которые минимально необходимы для их априорной количественной оценки.

1. Определение вероятностей Q_1 и Q_3 того, что концентрация внутри облака ТВС, образовавшегося вследствие аварийной утечки АХОВ, находится в соответствующих нормативных пределах взрывопожароопасности, рекомендуется проводить с учетом количества, плотности и характера истечения АХОВ, а также особенностей заполняемого им пространства. Если объем утечки велик, плотность его облака выше плотности атмосферного воздуха и он малоподвижен, то допускается приближенная оценка средней концентрации, рассчитываемая путем деления количества АХОВ на половину объема шара или эллипсоида; в других случаях требуется прогнозирование значений утечки, например, с помощью программного комплекса "Токсис + Risk" [7].

2, 3. Оценку вероятностей своевременного обнаружения облака ТВС взрывопожароопасной концентрации (Q_5 , Q_7) и предупреждения или снижения интенсивности его возможного воспламенения/взрыва (Q_9 , Q_{10}) целесообразно осуществлять с учетом надежности предусмотренных для этого технических систем — по их паспортным или статистическим данным о готовности, безотказности и быстродействии.

4. Прогноз вероятностей инициации процессов воспламенения (Q_{13} , Q_{14}) и взрыва (Q_{17} , Q_{18}) облака ТВС под воздействием внешних источников рекомендуется проводить, основываясь на сведениях о местоположении и окружении источника возможного крупного аварийного выброса АХОВ, размерах формируемого при этом облака ТВС, возможности его распространения в направлении работающего технологического оборудования и обслуживающих его людей. Приближенные значения искомых вероятностей могут быть найдены, например, исходя из соотношения размеров облака ТВС и пространства, содержащего только что перечисленные и иные источники открытого огня.

5, 6. Оценку вероятностей (Q_{20} , Q_{23} , Q_{24} , Q_{27}) предупреждения интенсивного физико-химического превращения ТВС в виде воспламенения/взрыва и вероятностей (Q_{28} , Q_{31} , Q_{32} , Q_{35}) ослабления образующихся при этом опасных факторов следует осуществлять с учетом надежности предусмотренных на такие случаи технических систем исследуемого опасного производственного объекта — по их паспортным либо статистическим данным о готовности, безотказности, быстродействии и эффективности соответствующей работы.

7. Проверку минимально необходимых условий проявления "эффекта домино", а также оценку соответствующих безусловных вероятностей (Q_{37} , ..., Q_{43} , Q_{48} , ..., Q_{53}) и ущербов от ударного (Y_U) и термического (Y_T) поражающего воздействия опасных факторов иницирующего происшествия целесообразно проводить, руководствуясь следующими соображениями:

7.1. Прогноз вероятностей $\{Q_{42}$ и $Q_{50}\} \in P_{\text{кас}}^{\text{ОВ}}$ развития каскадного эффекта под ударным воздействием осколков взорвавшегося сосуда высокого давления, чреватым причинением соответствующих ущербов Y_U , необходимо осуществлять в следующей очередности:

- 1) оценка формы и размеров типовых фрагментов, образуемых при взрыве емкости;
- 2) определение математического ожидания начальной скорости их разлета;
- 3) оценка вероятности разрушения конкретных "мишеней" типовыми осколками.

Последовательно и кратко охарактеризуем особенности реализации каждого такого этапа, имея в виду, что поражающий эффект ударного воздействия во многом будет зависеть от массы, геометрии, направления и скорости полета осколков, а их число и геометрия — от особенностей макро- и микро-структуры стенок аварийных сосудов (наличия концентраторов напряжения в виде насечек, нарезков, изгибов, сварных швов и трещин), а также от реального состояния соединений конкретного сосуда с коммуникациями и его креплений к основанию.

1-й этап. Геометрию (форму и размеры) наиболее типичных осколков, образующихся, например, при физическом взрыве наполненных газом сферических и цилиндрических сосудов, следует определять, руководствуясь табл. 1, а значения их характерных параметров — с учетом спецификации каждого конкретного сосуда.

2-й этап. Определение начальной средней скорости осколков рекомендуется проводить графоаналитическим методом [5] после сбора следующих исходных данных: объем V_0 и масса m взорвавшегося сосуда, внутреннее давление P_1 , температура T_1 и показатель γ адиабаты его содержимого, а также индивидуальная газовая постоянная $R_{\text{и}}$, определяемая для газовых смесей путем деления универсальной газовой постоянной на молярную массу газа. Данный метод существенно упрощает приближенную оценку скорости при физическом взрыве сосудов различного типа благодаря применению следующей универсальной процедуры:

- вычисление относительной массы m_0 осколка — путем деления его массы на массу всего сосуда;

Типовые формы осколков и их характерные параметры [9]

Форма осколков	Описание	Код формы	Параметры
	Крышка или чаша, образующаяся при разрыве сферического сосуда более чем на 4 части, или сосуда цилиндрической формы с приваренными сферическими днищами	F1	γ — угол сферической крышки, рад; r — радиус, м
	Фрагмент образуется при разрушении цилиндрического сосуда по трещине в месте его соединения с коническими днищами	F2	h — высота конуса, м; r — радиус конуса, м
	Осколок прямоугольной формы, являющийся обломком обечайки цилиндрического сосуда	F3	l — длина, м; l_1 — ширина, м
	Фрагмент цилиндрической оболочки в форме плоской или изогнутой пластины, если $\xi = 2\pi$, то осколок имеет форму трубки	F4	l — длина цилиндра, м; r — радиус, м; ξ — угол, рад
	Осколок цилиндрической оболочки, образующийся при ее разрушении по двум радиальным трещинам либо по одной или двум осевым трещинам	F5	l — длина, м; r — радиус, м; ψ — угол, рад
	Фрагмент цилиндрической оболочки, сформированный радиальной и двумя осевыми трещинами. При $\psi = 0$ имеет форму дна цилиндрического сосуда	F6	l — длина, м; r — радиус, м; ψ — угол, рад

- расчет приведенного давления p в сосуде — по следующей формуле ($P_0 \approx 10^5$ Па):

$$p = \frac{(P_1 - P_0) V_0}{(m_0 \gamma R_{и} T_1)}; \quad (1)$$

- расчет математического ожидания реальной скорости полета осколка — по формуле

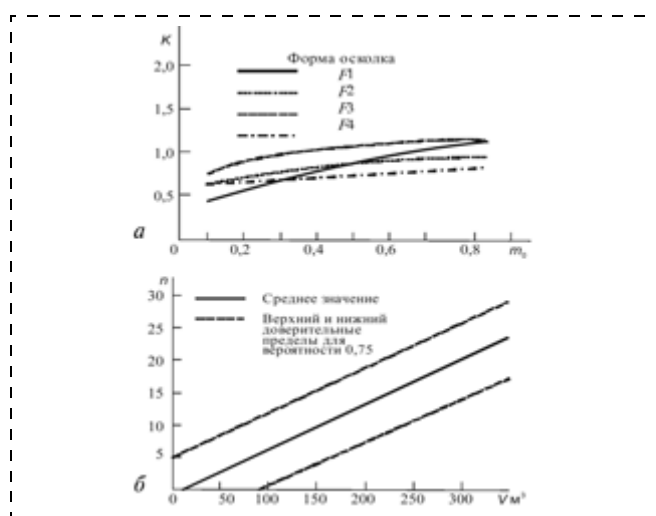
$$u = KU \sqrt{\gamma R_{и} T_1}, \quad (2)$$

где K — коэффициент, величина которого определяется для осколков конкретной формы и массы по графикам, подобным тем, которые показаны на рис. 4, a — как проекция на ось ординат точки пересечения m_0 с соответствующей кривой; U — приведенная скорость полета осколков, зависящая от приведенного давления p и числа осколков n .

Величина U оценивается аналогично — с помощью рис. 5, с учетом числа осколков n , найденного по графикам, представленным на рис. 4, b для взорвавшихся сосудов объемом V_0 .

3-й этап. Оценку вероятности повреждения осколками незащищенного от них оборудования

следует осуществлять, руководствуясь изображенной на рис. 6 расчетной схемой.


 Рис. 4. Зависимость коэффициента K (a) и числа осколков n (b) от их относительной массы и объема сосуда V_0

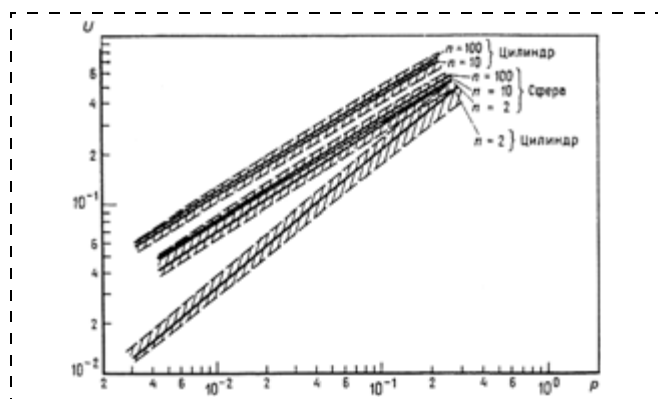


Рис. 5. Зависимость приведенной скорости полета осколков U от их числа n и приведенного давления p

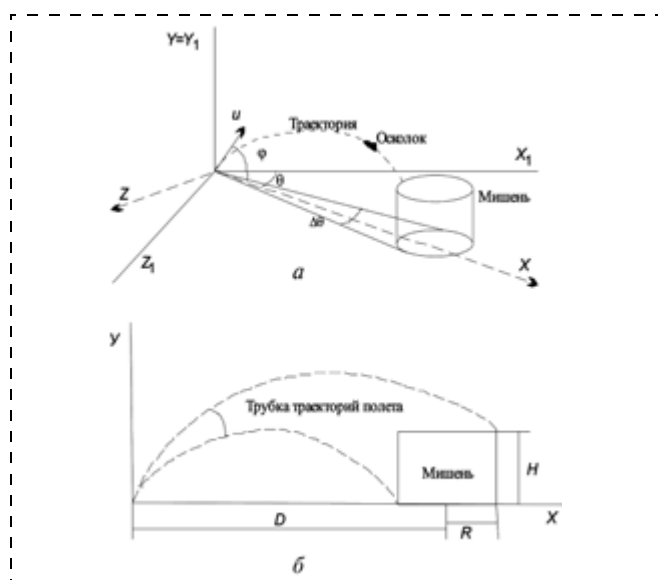


Рис. 6. Параметры траектории полета осколка и объекта-мишени

В качестве мишени здесь используется цилиндрическая емкость с АХОВ, имеющая радиус R , высоту H и расположенная на удалении D от места взрыва. Пунктирные кривые означают математическое ожидание и контуры трубки поражающих мишень траекторий полета осколка, характеризуемых диапазонами начальных углов тангажа $\Delta\varphi$, рыскания $\Delta\theta$ и описываемых системой следующих двух уравнений:

$$\begin{aligned} (d^2x/dt^2) + k(dx/dt)^2 &= 0; \\ (d^2y/dt^2) + (-1)^m k(dy/dt)^2 + g &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где m — постоянная, равная 1 для нисходящей части траектории и 2 для восходящей; k — коэффициент аэродинамического сопротивления полету осколка, названный авторами работы [8] "драг-фактором" и рассчитываемый по следующей формуле:

$$k = a(C_D A_D)/m^0 - b, \quad (4)$$

где $a = 0,69 \text{ кг/м}^3$; $b = 3,28 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$; C_D — среднее значение драг-коэффициента, зависящее от

формы конкретного осколка и его ориентации относительно вектора \vec{u} скорости его полета; A_D — площадь сечения осколка в направлении, перпендикулярном этому вектору.

С учетом приведенных соображений величина вероятности P_{imp} попадания и повреждения мишени определенного типоразмера может быть оценена путем интегрирования правой части следующего математического выражения:

$$P_{\text{imp}} = \int_{\Delta\theta} \int_{\Delta\varphi} \rho(\theta, \varphi) d\theta d\varphi, \quad (5)$$

где $\rho(\theta, \varphi)$ — плотность вероятности поражения осколком мишени, показанной на рис. 6.

Для облегчения прогноза P_{imp} авторы работы [8] приводят графики, полученные численным интегрированием уравнения (5) для восьми типов мишеней (табл. 2) и осколков разной формы и начальной скорости.

7.2. Прогноз вероятностей $\{Q_{37}, Q_{43}, Q_{49}, Q_{56}\} \in P_{\text{кас}}^T$ термического поражения соседних объектов вследствие воспламенения струи АХОВ, истекающего на поврежденной осколками емкости, рекомендуется проводить применяя два варианта.

1. Используя программный комплекс [7], с учетом наиболее вероятных размеров и места разгерметизации (выше или ниже зеркала жидкости в емкости с АХОВ), от чего зависит агрегатное состояние (газ либо двухфазная среда) продуктов аварийной утечки и ее интенсивность, а значит — и величина излучаемого теплового потока.

2. Либо с помощью заблаговременно подготовленных по результатам подобных расчетов графиков, которые будут иметь вид кривых, представленных на рис. 7 [6], и применение которых может повысить оперативность приближенной оценки этого же параметра. Полученные при этом мощности термоизлучения необходимы для априорной оценки искомых вероятностей с помощью соответствующих эрфик-функций, параметрами которых могут быть, например, следующие пробит-функции, полученные для необратимого повреж-

Таблица 2
Характеристика типовых мишеней — емкостей с АХОВ

Тип	Описание и объем емкости	H , м	R , м	Тип	Описание и объем емкости	H , м	R , м
T1	Сосуд объемом 25 м ³	4,75	1,35	T5	Сосуд объемом 5200 м ³	12,3	12,5
T2	Сосуд объемом 100 м ³	7,47	2,20	T6	Колонна	10	0,50
T3	Сосуд объемом 500 м ³	11,6	3,90	T7	Колонна	20	1,00
T4	Сосуд объемом 1000 м ³	6,90	7,50	T8	Колонна	40	2,00

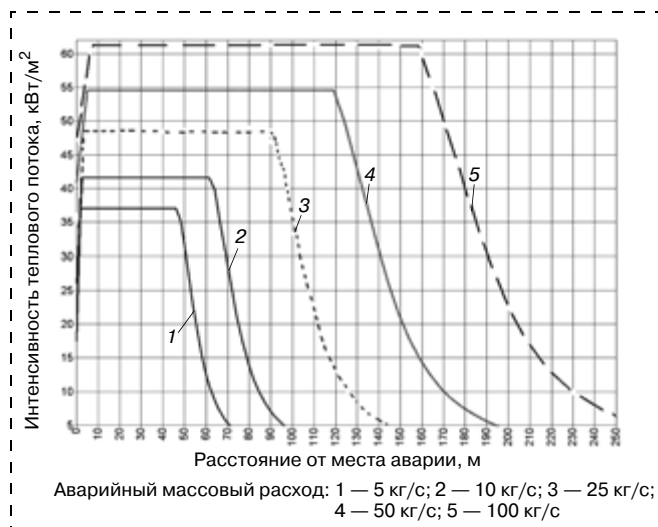


Рис. 7. Изменение интенсивности теплового потока горячей двухфазной струи

дения тепловыми потоками некоторых видов технологического оборудования [6]:

для вертикальных цилиндрических сосудов, работающих при атмосферном давлении:

$$Pr = 12,54 - 1,847 \times (-1,128 \ln W - 2,667 \cdot 10^{-5} V + 9,877); \quad (6)$$

для горизонтальных цилиндрических сосудов под избыточным внутренним давлением:

$$Pr = 12,54 - 1,847(-0,947 \ln W + 8,835 V^{0,032}), \quad (7)$$

где W — интенсивность теплового потока, кВт/м²; V — объем нагреваемого им сосуда, м³.

7.3. Вероятности $\{Q_{39}$ и $Q_{53}\} \in P_{\text{кас}}^{\text{ВВС}}$ повреждения технологического оборудования избыточным давлением ΔP воздушной волны сжатия, Па, чреватого соответствующими ущербами Y_y , следует оценивать с помощью следующих пробит-функций:

для оборудования, работающего при атмосферном давлении:

$$Pr_1 = -9,36 + 1,43 \ln(\Delta P); \quad (8)$$

для оборудования под избыточным внутренним давлением:

$$Pr_2 = -14,44 + 1,82 \ln(\Delta P); \quad (9)$$

для нефтегазовых сосудов колонного типа:

$$Pr_3 = -12,22 + 1,65 \ln(\Delta P); \quad (10)$$

для малогабаритного химико-технологического оборудования:

$$Pr_4 = -12,42 + 1,64 \ln(\Delta P). \quad (11)$$

Другие исходные данные, необходимые для проведения такого рода прогнозов, можно найти в проектной и эксплуатационной документации конкретных

опасных производственных объектов. Полученные при этом сведения рекомендуется использовать не только для оценки отдельных показателей каскадного риска, но также для обоснования рациональных стратегий его снижения путем выбора соответствующих конструкторско-технологических, эксплуатационно-технических и аварийно-спасательных мероприятий. Работоспособность и конструктивность изложенного оригинального подхода к прогнозированию и регулированию риска каскадных аварий, инициируемых выбросом большого количества АХОВ, проиллюстрирована на конкретном примере в работе [3].

Таким образом, приведенные в статье сведения указывают на плодотворность обобщенного подхода к прогнозированию и уменьшению риска техногенных аварий на основе соответствующего графоаналитического моделирования. Внедрение подобной информационной технологии представляется необходимым для повышения результативности программно-целевого менеджмента, осуществляемого администрацией опасных производственных процессов с целью повышения безопасности, а значит и рентабельности их эксплуатации.

Список литературы

1. **АРБИТР**. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем // Разработчик и правообладатель: ОАО "СПИК "СЗМА", Санкт-Петербург. Автор Можяев А. С. Аттестационный паспорт № 222 от 21 февраля 2007 года Ростехнадзора РФ. — С. 6.
2. **Белов П. Г.** Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: Учеб. пос. — М.: Академия, 2003. — 512 с.
3. **Белов П. Г., Комаревцева Т. А., Мельников А. В.** Прогнозирование и снижение риска каскадных аварий при производстве СПГ // Труды XIV международной НПК "Современные аспекты гуманитарных операций при ЧС и в вооруженных конфликтах". — М.: МЧС РФ, 2009. — С. 102—107.
4. **Белов П. Г., Можяев А. С.** Совершенствование комплексной безопасности при обращении с АХОВ // Труды XIV международной НПК "Современные аспекты гуманитарных операций при ЧС и в вооруженных конфликтах". — М.: МЧС РФ, 2009. — С. 69—74.
5. **Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П.** и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. В 2-х книгах. Пер. с англ. / Под ред. Я. Б. Зельдовича, Б. Е. Гельфанда. — М.: Мир, 1986.
6. **Сафонов В. С., Петрулевич А. А., Овчаров С. В., Мельников А. В.** и др. Анализ риска эксплуатации объектов СПГ/КПГ // Отчет о НИР № 125/3. — ОАО "ВНИИГАЗ", 2005.
7. **"ТОКСИ + Risk"**. Программный комплекс прогнозирования последствий выбросов вредных и аварийно химически опасных веществ: Руководство пользователя. — М.: ОАО "НТЦ Промышленная безопасность". 2008. — С. 156.
8. **Cozzani V., Zanelli S.** An Approach to the Assessment of Domino Accidents Hazard in Quantitative Area Risk Analysis // Journal of Hazardous Materials. — 2007. — V. 130. — N 5. — P. 24—50.
9. **Gubinelli G., Cozzani V.** Assessment of missile hazards: Evaluation of the fragment number and drag factors // Journal of Hazardous Materials. — 2008. — V. 131. — N 4. P. 12—40.
10. **Dianous V., Fievez C.** ARAMIS project: a more demonstration of risk control through the use of bow-tie diagram and the evaluation of safety barrier performance // Journal of Hazardous Materials. — 2006. — V. 130. — P. 220—233.
11. **Mingguang Z., Juncheng J.** An improved probit-method for assessment of domino effect to chemical process equipment caused by overpressure // Journal of Hazardous Materials. — 2008. — V. 131. P. 280—286.

УДК 662.9:502.13:656.2

В. Д. Катин, д-р техн. наук, проф., **В. Ю. Косыгин**, д-р геол.-мин. наук, проф.,
Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС),
г. Хабаровск
E-mail: kosyginv@inbox.ru

Пути повышения экологической эффективности сжигания топлива в котельных предприятий железнодорожного транспорта в условиях Дальнего Востока

Рассмотрены проблемы охраны атмосферного воздуха от загрязнения вредными выбросами котельных установок. Рекомендованы теплотехнические методы и устройства для сокращения выбросов оксидов азота и сопутствующих им загрязняющих веществ. Предложенные малоотходные технологии сжигания топлива и воздухоохраные технические решения защищены патентами на изобретения.

Ключевые слова: котельные установки, сжигание топлива, предприятия железнодорожного транспорта, загрязняющие вещества, теплотехнические методы, малоотходные технологии.

Katin V. D., Kosygin V. J. Ways of increase of ecological efficiency of burning of fuel to boiler-houses of the enterprises of a railway transportation in the conditions of the Far East

In the article problems of atmospheric air from pollution by harmful emissions of boiler installations are considered. Are recommended thermotechnical methods and devices for reduction of emissions of oxides of nitrogen and polluting substances accompanying them. Offered few waste technologies of burning of fuel are protected by patents on devices.

Keywords: boiler installations, burning of fuel, the enterprises of a railway transportation, polluting substances, thermotechnical methods, few waste technologies.

В числе приоритетных задач по стабилизации и развитию топливно-энергетического комплекса России становится создание и внедрение энергосберегающих установок и устройств на базе экологически чистых и малоотходных технологий для предприятий железнодорожного транспорта [1]. В связи с этим проблема защиты окружающей среды для стационарной теплоэнергетики отрасли становится наиболее актуальной в современных условиях.

По данным работы [2], промышленными предприятиями нашей страны в воздушный бассейн ежегодно выбрасывается до 100 млн т токсичных и агрессивных

веществ, из них около 400 тыс. т — от стационарных источников загрязнения (в основном котельных) предприятий железнодорожного транспорта.

В соответствии с государственной стратегией ОАО "Российские железные дороги" рассматривает экологическую работу в отрасли как важнейшее направление в своей деятельности. В то же время следует отметить, что железнодорожный транспорт и объекты его инфраструктуры имеют относительно небольшой удельный вес в валовом объеме загрязнений.

Так, доля загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу стационарными источниками предприятий железнодорожного транспорта, составляет лишь 0,4 % от общего объема выбросов промышленных предприятий. Однако нельзя не учитывать, что во многих случаях железнодорожные предприятия и котельные хозяйства гражданских сооружений, расположенные в густонаселенных местностях, создают локальные загрязнения воздушного бассейна в районах их размещения. С учетом вышеизложенного проблема охраны атмосферного воздуха от загрязнения в отрасли становится весьма актуальной.

Распределение выбросов различных загрязняющих веществ (%) котельными предприятиями железнодорожного транспорта приведено в табл. 1 [2].

Проблема интенсивного загрязнения атмосферы связана в основном со сжиганием топлива в котлоагрегатах, на долю которых приводится до 90 % всех вредных выбросов. Всего на предприятиях железнодорожного транспорта насчитывается около 18 тыс. паровых и водогрейных котлов,

Таблица 1

Распределение выбросов загрязняющих веществ (%) котельными предприятиями железнодорожного транспорта

Наименование предприятий	Оксиды азота	Оксиды серы	Сажистые частицы	Оксид углерода
Дистанции гражданских сооружений	37,1	63,1	37,8	30,0
Локомотивные депо	41,1	15,6	20,7	28,9
Вагонные депо	7,9	4,0	10,4	10,4
Заводы по ремонту подвижного состава	10,3	11,4	20,2	25,0
Другие	3,3	5,9	10,9	5,7

работающих на различных видах топлива: жидком, газообразном и твердом. В условиях Дальневосточного региона котельные транспортных предприятий снабжаются в основном твердым топливом (уголь) и реже жидким, газообразным топливом.

В котельных ряда предприятий наряду с современными котлами типа ДЕ и Е-1/9 эксплуатируются малоэкономичные и устаревшие конструкции котлов Ревокатова, Шухова, Шухова-Берлина и др. Всего насчитывается около 25 типов паровых и водогрейных котлоагрегатов [3].

Вместе с тем нельзя не отметить, что еще продолжают эксплуатироваться морально и технически изношенные паровозные котлы различных серий Е^а и Е^л, которые имеют КПД на 15...20 % ниже современных котлоагрегатов аналогичной тепловой мощности [4]. Во многих котельных установлены разнотипные котельные агрегаты, а в некоторых эксплуатируются одновременно и водогрейные, и паровые котлы.

Характерной особенностью котельных установок, эксплуатируемых на объектах железнодорожного транспорта, следует считать небольшую по сравнению с другими промышленными предприятиями единичную тепловую мощность и паропроизводительность (от 1 до 10 т/ч). В равной мере на предприятиях железнодорожного транспорта применяются котлоагрегаты паропроизводительностью до 1 т/ч (тепловой мощностью от 0,1 до 1,5 МВт), среди которых преобладают секционные отопительные котлы "Энергия" и "Универсал", работающие в основном на твердом топливе.

Потребности топливно-энергетических ресурсов для железнодорожного транспорта определены на основе Отраслевой научно-технической программы по экономии топлива и энергии на период до 2010 г. В соответствии с этой программой намечен рост доли котельно-печного топлива (2010 г. — 15,54 млн т у. т.) по сравнению с дизельным (2010 г. — 13,59 млн т у. т.).

В связи с наблюдаемой в отрасли тенденцией увеличения расхода котельно-печного топлива в стационарной теплоэнергетике большое значение приобретает повышение экологической эффективности сжигания топлива в котлоагрегатах, так как длительное время научно-технические разработки в области топочно-горелочных устройств были ориентированы в основном на повышение их КПД без учета сопутствующих вредных выбросов в атмосферу. Это касается котельных на предприятиях Дальневосточной, Забайкальской, Сахалинской железных дорог, в регионах размещения которых экологическая обстановка ухудшается. По данным обследований ряда предприятий Дальнего Востока (локомотивных депо станций Ружино, Сибирцево, Завитая, Южно-Сахалинск, котельных дистанций гражданских сооружений станций Завитая, Буряя, Холмск и др.), установлено, что котлы, работающие на твердом (местном, низкосортном)

топливе и реже на жидком топливе, имеют низкие эксплуатационные и экологические показатели, обусловленные повышенной влажностью топлива, а также высоким содержанием в их составе золы и серы. Это не только затрудняет топочный процесс, но и вызывает загрязнение воздушного бассейна твердыми частицами, оксидом углерода, оксидами серы и азота, выбрасываемыми вместе с продуктами сгорания. Причем, по результатам расчетных и опытных исследований на долю твердых частиц приходится до 40...52 %, оксида углерода — до 20...47 %, оксидов серы — до 6...8 % и оксидов азота — до 3...6% вредных выбросов [5].

Таким образом, проведенный авторами анализ показывает, что котельный парк большинства обследованных предприятий железнодорожного транспорта в Дальневосточном регионе находится в технически сложном состоянии. До сих пор применяются устаревшие, несовершенные методы сжигания твердого топлива: на простых колосниковых решетках с ручным обслуживанием.

В подобных условиях сжигание топлива в котлоагрегатах приводит к его перерасходу и, как следствие, к повышенному уровню загрязнения атмосферного воздуха.

Для оценки экологичности работы отопительных котлоагрегатов на предприятиях железнодорожного транспорта авторами данной работы предложены следующие критерии: величина удельного выброса вредных веществ (кг) в атмосферу, отнесенных к одной тонне сжигаемого топлива, а также условный показатель K_T токсичности дымовых газов, выбрасываемых котлоагрегатом. Критерий K_T представляет собой сумму отношений фактических концентраций загрязняющих веществ в продуктах сгорания к их максимальным разовым ПДК в атмосферном воздухе населенных мест. Главным и определяющим критерием остается первый критерий, величины которого наряду с валовыми выбросами (т/год) токсичных веществ приведены в работах [4, 5].

В связи с этим основными задачами являются разработка и внедрение малоотходных технологий сжигания топлива и воздухоохраных мероприятий, включая очистку дымовых газов [1, 2, 6].

Наибольшие затруднения вызывает решение проблемы сокращения выбросов оксидов азота (NO_x), поскольку они содержатся в дымовых газах в достаточных количествах даже при нормальном режиме горения топлива. Изучение механизмов образования оксидов азота при горении показало, что температура в топке является основным фактором, влияющим на их образование [5, 7].

Эти обстоятельства определяют направления борьбы с выбросами NO_x для котлоагрегатов, работающих на различных видах топлива. При сжигании природного газа, не содержащего связанного азота, необходимо использовать методы, влияющие на снижение температуры в зоне горения.



При сжигании мазута в высокофорсированных топочных устройствах и качественных углей в топках с жидким шлакоудалением, когда максимальные температуры в топке достигают 1900...2000 К, уменьшение температуры в зоне горения также имеет значение, хотя не является эффективной мерой подавления выбросов оксидов азота. В этом случае целесообразны методы, воздействующие на изменение концентрации окислителя в реакционной зоне.

При сжигании топлива в котлах, применяя те или иные методы ведения топочного процесса (регулируя температуру факела, коэффициент избытка воздуха, улучшая аэродинамику и теплообмен в топке), можно существенно снизить концентрацию NO_x в дымовых газах. В табл. 2 приведены основные апробированные в промышленности и теплоэнергетике методы сокращения выбросов оксидов азота из котлоагрегатов [5–7].

Выбор наилучших методов сокращения выбросов NO_x из котлоагрегатов должен определяться в каждом конкретном случае не только технико-экономическими соображениями, но и конструктивными особенностями самих котельных агрегатов. Есть способы, эффективно подавляющие образование NO_x в котлах с большим топочным объемом, которые практически не приемлемы для котлоагрегатов с малыми топками. К ним можно отнести рециркуляцию дымовых газов и метод ступенчатого сжигания топлива, сущность которых подробно описана в работах [4, 7].

Чаще всего на практике при эксплуатации котлоагрегатов для подавления образования NO_x используют метод снижения избытка воздуха в топке. Однако в этом случае появляется опасность загрязнения атмосферного воздуха оксидом углерода, сажей и углеводородами. Поэтому данный способ можно рекомендовать для котельных агрегатов при условии хорошего смесеобразования и в сочетании с мероприятиями дожигания продуктов неполного сгорания в хвосте факела.

Следовательно, реальные возможности практического применения в котельных установках указанных теплотехнических способов следует рассматривать комплексно, т. е. с учетом протекания в топке взаимосвязанных процессов горения, теплообмена и образования NO_x и сопутствующих загрязняющих веществ.

Важными путями улучшения работы котлоагрегатов являются создание и подбор для них высокоэффективных и малотоксичных топочно-горелочных устройств [8, 9]. Оснащение котлов данными горелками позволит существенно повысить экологичность работы действующих тепловых агрегатов на предприятиях железнодорожного транспорта, поскольку реально в 1,5...2 раза снижает концентрацию NO_x в дымовых газах.

Заслуживает практического применения в котельных предприятиях железнодорожного транспорта экологизированная технология сжигания жидкого топлива в виде водомазутных эмульсий [10, 11].

По данным работы [12], в результате внедрения нового способа сжигания мазута в котлах типа ДЕ котельной станции Амур Дальневосточной железной дороги, были реально снижены вредные выбросы в атмосферный воздух оксидов азота, оксида углерода и сажистых частиц.

В отличие от известных технических решений сжигания топлива в виде водомазутных эмульсий, устройство, защищенное патентом РФ № 31990, включает последовательно соединенные трубопровод подачи мазута, фильтр, насос, эмульгатор, форсунку, топку котла и дымовую трубу, соединенную с котлом через дымоход [11]. Сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу объясняется использованием водомазутной эмульсии с содержанием воды 10...14 %, что позволило получить экономический эффект от внедрения авторской разработки в размере 140 тыс. руб. в год.

Итак, изменение топочного процесса в нужном направлении может привести к сокращению вредных выбросов без дорогостоящих мероприятий по очистке дымовых газов от примесей.

Очистка дымовых газов от твердых частиц необходима и возможна путем установки за котлоагрегатами специальных устройств: циклонов-золоуловителей. Ниже описаны конструкции циклонов для улавливания сажистых частиц, разработанные авторами статьи совместно с сотрудниками кафедры БЖД ДВГУПС и защищенные патентами на полезные модели [13, 14].

Решаемая полезной моделью [13] задача заключается в создании фильтра-циклона, который позволяет существенно увеличить степень очистки

Таблица 2

Экологическая эффективность теплотехнических способов уменьшения образования оксидов азота в топках котлов

Вид топлива	Пределы снижения образования NO_x , %, при различных методах сжигания					
	Снижение избытка воздуха в топке, α^*	Двухступенчатое сжигание топлива	Рециркуляция части дымовых газов в топку	Ступенчатое горение при малых α	Рециркуляция дымовых газов при малых α^*	Впрыск влаги в факел
Газ	33	50	33	90	80	10
Мазут	33	40	33	73	70	10
Уголь	25	35	33	60	55	10

* α — коэффициент избытка воздуха.

дымовых газов за счет удаления мелкой дисперсной фазы пыли (сажи) и снизить тем самым загрязнение атмосферного воздуха.

Фильтр-циклон (рис. 1) для очистки дымовых газов содержит вертикальный цилиндрический корпус 1 с коническим днищем 2, снабженный штуцером 3 для удаления пыли, штуцер 5 для подачи запыленного газового потока, расположенный тангенциально к корпусу 1, крышку 6, выхлопную трубу 4, выполняющую функцию штуцера для отвода очищенного газа. Для решения поставленной задачи авторы предполагают выполнить выхлопную трубу в виде полого цилиндра и установить в верхней ее части набор фильтров 7 в виде сеток с разными размерами ячеек.

Техническое решение, описанное в патенте № 59448 [14], заключается в создании группового циклона, позволяющего повысить эффективность очистки дымовых газов за счет удаления мелкой дисперсной фазы пыли и уменьшить загрязнение окружающей среды.

Групповой циклон для очистки газов (рис. 2) содержит камеру 5 для сбора очищенных дымовых газов, общий бункер 4 для улавливания твердых частиц, циклонные элементы (1—3), содержащие вертикальный цилиндрический корпус с коническим днищем, снабженный штуцером для удаления пыли и коллектор 6. Каждая ступень снабжена патрубками 7. Для повышения степени очистки части дымовых газов авторами было предложено (как это и показано на рис. 2):

- расположить коллектор 6 в верхней части одного из циклонных элементов;
- выполнить коллектор в виде цилиндра, ступенчато уменьшающимся в диаметре по высоте с тангенциальным подводом газа;

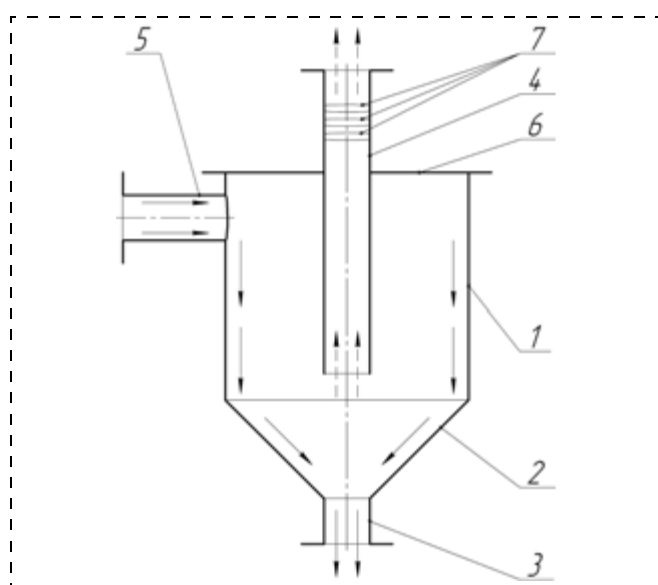


Рис. 1. Схема нового фильтра-циклона для очистки дымовых газов от сажи

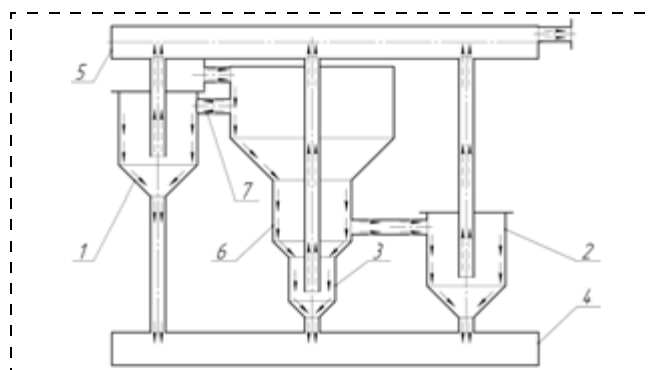


Рис. 2. Групповой циклон новой конструкции для очистки дымовых газов

- снабдить каждую ступень тангенциально расположенными патрубками для отвода части газов в циклонные элементы.

Предполагается, что благодаря указанным отличительным признакам в новой конструкции группового циклона степень очистки дымовых газов от сажистых частиц достигнет 85...90 % [13].

В этой связи следует отметить, что системами золоулавливания на предприятиях ДВЖД было очищено около 6 тыс. т твердых частиц в год [5].

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- на предприятиях железнодорожного транспорта эксплуатируются котельные установки, которые являются источниками значительного загрязнения атмосферного воздуха;
- до сих пор не осуществляется выпуск совершенных конструкций паровых и водогрейных котлоагрегатов с экологически чистыми технологиями сжигания топлива;
- в настоящее время котельные установки на предприятиях железнодорожного транспорта Дальневосточного региона снабжаются углем низкого качества и сорта, что оборачивается проблемой загрязнения атмосферы токсичными продуктами сгорания;
- перспективными и реальными путями повышения экологической эффективности эксплуатации котлоагрегатов на предприятиях железнодорожного транспорта в условиях Дальнего Востока является модернизация традиционных способов сжигания топлива, создание и внедрение малоотходных технологий работы котлов, не требующих существенных затрат;
- необходимо более широкое распространение на железнодорожном транспорте описанных в работе теплотехнических методов сокращения выбросов оксидов азота непосредственно в топочных устройствах котлов;
- для очистки дымовых газов от золы и сажистых частиц при сжигании угля и мазута в топках котлоагрегатов авторами разработаны и рекомендованы новые конструкции золоуловителей ци-



клонного типа, защищенные патентами [12—13]. В отличие от известных аналогов, разработанные золоуловители обладают высокой эффективностью и надежностью в эксплуатации и отвечают современным экологическим требованиям.

Список литературы

1. Катин В. Д., Киселев И. Г. Экологические проблемы сжигания топлива // Сб. науч. тр. ПГУПС "Перспективы развития тепловозной тяги". — СПб., 2006. — С. 21—24.
2. Анализ природоохранной деятельности в ОАО "РЖД" в 2007 году. — М.: ОАО "РЖД", 2008. — 72 с.
3. Карминский В. Д. Экологические проблемы и энергосбережение. — М.: Маршрут, 2004. — 592 с.
4. Катин В. Д., Старовойт А. И. Охрана воздушного бассейна при сжигании топлива в котлах и печах предприятий железнодорожного транспорта и нефтепереработки. — Владивосток: Дальнаука, 2007. — 160 с.
5. Катин В. Д., Вольхин И. В. Проблемы охраны атмосферы от загрязнения котельными на предприятиях железнодорожного транспорта и перспективы решения. — Хабаровск: ДВГУПС, 2006. — 99 с.
6. Родатис К. Ф., Полгарецкий А. Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. — М.: Энергоатомиздат, 1999. — 488 с.
7. Котлер В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. — М.: Энергоатомиздат, 1997. — 142 с.
8. Катин В. Д. Разработка новых конструкций газомазутных горелок для совместно-раздельного сжигания топлива // Тр. 43-й Всероссийской науч.-практ. конф. "Современные технологии — железнодорожному транспорту и промышленности". — Хабаровск: ДВГУПС, 2005. — С. 251—253.
9. Катин В. Д., Вавилов В. И. Модернизация отопительных котлов на твердом топливе в условиях БАМа и охрана окружающей среды. — Владивосток: Дальнаука, 2008. — 192 с.
10. Катин В. Д., Вольхин И. В. Анализ эффективных способов приготовления водомазутных эмульсий для сжигания в котельных предприятий железнодорожного транспорта // Труды III Международной научной конференции творческой молодежи. — Хабаровск: ДВГУПС 2003. — С. 139—142.
11. Патент № 31990 Россия, МКИ В01F3/06. Устройство для сжигания жидкого топлива / Катин В. Д., Вольхин И. В. Оpubл. 10.09.2003, Бюл. № 25.
12. Катин В. Д., Косыгин В. Ю., Вольхин И. В. Повышение экологической эффективности сжигания мазута в котельных установках. — Хабаровск: ДВГУПС, 2010. — 142 с.
13. Патент № 56227 Россия, МКИ В04С 9/00. Фильтр-циклон для очистки газов / Катин В. Д., Долгов Р. В., Ахтямов М. Х. Оpubл. 10.09.2006, Бюл. № 25.
14. Патент № 59448 Россия, МКИ В04С 5/12. Групповой циклон для очистки газов / Катин В. Д., Долгов Р. В., Ахтямов М. Х. Оpubл. 27.12.2006, Бюл. № 36.

УДК [621.565:621.564.24]:628.391(26) + 504.5/6

И. Г. Кобылянский, асп.,

Мурманский государственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций, Мурманский филиал
E-mail: kobyivan@yandex.ru

Экологические аспекты эксплуатации судовых холодильных установок

Приведена информация о состоянии холодильных установок на флоте, экологических опасностях, в том числе тепловом и шумовом загрязнении, расходе водных ресурсов, разрушении озонового слоя и приборах для измерения утечек фреонов.

Ключевые слова: фреоны, холодильные установки, акустика, озон, шум, экологические опасности, кондиционеры, компрессоры, стратосфера, тепловые насосы, течеискатели.

Kobilanski I. G. Ecological aspects of operation of ship refrigerating machineries

In clause the information on a condition of refrigerating machineries on fleet, ecological dangers, including thermal and noisy pollution, charge of water resources, destruction ozone of a layer and devices for measurement of outflow coolants is given.

Keywords: coolants, refrigerating machineries, acoustics, ozone, noisy, ecological dangers, conditioners, compressors, stratosphere, thermal pumps, selectors of outflow.

Рыбная промышленность Севера России представляет современную отрасль страны с мощным рефрижераторным флотом и развитой береговой базой. По данным рыбопромышленников российского Заполярья количество холодильных установок на флоте составляет около 300 единиц, в том числе работающих на фреоне около 250 единиц.

Флот рыбной промышленности страны непрерывно пополняется новейшими судами, оснащенными самой современной техникой. Только в г. Мурманске в 2009—2011 гг. предполагается ввести еще 19 холодильных установок мощностью 95 тыс. т [1].

Холодильные установки служат источником хотя и небольшого, но ощутимого *теплового загрязнения окружающей среды*. К этому надо добавить, что наращивание мощностей в области холодильной техники происходит быстрее, чем в среднем в других отраслях, что со временем может привести к увеличению доли, связанной с работой холодильных установок в суммарном техногенном сбросе теплоты в биосферу. Поэтому большинство работ ученых в области холодильной техники направлено на по-

вышение эффективности холодильных установок и в той или иной степени способствуют снижению теплового загрязнения окружающей среды [2].

Одной из форм загрязнения окружающей среды во время работы холодильных установок многих типов является *виброшумовое загрязнение*. С энергетической точки зрения вибрация и шум есть распространяющиеся в окружающей среде механические периодические колебания, переходящие в конце концов в теплоту.

К направлениям эксплуатации холодильных установок, создающим экологическую нагрузку на окружающую среду, является *расходование пресной воды*, в целях экономии которой используется обратное водоснабжение и замена водяного охлаждения конденсаторов воздушным.

Вместе с тем необходимо отметить, что холодильные установки с воздушными конденсаторами широко используемыми в рыбной промышленности; часто работают под повышенным давлением, и малейшие неплотности в трубопроводах, аппаратах, приборах автоматики, запорной арматуре часто приводят к *большим утечкам фреона*.

Фреоны обладают привлекательными физико-химическими свойствами, малотоксичны, просты в использовании, не обладают коррозирующим действием, не образуют взрывоопасных смесей с воздухом, имеют исключительно высокую пламеподавляющую способность. Однако в 1974 г. учеными было высказано предположение о том, что фреоны разрушают озоновый слой, защищающий земные организмы от

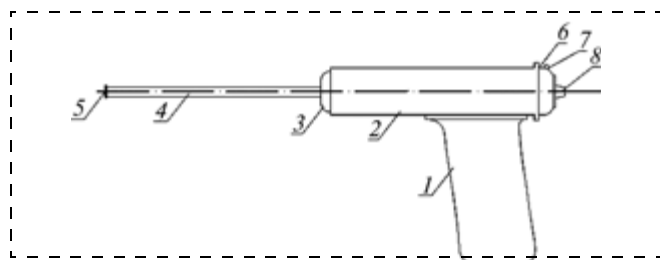


Рис. 1. Электронный акустический течеискатель:

1 — рукоятка; 2 — цилиндрический корпус; 3 — крышка корпуса; 4 — цилиндрический шуп; 5 — датчик; 6 — задняя крышка; 7 — светодиод; 8 — выключатель

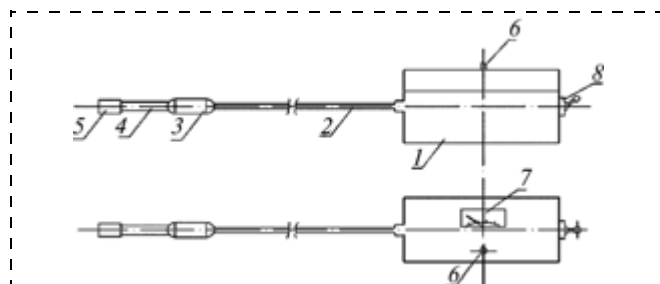


Рис. 2. Электронный газоразрядный течеискатель:

1 — корпус течеискателя; 2 — гибкий кабель; 3 — рукоятка; 4 — трубчатый шуп; 5 — трубоотборный колпачок; 6 — светодиод; 7 — стрелочный индикатор; 8 — тумблер

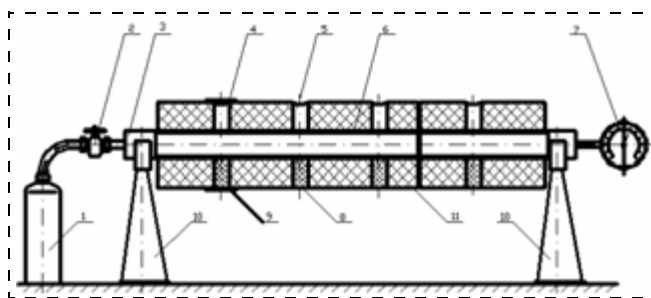


Рис. 3. Экспериментальный стенд для исследования утечек фреона под изоляцией:

1 — баллон с фреоном; 2 — вентиль; 3 — стальная труба $\varnothing 76 \times 4$ длиной 3900 мм; 4 — гибкая резиновая мембрана; 5 — колодец $\varnothing 60$ мм; 6 — имитатор свища $\varnothing 0,5$ мм; 7 — манометр; 8 — колодец с пробкой из пенополистирола; 9 — жесткая мембрана; 10 — подставка; 11 — изоляция трубы из пенополистирола толщиной 100 мм

губительного действия ультрафиолетового излучения Солнца. Озоноразрушающее действие фреонов приводит к образованию так называемых озоновых дыр, т. е. к снижению концентрации озона, что расценивается как серьезная экологическая опасность.

На современных рыбопромысловых и транспортных судах имеются фреоновые холодильные установки с широко разветвленной сетью трубопроводов, заполненных хладагентом, в частности фреоном 22. В связи с этим на рефрижераторных судах требуется контроль десятков тысяч метров труб.

В качестве одного из эффективных способов обнаружения утечек является способ обнаружения утечек фреона по акустическим звуковым и ультразвуковым сигналам, которые распространяются как в самих трубах, так и в окружающей среде, при истечении фреона через свищи и неплотности.

В лабораторных условиях и непосредственно на промысловых судах проведены исследования акустических сигналов, возникающих при утечках фреона через имитаторы свищей.

В результате исследований установлено, что при утечке фреона через свищи или микротрещины трубопровода под изоляцией точно и быстро можно ее определить двумя приборами — электронным акустическим и электронным газоразрядным течеискателями.

Для обнаружения утечек фреона на открытых участках трубопроводов в изолированных помещениях были разработаны, изготовлены и испытаны опытные образцы электронных портативных приборов как акустических (рис. 1), так и газоразрядных (рис. 2).

Испытание приборов проведено в лабораторных условиях Мурманского государственного технического университета и непосредственно на рыбопромысловых судах рыболовецкой судоходной компании ОАО "Мурманский траловый флот" [3].

На экспериментальном лабораторном стенде (рис. 3) Мурманского государственного технического университета исследования акустических



ультразвуковых колебаний металла труб проводили сначала на воздухе, а затем на фреоне 22 при давлениях 0,5...10 атм (1 атм = 10^5 Па) и диаметрах отверстий в шайбах, имитирующих свищи от 0,5 до 1,5 мм.

Экспериментальные исследования показали, что с помощью акустического сигнализатора можно определять утечки фреона на расстоянии 2 м без разрушения изоляции.

Список литературы

1. Белозеров Г. А., Дибирасулов М. А., Корешков В. Н., Колодяжная В. С., Румянцева О. Н., Бараненко Д. А. Современные технологии и оборудование для холодильной обработки и хранения пищевых продуктов // Холодильная техника. — 2009. — № 4. С. 18—24.
2. Чумак И. Г., Чепуренко В. П. Холодильные установки. — М.: Агропромиздат, 1991. — 495 с.
3. Отчет о научно-исследовательской работе. Комплексный метод борьбы с утечками фреона в холодильных установках БАТ типа "Горизонт". — Мурманск.: МВИМУ, 1985. — 79 с.

УДК 004.032.26:504.4.06

Н. Н. Красногорская¹, д-р техн. наук, проф., **Л. М. Якупова**¹, **Э. В. Нафикова**¹, асп., **Ю. И. Ферапонтов**², **А. Н. Елизарьев**¹, канд. геогр. наук, доц., **Т. Б. Фашевская**¹, канд. геогр. наук, доц.,

¹ Уфимский государственный авиационный технический университет

² Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
E-mail: nk.ufa@mail.ru

Интеграция генетических алгоритмов и искусственных нейронных сетей для прогнозирования качества речной воды

Рассмотрена возможность использования генетических алгоритмов (ГА) для выявления значимых входных параметров нейронной сети с целью прогнозирования гидрохимических показателей качества речной воды. На примере реки Белой апробированы полученные нейросетевые модели прогнозирования гидрохимических показателей качества речной воды.

Ключевые слова: качество речной воды, гидрохимические параметры, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, отбор входных параметров, обучение, прогнозирование.

Krasnogorskaya N. N., Yakupova L. M., Nafikova E. V., Ferapontov Y. I., Elizariyev A. N., Fashchevskaya T. B. Integration of genetic algorithms and artificial neural network to predict river water quality

Possibility of Genetic algorithm using to reveal appropriate artificial neural network input for hydrochemical river water quality parameters forecasting was considered. It was applied to predict hydrochemical Belaya river water quality parameters.

Keywords: water river quality, hydrochemical parameters, artificial neural networks, genetic algorithm, input selection, training, predicting.

Одним из основных аспектов обеспечения безопасности жизнедеятельности является рациональное управление водными ресурсами, ключевой задачей

которого является прогнозирование качества речных вод в условиях интенсивно меняющейся антропогенной нагрузки на водосборе. Прогнозирование гидрохимических показателей качества речной воды используется при планировании природоохранных мероприятий на водосборе.

В последние десятилетия при управлении водными ресурсами широкое распространение получило использование искусственных нейронных сетей (ИНС) [1—11]. В работе [12] апробирована возможность применения нейросетевых моделей при прогнозе гидрохимических показателей качества воды реки Уфы (приток реки Белой). При обучении нейронных сетей использована связь между среднемесячными значениями показателя за 12 месяцев предыдущего периода и значениями показателя в следующем месяце текущего года. В то же время при прогнозе не учитывается взаимосвязь гидрохимического режима водотока с гидрометеорологическими параметрами. В связи с этим, в развитие работы [12] предпринята попытка использовать нейронные сети для прогнозирования гидрохимических показателей качества воды реки Белой в зависимости от показателей гидрометеорологических.

Одним из важных этапов при создании прогнозной ИНС является выбор входных переменных, который осложняется целым рядом особенностей:

- число показателей, которые могут быть использованы в качестве входных параметров нейронной сети, измеряется десятками: расходы воды,

уровни воды, температура воздуха, количество осадков, ХПК, БПК₅ и др.;

- не все потенциальные входные переменные одинаково информативны; некоторые могут быть коррелированными (иметь хорошую связь между собой), зашумленными (искаженными случайными факторами) или иметь слабую связь с выходными параметрами нейросети;
- специфика гидрологических и гидрохимических процессов обуславливает наличие временных лагов* входных параметров.

Разные методы отбора входных параметров нейронной сети определяют различную достоверность прогнозной модели. Отсутствие единой методологии отбора входных параметров снижает точность прогноза и, как следствие, ограничивает применение интегрированных нейронных сетей для управления водными ресурсами. Таким образом, исследование методов обработки и анализа массива входных данных, выявление "значимых" или "несущественных" показателей является весьма актуальным.

Методы отбора входных параметров нейросети

Ниже перечислены основные методы, применяемые для отбора входных параметров модели управления водными ресурсами.

1. *Методы, основанные на использовании априорного знания о моделируемой системе.* Данный метод предполагает использование некоторого априорного знания для определения исходного набора входных параметров. При этом не все важные входные параметры могут быть включены, вследствие чего некоторая информация о системе может быть утеряна. С другой стороны, использование незначимых входных параметров может запутать процесс обучения. Тем не менее, во многих работах для определения значимых входных параметров используется только априорное знание [1, 7, 8]. Несмотря на широкое распространение данный метод является субъективным и зависит от знаний экспертов. Вероятно, предпочтительным подходом для определения значимых входных параметров и их лагов, является сочетание априорного знания и аналитических приемов.

2. *Методы, основанные на использовании линейной кросс-корреляции.* Аналитические приемы, такие как кросс-корреляция, используются, когда моделируемые связи плохо изучены. Кросс-корреляция является самым распространенным аналитическим приемом, используемым для выбора значимых входных параметров. Данный метод применяется для идентификации линейной зависимости между двумя переменными и не способен фиксировать нелинейную зависимость, которая

* Лаг — показатель, отражающий отставание или опережение во времени одного процесса по сравнению с другим, связанным с ним.

может существовать между входными и выходными параметрами. Тем не менее, в работах [2, 3] использован кросс-корреляционный анализ для выбора временных лагов гидрологических параметров и разработаны нейросети для прогнозирования расхода воды. В работе [3] применен метод Бокса, использующий кросс-корреляционный анализ для определения связи между входными и выходными временными рядами в различных лагах.

3. *Методы, основанные на использовании эвристического подхода (методы проб и ошибок).* Методы проб и ошибок наиболее широко применяются для нейросетевого моделирования водных ресурсов. Данный метод предполагает обучение нейросетей посредством перебора различных входных параметров. Например, в работе [4] предложена одномерная ИНС для прогнозирования притока воды в водохранилище. Методом проб и ошибок получено подходящее значение лага. В работе [6] использованы различные комбинации уровня и расхода воды для построения кривых скорости течения реки. Основным недостатком является высокая трудоемкость вычислительного процесса и отсутствие гарантии эффективного решения.

4. *Методы, основанные на получении информации с помощью уже обученной ИНС (анализ чувствительности).* Данная группа методов предполагает выявление значимых и незначимых параметров после обучения сети. Метод позволяет выделить переменные, без которых анализ невозможен, и идентифицировать те, которые можно без ущерба исключить из рассмотрения. Сложность реализации данного метода заключается в выборе подходящих диапазонов изменения входных значений [13].

5. *Синтетические методы, предполагающие сочетание четырех вышеперечисленных методов.* Например, в работе [12] при выборе значимых входных параметров при прогнозировании показателя общей минерализации выдвинуто предположение о наличии связи между значениями показателя общей минерализации, скорости течения и расходом речной воды (метод, основанный на использовании априорного знания), и затем с помощью кросс-корреляционного метода подтверждена правильность данного предположения. В работе [10], чтобы определить входные параметры для моделирования качества воды логических** экосистем применено сочетание таких методов, как корреляция Пирсона, регрессионный анализ и анализ чувствительности. Для того чтобы определить подходящие входные параметры при долгосрочном нейросетевом прогнозировании гидрометеорологических параметров в работе [11] применен метод, использующий априорное знание о процессе совместно с методом проб и ошибок.

** Логическая среда — проточные водоемы: родник, ручей, река.



Каждый из перечисленных методов определяет адекватность и точность прогнозной модели. В связи с этим в настоящей работе для отбора входных параметров предпринята попытка использования широко распространенных в биологии, медицине, экономике [14, 15] менее трудоемких и более информативных технологий искусственного интеллекта, имитирующих природные процессы, такие как деятельность нейронов мозга или процесс естественного отбора.

Использование генетических алгоритмов для отбора входных параметров нейросети

В настоящей работе апробировано применение ГА для отбора и ранжирования значимых входных параметров нейронных сетей с целью последующего прогнозирования качества воды реки Белой.

Несмотря на обилие публикаций, содержащих общие описания генетических алгоритмов, теоретические обоснования возможности их применения, довольно трудно дать точное определение этому термину. Генетические алгоритмы — новейший способ решения задач оптимизации, в основе которого лежат процессы естественного отбора в природе.

Попытки сочетания ГА и ИНС предприняты в некоторых работах [14, 16—20], в которых исследованы возможности применения ГА для оптимизации процесса обучения ИНС, направленной на уменьшение объема вычислений при условии сохранения точности решения на требуемом уровне.

В настоящей работе впервые апробировано применение ГА для отбора и ранжирования значимых входных параметров нейронных сетей с целью последующего использования их при прогнозировании качества воды в реке Белой.

Объект исследования

Объектом исследования является река Белая — крупнейшая водная артерия Республики Башкортостан и приток реки Волги II порядка. Река Белая протекает через все крупные промышленные центры Башкортостана и служит источником водоснабжения многочисленных городов и поселков, расположенных вдоль ее берегов.

Гидрохимический режим и качество воды реки Белой формируется под влиянием сбросов сточных вод промышленных объектов, поверхностного стока с сельскохозяйственных угодий, лесов и территорий населенных пунктов, а также транзита загрязняющих веществ из соседних областей [21]. От состояния загрязненности реки во многом зависит жизнь и здоровье населения республики.

В этой связи для обеспечения рационального водопользования в пределах речного бассейна приобретает практическую значимость прогноз качества воды реки Белой, используемой в питьевых, бытовых, рыбохозяйственных целях.

Характеристика исходных данных

Для прогнозирования качества воды реки Белой использованы данные наблюдений за гидрохимическим и водным режимом водотока Башкирского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Баш. УГМС) за период 1990—2006 гг. Перечень рассматриваемых параметров и некоторые описательные статистики, полученные при анализе временных рядов за исследуемый период, представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы, однородность данных (коэффициент вариации < 30) характерна только для параметров: минерализация, прозрачность, pH, жесткость, растворенный кислород, кремний, гидрокарбонаты. К крайне неоднородным (коэффициент вариации ≥ 100) относятся данные содержания взвешенных веществ, азота (аммонийного, нитридного, нитратного), железа общего, меди, цинка, никеля, СПАВ, нефтепродуктов, фенолов, а также температуры (воды и воздуха), расхода реки и уровня воды.

Таблица 1

Перечень и описательные статистики рассматриваемых параметров за период 1990—2006 гг.

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
1	Скорость течения	м/с	0,3	53
2	Расход реки Q	м ³ /с	1139	117
3	Уровень воды	см	160	229
4	Температура воздуха $T_{в-ха}$	°С	11,6	305
5	Количество осадков (Осадки)	мм	30	60
6	Минерализация	мг/л	90,5	21
7	Температура воды $T_{воды}$	°С	7,9	100
8	Взвешенные вещества (ВВ)	мг/л	53	118
9	Цветность	градус	7,2	35
10	Прозрачность	см	2,4	14
11	Водородный показатель pH		0,25	3
12	Жесткость	мл · моль	1,2	21
13	Растворенный кислород (Кислород)	мг/дм ³	2,08	20
14	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	0,84	52
15	ХПК	мгО/дм ³	17,1	59
16	Кальций (Ca)	мг/дм ³	75,1	87
17	Магний (Mg)	мг/дм ³	7,6	38
18	Кремний (Si)	мг/дм ³	1,0	29
19	Диоксид углерода (CO ₂)	мг/дм ³	2,9	57
20	Гидрокарбонаты (НСО ₃)	мг/дм ³	34,1	21
21	Азот аммонийный (Аммоний)	мг/дм ³	0,41	111
22	Азот нитритный (Нитриты)	мг/дм ³	0,019	106
23	Азот нитратный (Нитраты)	мг/дм ³	2,65	112
24	Фосфор общий (P)	мг/дм ³	0,046	90
25	Сульфаты	мг/дм ³	38,2	33
26	Хлор (Cl)	мг/дм ³	14,2	36
27	Железо общее (Fe)	мг/дм ³	0,45	118
28	Медь (Cu)	мг/дм ³	0,0049	107
29	Цинк (Zn)	мг/дм ³	10,8	140
30	Никель (Ni)	мг/дм ³	6,8	133
31	Хром общий (Cr)	мг/дм ³	5,2	93
32	Марганец (Mn)	мг/дм ³	54,1	89
33	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,34	200
34	Фенолы	мг/дм ³	0,049	980
35	СПАВ	мг/дм	0,02	100

Отбор входных параметров нейросети с помощью ГА при прогнозе качества водных ресурсов

В соответствии с терминологией генетических алгоритмов каждый показатель качества воды аналогичен гену, а совокупность показателей — хромосоме. Каждый ген кодируется с помощью бинарного кода или кода Грея [14, 20]. На первом этапе генетический алгоритм случайным образом генерирует первоначальную популяцию (набор хромосом) и затем каждая хромосома (совокупность параметров качества воды) оценивается с помощью функции приспособленности, которая определяется значением среднеквадратичной ошибки обучения [13]. Чем больше значение ошибки, тем меньше приспособленность, т. е. меньше связь между исследуемыми гидрохимическими и гидрометеорологическими параметрами.

Вторая и последующие популяции генерируются комбинированием хромосом (совокупностью показателей качества речной воды) с большей приспособленностью от предыдущих популяций (родительских) посредством операторов генетических алгоритмов (селекция, скрещивание и мутация) для создания более приспособленной хромосомы (дочерней).

Оператор селекции выбирает хромосому из родительской популяции для включения в дочернюю. При этом хромосомы с более высокой приспособленностью с большей вероятностью будут чаще выбираться, чем с низкой приспособленностью. Оператор мутации стохастически изменяет части хромосом (гены). При этом каждый ген хромосомы, который подвергается мутации меняется на другой ген (показатель качества воды). Оператор скрещивания осуществляет обмен генами между двумя или более числом хромосом (родителями) в популяции для производства новой хромо-

Таблица 2
Параметры генетического алгоритма

Параметр	Значение	Назначение параметра
Размер популяции	100	Задает объем популяции индивидуумов
Число поколений	100	Определяет сколько раз будет повторен цикл отбора-оценивания
Вероятность скрещивания	0,8	Эта вероятность должна быть достаточно высокой (0,9 — в лучшем случае)
Вероятность мутации	0,05	Должна быть установлена достаточно низкой (0,01 — в лучшем случае) вероятность мутации.
Штраф за элемент	0,001	Данный параметр умножается на число выбранных входных переменных и добавляется к ошибке. Типичные значения лежат в диапазоне (0,001...0,005)

сомы (потомка) [13—15, 20]. Генетический анализ продолжается до тех пор, пока не будет выполнен критерий остановки алгоритма. Таким критерием в ГА являлось исчерпание числа поколений, отпущенных на эволюцию. Заданные в настоящей работе параметры для генетического алгоритма представлены в табл. 2.

По окончании работы алгоритма в программе Statistica 7.0 открывается таблица, в которой указано, какие переменные оказались значимыми (Y), а какие нет (—), а также среднеквадратическая ошибка.

В настоящей работе генетический анализ проведен для отбора входных параметров нейронной сети при прогнозировании гидрохимических показателей качества речной воды. Для каждого параметра в процессе генетического анализа из 35 заданных (см. табл. 1) выбрано разное число значимых показателей (например, для нитритов отобрано семь значимых параметров, для фосфора общего — 16). Для примера отображение результатов использо-

	Error	T _{0,001}	T _{0,01}	Осадки	pH	CO ₂	Сульфаты	Минерализация	Нефтепродукты	Скорость течения	Q	Жесткость
Final	0,44	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	Y

Окно программы Statistica 7.0, отображающее результат генетического анализа показателя "Растворенный кислород" в воде реки Белой



Таблица 3

Процедура ранжирования значимых параметров для показателя "Растворенный кислород"

Штраф за элемент	Выбранные параметры
0,001	Q , $T_{в-ха}$, осадки, минерализация, $T_{воды}$, рН, CO_2 , сульфаты, нефтепродукты
0,0013	Q , $T_{в-ха}$, осадки, минерализация, $T_{воды}$, рН, CO_2 , сульфаты
0,0017	Q , $T_{в-ха}$, осадки, минерализация, $T_{воды}$, CO_2 , сульфаты
0,002	Q , $T_{в-ха}$, осадки, минерализация, $T_{воды}$, CO_2
0,003	Q , $T_{в-ха}$, осадки, $T_{воды}$, CO_2
0,0036	Q , $T_{в-ха}$, осадки, $T_{воды}$
0,004	$T_{в-ха}$, осадки, $T_{воды}$
0,005	$T_{в-ха}$, $T_{воды}$
0,006	$T_{воды}$

вания ГА графически интерпретировано на рисунке (для растворенного кислорода).

Как видно из рисунка, для показателя "Растворенный кислород" существенными являются расход реки, температура воздуха, количество осадков, минерализация и т. д. (всего девять параметров).

Для ранжирования показателей по степени важности используется параметр ГА-штраф за элемент [13]. Экспериментируя с различными значениями штрафа за элемент можно упорядочить гидрохимические и гидрометеорологические параметры по степени важности, т. е. последовательное повышение данного параметра заставляет алгоритм отключать наименее значимые из уже отобранных параметров.

При увеличении значения штрафа за элемент в 2 раза (до 0,002) вновь запущенный ГА из уже отобранных девяти значимых параметров для растворенного кислорода выделит шесть и т. д. Ход процедуры ранжирования для показателя "растворенный кислород" представлен в табл. 3.

Как видно из таблицы, наиболее значимые параметры для показателя "Растворенный кислород" можно проранжировать следующим образом: 1-й (наиболее значимый) — $T_{воды}$, 2-й — $T_{в-ха}$, ... 9-й (наименее значимый) — нефтепродукты.

Аналогичным способом отбор и ранжирование значимых параметров выполнены для всех исследуемых гидрохимических показателей качества воды реки Белой (табл. 4). Согласно этой таблице, отдельные показатели связаны между собой, и изменение одних может привести к изменению других. Например, на содержание растворенного кислорода в большей степени влияют: температура воды, температура воздуха, количество осадков и расход реки. Это, по-видимому, объясняется тем, что скорость абсорбции кислорода из атмосферы повышается с понижением температуры. Также обогащение воды кислородом происходит в результате поступления в водоемы пересыщенных кислородом дождевых и снеговых вод, перемешивания водных масс и т. д.

Содержание легкоокисляемых веществ, фиксируемых по показателю БПК₅, зависит в основном от изменения температуры воды и от концентраций фенолов, СПАВ и нефтепродуктов. Влияние температуры сказывается через ее воздействие на скорость процесса потребления, которая увеличивается в 2—3 раза при повышении температуры на 10 °С. Показатель ХПК зависит в первую очередь от содержания азота аммонийного. По-видимому, это объясняется тем, что присутствие ионов аммония связано главным образом с процессом деградации органических веществ.

Для азота (аммонийного, нитритного и нитратного) и фосфора общего единым значимым параметром отобрана температура воды. Это связано с тем, что содержание данных соединений зависит главным образом от процессов фотосинтеза и биохимического окисления веществ, которые интенсифицируются при повышении температуры. Помимо температуры на содержание азота аммонийного, азота нитратного и фосфора общего существенное влияние оказывает количество осадков, что обусловлено смывом с поверхности земли неживого органического вещества, а также стоком с сельскохозяйственных угодий, на которых применяются удобрения, поступление в водоемы синтетических моющих средств.

Одним из источников поступления тяжелых металлов в речные воды является процесс выщелачивания металлосодержащих руд. Содержание нефтепродуктов и фенолов может значительно изменяться из-за протекающих в водоеме процессов испарения, сорбции, биохимического и химического окисления. Так, содержание нефтепродуктов и фенолов зависит преимущественно от значений показателя ХПК и температуры воды соответственно. Таким образом, с помощью ГА для каждого рассматриваемого показателя качества воды реки Белой отобраны значимые параметры, которые впоследствии использованы в качестве входных параметров для нейронной сети.

Прогнозирование показателей качества реки Белой с использованием отобранных входных параметров

Для прогнозирования качества воды в реке Белой после выбора значимых входных параметров необходимо определить архитектуру ИНС. Существуют сотни видов структур нейронных сетей, каждая из которых предназначена для решения определенных типов задач. Так, например, многослойный перцептрон (MLP) используется для решения задач регрессии, сети Кохонена применяются для задач кластеризации и сегментирования, сети Хопфилда находят широкое применение в задачах распознавания образов [13, 15]. Обобщенно-регрессионные сети (GRNN) применяются в качестве универсального аппроксиматора, что обусловлено наличием скрытого слоя нейронов с нелинейными радиально-базисными функциями



Результаты отбора и ранжирования параметров с помощью ГА

Входные параметры	Выходные параметры	Скорость течения	Расход реки	Уровень воды	$T_{в-ха}$	Осадки	Минерализация	$T_{воды}$	ВВ	Цветность	Прозрачность	pH	Жесткость	Кислород	БПК ₅	ХПК	Ca	Mg	Si	CO ₂	НСO ₃	Аммоний	Нитриты	Нитраты	Р	Сульфаты	Cl	Fe	Cu	Zn	Ni	Cr	Mn	Нефтепродукты	Фенолы	СПАВ		
Скорость течения	У	2	1	2	3				5											6																		
Расход реки	У	2	1	4	6				4											11																		
Уровень воды	2	1	У	3	10				7											13																		
$T_{в-ха}$	2	3	7	10	У				2											12																		
Осадки	3	4	5	1	У				4											5																		
Минерализация	3	8	6	1	4				3											8																		
$T_{воды}$	1	1	7	8	4				У											7																		
ВВ	1	7	8		4				У											8																		
Цветность	1	7	8		4				У											9																		
Прозрачность	2	4	4		9				5											1																		
pH	2	4	4		9				6											2																		
Жесткость	2	4	4		9				6											1																		
Кислород	2	4	4		9				6											2																		
БПК ₅	6				7				7											5																		
ХПК					7				10											6																		
Ca					7				11											11																		
Mg					7				У											У																		
Si					7				У											У																		
CO ₂					7				10											У																		
НСO ₃					7				У											У																		
Аммоний					7				У											У																		
Нитриты					7				У											У																		
Нитраты					7				У											У																		
Р					7				У											У																		
Сульфаты					7				У											У																		
Cl					7				У											У																		
Fe					7				У											У																		
Cu					7				У											У																		
Zn					7				У											У																		
Ni					7				У											У																		
Cr					7				У											У																		
Mn					7				У											У																		
Нефтепродукты					7				У											У																		
Фенолы					7				У											У																		
СПАВ					7				У											У																		

Примечание. 1 — наиболее значимый параметр, л — наименее значимый параметр.



Таблица 5

Результаты прогнозирования гидрохимических показателей качества воды на 2007 г. (пункт наблюдения река Белая — г. Уфа)

Гидрохимический показатель	δ_{-} , %	δ_{+} , %	Гидрохимический показатель	δ_{-} , %	δ_{+} , %
Минерализация	0,4	5,1	Азот аммонийный	1,5	9,1
Температура воды	0	6,8	Азот нитритный	2,2	6,7
Взвешенные вещества	1,3	8,0	Азот нитратный	2,0	7,2
Водородный показатель рН	0,4	4,9	Медь	3,6	9,2
Жесткость	2,8	5,3	Хром общий	4,5	7,8
Растворенный кислород	0	4,1	Марганец	1,2	4,7
БПК ₅	0	5,2	Нефтепродукты	4,7	8,2
ХПК	2,9	7,5	СПАВ	2,7	4,1

активации, которые позволяют выявить малейшие изменения в исследуемых временных рядах. Данные типы нейронных сетей применяют, когда необходимо достаточно высокий уровень аппроксимации исходных данных [8, 13].

В работе [12] показано, что для прогнозирования гидрохимических параметров качества воды реки Уфы целесообразно использование GRNN-сети. В связи с этим в настоящей работе для прогнозирования показателей качества воды реки Белой выбрана именно эта сеть. Обучение выбранной нейронной сети проводилось аналогично описанному в работе [12].

Обученные ИНС использованы для прогнозирования гидрохимических показателей качества воды реки Белой в створе г. Уфы на 2007 г. Минимальные (δ_{-}) и максимальные (δ_{+}) относительные ошибки прогнозирования параметров качества воды реки Белой в створе г. Уфы приведены в табл. 5.

Как видно из таблицы, относительная ошибка прогнозирования лежит в пределах погрешности измерений гидрохимических параметров [22—24], что показывает высокую степень достоверности прогноза показателей качества речной воды с использованием ГА при отборе входных параметров нейронной сети.

Следовательно, использование ГА для выбора значимых входных параметров нейронной сети позволяет ускорить процесс и повысить эффективность нейросетевого моделирования. Необходимость оперативного анализа сложившейся обстановки особенно остро возникает в чрезвычайных ситуациях, когда "эффективное" во многом означает быстрое и точное решение. Таким образом, сочетание вычислительных технологий — искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов для прогнозирования качества воды реки Белой позволяет обеспечить отбор значимых входных данных для нейросетевого моделирования.

Список литературы

1. **Campolo M., Soldati A., Andreussi P.**, 1999. Forecasting river flow rate during low-flow periods using neural networks. *Water Resources Research* 35 (11), 3547—3552.

2. **Huang W., Foo S.**, 2002. Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River. *Water Research* 36, 356—362.

3. **Imrie C. E., Durucan S., Korre A.**, 2000. River flow prediction using artificial neural networks: generalisation beyond the calibration range. *Journal of Hydrology* 233, 138—153.

4. **Jain S. K., Das A., Srivastava D. K.**, 1999. Application of ANN for reservoir inflow prediction and operation. *Journal of Water Resources Planning and Management* 125 (5), 263—271.

5. **Jain S. K., Chalisgaonkar D.**, 2000. Setting up stage-discharge relations using ANN. *Journal of Hydrologic Engineering* 5 (4), 428—433.

6. **Jayawardena A. W., Fernando D. A. K., Zhou M. C.**, 1997. Comparison of multilayer perceptron and radial basis function networks as tools for flood forecasting IAHS Publication (International Association of Hydrological Sciences) (239) 1997.

7. **Thirumalaiah K., Deo M. C.**, 2000. Hydrological forecasting using neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering* 5 (2), 180—189.

8. **Maier H. R., Dandy G. C.**, 1996. The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters. *Water Resources Research* 32 (4), 1013—1022.

9. **Liong S.-Y., Lim W.-H., Paudyal G. N.**, 2000. River stage forecasting in Bangladesh: Neural network approach. *Journal of Computing in Civil Engineering* 14 (1), 1—8.

10. **Schleiter I. M.** et al., 1999. Modelling water quality, bioindication and population dynamics in lotic ecosystems using neural networks. *Ecological Modelling* 120 (2—3), 271—286.

11. **Silverman R., Dracup J. A.**, 2000. Artificial neural networks and long-range precipitation in California. *Journal of Applied Meteorology* 31 (1), 57—66.

12. **Красногорская Н. Н., Елизарьев А. Н., Фашевская Т. Б., Якупова Л. М., Нафикова Э. В.** Использование искусственных нейронных сетей при прогнозировании качества речной воды // *Безопасность жизнедеятельности*. — 2009. — № 4. — С. 15—21.

13. **Боровиков В. П.** Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных. — М.: Телеком, 2008. — 198 с.

14. **Вороновский Г. К., Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А.** Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. — Харьков: ОСНОВА, 1997. — 112 с.

15. **Хайкин С.** Нейронные сети: полный курс. — Вильямс, 2005. — 1061 с.

16. **Dandy G. C., Simpson A. R., Murphy L. J.**, 1996. An improved genetic algorithm for pipe network optimisation. *Water Resources Research* 32 (2), 449—458.

17. **Liong S.-Y., Khu S.-T., Chan W.-T.** Derivation of pareto front with genetic algorithm and neural network. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2001. — 6 (1). — С. 52—61.

18. **Васенко С. М., Кабак И. С.** Обучение больших нейронных сетей с помощью генетических алгоритмов // <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=13&pa=10&ar=3>.

19. **Гагарин А. В.** Модифицированные генетические алгоритмы с применением нейронных сетей и вертикальных субпопуляций // *Вестник Уфимского государственного авиационного университета*. — 2006. — Т. 8. № 5. — С. 119—122.

20. **Гамбарова Е. М.** Оптимизация структуры нейронных сетей с использованием генетического алгоритма для распознавания объектов на космических снимках // *Космос*. — 2009. — № 3. — С. 67—71.

21. **Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды республики Башкортостан в 2006 г.** — Уфа, 2007. — 200 с.

22. **ГОСТ 27384—2002.** Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств.

23. **ПНД Ф 14.1:2.4 139—98** (издание 2004). Методика выполнения измерений массовой концентрации кобальта, никеля, меди, хрома, цинка, марганца, железа, серебра в питьевых, природных, сточных водах методом атомно-адсорбционной спектроскопии.

24. **ПНД Ф 14.1:2.110—97** (издание 2004). Методика выполнения измерений содержания взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом.



УДК 574.000:628.544

И. Г. Сапченко, канд. техн. наук, доц., **С. Г. Жилин**, канд. техн. наук, доц.,
О. Н. Комаров, канд. техн. наук, **В. В. Предеин**, асп., **Н. Г. Зиновьев**, асп.,
УРАН Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре
E-mail: mail@imim.ru

Экологические аспекты применения термитных смесей в машиностроении

Рассмотрен технологический вариант комплексного решения экологической проблемы, связанной с утилизацией таких техногенных отходов металлургических предприятий, как окалина, стружка черных и цветных металлов, шлак.

Ключевые слова: металлургические отходы, окалина, стружка, экологичное производство, утилизация шлака, низкая газотворность, скорость процесса.

Sapchenko I. G., Zhilin S. G., Komarov O. N., Predein V. V., Zinovev N. G. Ecological aspects of thermites application in mechanical engineering

This article examines the complex solution of environmental problems related to the disposal of anthropogenic waste of metallurgical enterprises, as dross, swarf ferrous and nonferrous metals, slag.

Keywords: metallurgical waste, scale, a shaving, harmless manufacture, recycling of slag, low gas-producing, process speed.

Деятельность машиностроительных предприятий, располагающих металлургическими, литейными, прокатными и кузнечно-штамповочными подразделениями сопряжена с большим объемным потреблением металлошихты, огнеупорных и легирующих материалов, электроэнергии, воды, воздуха, пара и др. Получаемая в производстве сталь в виде слитков, непрерывно-литых заготовок и отливок направляется в прокатные, кузнечные, прессовые цехи или на машиностроительные предприятия; брак и отходы в виде недоливов, окалины и скрапа частично поступают в переплав; отходящие газы должны улавливаться, а их теплота утилизироваться, содержащиеся в них ценные компоненты должны использоваться; шлаки могут быть использованы для различных народнохозяйственных нужд [1].

Значительный ущерб здоровью основного производственного персонала наносят отходящие при получении стали газы, состоящие, как правило, из CO, CO₂, H₂O, N₂, примесей NO₃ и SO₂, а также значительного количества "плавильной" пыли. Утилизация отходящих газов на крупных предприятиях осущест-

вляется посредством газоотводных трактов, котлов-утилизаторов, пылеулавливающих устройств и др. Однако в настоящее время предприятия, рассчитанные на меньший объем производства и функционирующие в рамках мелкосерийных и единичных заказов, вынуждены вслед за изменением номенклатуры своих изделий проводить корректировку технологического процесса и, как следствие, основного производственного оборудования и нести дополнительные затраты, связанные с утилизацией газов.

Утилизация образующихся технологических выбросов, таких как окалина, шлак, стружка черных и цветных металлов в полном объеме в настоящее время представляется затруднительной и малоэффективной. Накопившиеся металлоотходы лишь в объеме 10...15 % используются в процессе производства. Наличие шлакоотвалов, используемых для захоронения окалины, обедненного скрапа и шлака, занимающих значительные земельные площади, на которых происходит выветривание металлургической пыли, приводят к загрязнению атмосферы и водоемов. Утилизация мелкой стружки черных и цветных металлов затруднительна вследствие высокой доли их угара при переплаве, что делает этот процесс экономически малоэффективным.

Экологическое состояние окружающей среды в результате накопления техногенных отходов металлургических предприятий (ОМП) обуславливает актуальность разработки и внедрения технологий утилизации окалины, стружки черных и цветных металлов. Таким образом, приоритетной задачей в металлургии, литейном и кузнечно-штамповочном производствах является разработка технологии, применение которой позволит одновременно решить комплекс экологических проблем: значительно сократить количество отходов, обеспечить высокоэффективную и экономически прибыльную утилизацию, а также полезное использование побочных продуктов производства.

Перспективным является применение технологий, позволяющих сократить долю металла, получаемого традиционным переплавом лома в общем объеме литого металлоизделия. Эффект может быть достигнут за счет использования в объеме литого изделия доли металла, восстановленного посредством термитного переплава из ОМП [2], что одновременно решает проблему их утилизации.



В настоящее время возможность получения из ОМП сортовых марок так называемых термитных сталей (Ст45Л, 35ХГСЛ, 110Г13Л и др.) изучена незначительно, поэтому процесс осуществляется в малых объемах [3, 4]. В основу разрабатываемого технологического процесса положена экзотермическая окислительно-восстановительная реакция, в ходе которой происходит восстановление железа из ОМП с получением сортовой термитной стали. Исходной шихтой для получения термитной стали и изделий из нее служит смесь порошка алюминия и окалины, стальной стружки, а также наполнители, в качестве которых могут быть использованы различные ферросплавы для доведения стали до химического состава, соответствующего получаемой марке.

Разрабатываемая сотрудниками Института машиноведения и металлургии ДВО РАН технология получения термитной стали и металлоизделий из нее направлена на комплексное решение проблемы утилизации ОМП, а также пониженную концентрацию отходящих плавильных газов в сравнении с существующими аналогами получения стального расплава и металлоизделий на его основе.

Реализация технологического процесса получения стали из ОМП осуществляется в несколько этапов: огнеупорный реактор заполняется термитной смесью; термитную смесь воспламеняют и в реакторе проходит экзотермическая окислительно-восстановительная реакция с образованием металлического расплава; жидкий металл заполняет литейную форму или изложницу, а шлак, образующийся в результате реакции, всплывает к верхней части формы.

Продуктами рассматриваемого технологического процесса являются образующиеся плавильные газы, стальной расплав и шлак. Целью настоящей работы является установление объемных и качественных характеристик плавильных газов, объемов утилизируемых в результате реакции ОМП, а также перспективы использования образующегося шлака.

Определение газотворной способности термитных смесей при воздействии высокой температуры по традиционному косвенному методу представляется затруднительным в силу ряда причин. Сущность такой оценки газотворной способности сводится к следующему: исследуемый образец помещают в трубку, которая погружается в ванну расплавленного металла (алюминия) при температуре 700...850 °С; выделяющиеся газы собираются в опрокинутой бюретке с нанесенной тарировкой, которая заполнена водой. Однако высокая температура горения термитных смесей не позволяет проводить исследования на их газотворность данным способом.

На основе описанного выше метода была разработана установка для определения газотворной способности термитных смесей, представленная на

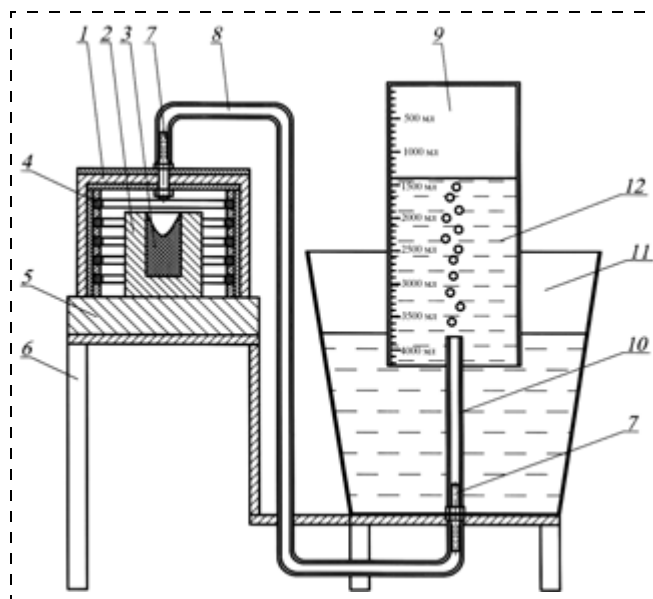


Рис. 1. Установка для определения газотворной способности термитных смесей

рис. 1. Принцип действия этой установки заключается в следующем. На раму 6 устанавливается резервуар 11 и огнеупорное основание 5, а на последнее — тигель 2 с термитной смесью 3. Затем тигель накрывается огнеупорной крышкой 1 с нанесенным по кромке герметизирующим составом. После нагревания смеси нагревательным элементом 4 до определенной температуры происходит воспламенение термитной композиции. Газы, образующиеся в результате реакции, устремляются по каналу 8, выполненному из термостойкой резины, в полость бюретки 9, ориентированной вверх заглушенной частью. Канал, по которому проходят газы, крепится к крышке 1 и резервуару 11 с жидкостью (водой) с помощью штуцеров 7. Газы от штуцера до мерной бюретки 9 передаются при помощи патрубка 10. Количество выделившихся газов определяется изменением уровня мерной жидкости (воды) 12 в бюретке; чем больше выделится объем газов, тем ниже опустится уровень жидкости.

Проведенными исследованиями установлено, что термитные смеси, содержащие в своем составе максимально технологически допустимое количество наполнителей имеют меньшую газотворную способность по сравнению со смесями, содержащими минимальное количество наполнителей. При этом установлено, что основным газообразующим компонентом является чистый термит (смесь окалины и алюминия без введения легирующих присадок), в результате горения которого выделяется пыль, содержащая оксиды металла, оксиды кремния, сажевые частицы и газообразные вещества в виде оксидов серы, азота, углерода.



Наполнители, используемые в данной работе при введении их в чистый термит снижают его газотворную способность при горении. Таким образом, с экологической, технико-экономической точек зрения получение легированных сталей является более предпочтительным, чем осуществление процесса простой утилизации окалина и стружки с получением термитной металлошихты в результате проведения экзотермического процесса.

Эффективность протекания экзотермического процесса технологически обусловлена необходимостью подогрева оснастки, поэтому исследование зависимости суммарного объема выделяющихся газов при горении термитных смесей от температуры подогрева оснастки представляется необходимым. Результаты эксперимента позволяют определить диапазон температур и оптимальное содержание легирующих присадок в термитной смеси как по технологическим, так и по экологическим параметрам. В табл. 1, 2 и 3 представлены экспериментальные значения газотворных способностей термитных смесей, применяемых для получения сталей, соответствующих по химическому составу Ст45Л, 35ХГСЛ и 110Г13Л.*

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что в ходе реакции в термитной смеси, применяемой для получения стали Ст45Л с минимально допустимым содержанием легирующих присадок 1,97 %, количество выделившихся газов увеличивается с 0,032 м³/кг до 0,035 м³/кг в интервале температур подогрева оснастки от 20 до 1000 °С. В данном случае с увеличением температуры подогрева оснастки увеличивается температура протекания реакции в термитной смеси, что приводит к увеличению угара элементов и повышению образования газовой фазы. Газотворная способность смесей для получения сталей 35ХГСЛ и 110Г13Л, представленных в табл. 2 и 3, также увеличивается с повышением температуры подогрева и снижается при увеличении содержания добавок в термитных смесях. Добавкой к исходной термитной смеси является мелкая металлическая стружка, угар в которой при традиционной переработке посредством переplava в печи, составляет до 30 % по черным металлам и до 70 % по цветным.

Экспериментом установлено, что оптимальными по газовыделению являются смеси с содержанием суммарного количества добавок 50 % и температурой подогрева реактора 1000 °С, при этом наблюдается максимальный выход термитного металла и заполняемость формы, газовые раковины на поверхности отливки отсутствуют.

* Прочерки в таблицах означают, что при таком содержании добавок и температуре подогрева оснастки осуществление реакции невозможно.

Таблица 1
Газотворные способности термитных смесей, м³/кг, применяемых для получения Ст45Л

Температура подогрева оснастки, °С	Содержание наполнителей, %							
	1,97	3	5	10	20	30	40	50
20	0,032	0,032	0,031	—	—	—	—	—
200	0,032	0,032	0,032	—	—	—	—	—
400	0,033	0,033	0,033	0,031	—	—	—	—
600	0,034	0,034	0,033	0,031	0,026	—	—	—
800	0,035	0,034	0,034	0,032	0,029	0,023	—	—
1000	0,035	0,035	0,034	0,032	0,029	0,023	0,019	0,015

Таблица 2
Газотворные способности термитных смесей, м³/кг, применяемых для получения стали 35ХГСЛ

Температура подогрева оснастки, °С	Содержание наполнителей, %					
	5,46	10	20	30	40	50
20	—	—	—	—	—	—
200	0,031	—	—	—	—	—
400	0,032	0,031	—	—	—	—
600	0,033	0,031	0,027	—	—	—
800	0,034	0,031	0,029	0,023	—	—
1000	0,034	0,032	0,029	0,023	0,019	0,015

Таблица 3
Газотворные способности термитных смесей, м³/кг, применяемых для получения стали 110Г13Л

Температура подогрева оснастки, °С	Содержание наполнителей, %		
	30	40	50
20	—	—	—
200	—	—	—
400	—	—	—
600	—	—	—
800	0,024	—	—
1000	0,024	0,02	0,016

Известно, что при получении 1 т металла в открытых вагранках выделяется 900—1200 м³ колошникового газа, которое может увеличиваться в 1,5—3,5 раза при его разбавлении воздухом, всасываемым через завалочное окно. При получении 1 т металла в закрытых вагранках в среднем выделяется 1,5 кг пыли и 25 кг диоксида углерода. Суммарное газовыделение при выплавке металла в индукционных и электродуговых печах в 1,5 раза меньше, чем в вагранках. При использовании в производстве этих технологических процессов получения жидкого металла сокращение объема выделяющихся газов трудноосуществимо.

Проведенным экспериментом, результаты которого представлены на рис. 2 (см. 3-ю стр. обложки), установлено, что при получении расплава термитным способом значительно сокращаются объемы "плавильных" газов при использовании технологически оптимальных термитных смесей.



Из рис. 2 видно, что при получении 1 т расплава термитным способом суммарное выделение "плавивных" газов для сталей Ст45Л, 110Г13Л и 35ХГСЛ в технологически приемлемом диапазоне температур подогрева формы 600...1000 °С составляет 15...25 м³, что в 40—60 раз меньше, чем при получении 1 т металла в открытых вагранках и в 10—20 раз меньше, чем при выплавке металла в индукционных и электродуговых печах. Таким образом, использование рассматриваемого технологического процесса в производстве представляет значительный практический интерес.

Существенный практический интерес представляет также возможность изменения интенсивности процесса, определяющей суммарное количество выделяющегося теплового излучения, которое является вредным фактором производства. Современная металлургическая технология позволяет обеспечить полную утилизацию теплоты [1], однако на практике негативное влияние этого фактора на производственных рабочих остается весьма значительным. Таким образом, увеличение интенсивности процесса планирования позволит значительно сократить время пребывания производственных рабочих в зоне повышенного теплового излучения.

Экспериментально установлено следующее:

- полнота восстановления элементов при прохождении экзотермической реакции является условно производной от температуры реакции;
- на интенсивность процесса оказывает влияние совокупность таких факторов, как температура подогрева оснастки и соотношение компонентов в

термитных смесях, управление которыми позволяет регулировать интенсивность реакции.

Практическое определение интенсивности протекания реакции осуществлялось замером времени $t_{г.т.с}$ (по секундомеру) сгорания определенной массы термитной смеси $M_{г.т.с}$ от начала реакции до ее полного завершения с площади $S_{г.т.с} = \text{const}$.

Интенсивность реакции, $г/(см^2 \cdot с)$, вычислялась по формуле:

$$V_{г.т.с} = \frac{M_{г.т.с}}{S_{г.т.с} \cdot t_{г.т.с}}$$

В табл. 4 приведены значения интенсивности горения термитных составов в зависимости от температуры подогрева оснастки и количества вводимых добавок.

Таким образом, установлено, что время образования жидкого металла в результате термитных реакций сокращается при увеличении количества вводимых наполнителей и увеличивается с повышением температуры подогрева оснастки при равных исходных объемах вступающих в реакцию термитов.

Технологически важным в экологическом аспекте при производстве термитной стали представляется баланс легирующих компонентов исходной термитной смеси и времени получения расплава стали. Для повышения выхода термитной стали и корректирования ее химического состава на основе термита составляют различные алюминотермические шихты, вводя в их состав металлический наполнитель (стальную и чугунную стружку), ферросплавы и другие материалы.

Таблица 4

Интенсивность горения термитных составов, $г/(см^2 \cdot с)$

Температура, °С	Термитный состав	Количество вводимых добавок, %							
		1,97	3	5	10	20	30	40	50
20	Ст45Л	1,77	1,71	1,62	—	—	—	—	—
	35ХГСЛ	—	—	—	—	—	—	—	—
	110Г13Л	—	—	—	—	—	—	—	—
200	Ст45Л	2,41	2,23	1,91	—	—	—	—	—
	35ХГСЛ	—	—	1,81	—	—	—	—	—
	110Г13Л	—	—	—	—	—	—	—	—
400	Ст45Л	3,56	3,32	3,11	1,79	—	—	—	—
	35ХГСЛ	—	—	3,07	1,77	—	—	—	—
	110Г13Л	—	—	—	—	—	—	—	—
600	Ст45Л	4,99	4,86	4,68	3,94	1,82	—	—	—
	35ХГСЛ	—	—	4,71	3,95	1,81	—	—	—
	110Г13Л	—	—	—	—	—	—	—	—
800	Ст45Л	5,21	5,05	4,92	4,76	4,44	3,72	—	—
	35ХГСЛ	—	—	4,85	4,72	4,41	3,71	—	—
	110Г13Л	—	—	—	—	—	1,79	—	—
1000	Ст45Л	5,24	5,12	4,97	4,82	4,64	4,18	3,37	1,68
	35ХГСЛ	—	—	4,91	4,78	4,66	4,15	3,34	1,64
	110Г13Л	—	—	—	—	—	3,82	3,18	1,49

Примечание. Отсутствие данных в таблице означает, что при таком содержании добавок и температуре подогрева оснастки осуществление реакции невозможно.

Экспериментом было определено время прохождения термитной реакции до ее полного завершения в зависимости от плотности термосмеси (рис. 3 — см. 3-ю стр. обложки). Как видно, с увеличением плотности технологически оптимальных термитных смесей время прохождения процесса сокращается, что может быть следствием увеличения суммарной площади контакта вступающих в реакцию частиц. Также определено, что замедление процесса изменения скорости расплавления компонентов термитной смеси происходит до ее плотности 2200 кг/м^3 , т. е. дальнейшее повышение плотности термитной смеси не приведет к сокращению времени полного расплавления всех ее компонентов, а значит, технологически оптимальным представляется уплотнение термитной смеси до 2200 кг/м^3 . При такой плотности для утилизации 1 т термитной смеси и прохождении реакции за время менее 0,5 мин ее объем должен составлять $0,45 \text{ м}^3$.

Практически определен технологически эффективный диапазон применения утилизируемых наполнителей в термитной смеси [5, 6]. В качестве наполнителей термитной смеси использована мелкая стружка черных металлов, утилизация которой обычным способом (переплавом) затруднительна вследствие высокого угара (до 60 %), а значит низкой доли выхода годного металла.

На рис. 4 (см. 3-ю стр. обложки) представлена экспериментальная зависимость выхода годной стали от температуры нагрева термитной шихты и содержания в ней компонентов наполнителя. Как видно, оптимальным диапазоном содержания наполнителя в термитной смеси является 20...40 % при начальном подогреве термитной шихты до температуры не ниже $600 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, при утилизации 1 т окалины появляется возможность одновременной переработки мелкой стальной стружки при 30 %-ном угаре последней, что предпочтительней традиционного процесса их переplава в экологическом и экономическом аспектах, так как при этом выход газовой составляющей в атмосферу производственных помещений сокращается до 2 раз, а чистая экология, ввиду уменьшения расходов на нагрев компонентов термосмеси, сократится в 1,6—1,8 раза.

В современной металлургии побочным продуктом процесса получения сортового металла являются шлаки, которые, в зависимости от способов их получения, как правило, используются вторично, так как шлаковые отвалы требуют значительных площадей для их размещения, что связано с образованием пыли и отрицательным воздействием на воздушный и водной бассейн, а утилизация шлаков экономически выгодна ввиду содержания в них чистого металла.

Традиционными направлениями утилизации шлаков металлургического производства являются: извлечение металла; получение железо-флюса для вагранок; получение щебня для дорожного и

промышленного строительства; использование фосфорсодержащих шлаков для получения удобрений для сельского хозяйства; вторичное использование конечных сталеплавильных шлаков [1].

Образующийся в результате термитного восстановления стали и переplава утилизируемой стружки шлак содержит 40...70 % Al_2O_3 , что определяет возможность его использования в качестве основного компонента при формировании шамотных и высокоглиноземистых огнеупорных изделий.

Таким образом, применение процесса термитной переработки отходов металлургии и машиностроения позволяет комплексно решить ряд технических и экономических задач, а экологические параметры разработки существенно выше, чем при использовании традиционного метода получения стали вследствие сокращения длительности процесса и использования отходов производства (окалина), что обусловлено сокращением выхода в атмосферу производственных помещений газов, образующихся при расплавлении металла, сокращение площадей, используемых на производстве для складирования отходов производства (окалина, стружка черных и цветных металлов).

Технология термитной переработки металлоотходов отмечена дипломом 2-й степени VIII Московского международного салона инноваций и инвестиций (с вручением серебряной медали), прошедшего во Всероссийском выставочном центре в Москве в 2009 г. и удостоена диплома 2-й степени (с вручением серебряной медали) XIV Международной выставки-конгресса "Высокие технологии. Инновации. Инвестиции" Петербургской технической ярмарки 2009 г. соответственно.

Разработка технологии проводилась в рамках инновационного проекта ДВО РАН "Разработка технологии термитной переработки металлоотходов" № 17-ИН-09 и поддержке проекта фундаментальных исследований ДВО РАН № 09-1-1112-01.

Список литературы

1. Кудрин В. А. Металлургия стали. Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: 1989. — 560 с.
2. Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н., Предеин В. В. Особенности получения литья из термитных сталей // Заготовительные производства в машиностроении. — 2008. — № 8. С. 3—6.
3. Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н. Влияние состава термитной смеси и ее температуры на объем восстанавливаемой стали марки Ст45 // Литье и металлургия. — 2007. — № 2. — С. 115—116.
4. Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н., Зиновьев Н. Г. Свойства термитных сталей из отходов металлургического производства // Металлургия машиностроения. — 2007. — № 5. — С. 20—22.
5. Патент на полезную модель № 75165. Литейная форма с термитной прибылью. Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н., Предеин В. В. 27.07.2008.
6. Сапченко И. Г., Жилин С. Г., Комаров О. Н. Об эффективности прибылей с высоким температурным градиентом для стальных отливок / Литейное производство. — 2006. — № 7. — С. 9—12.



УДК 628.543

С. В. Свергузова, д-р техн. наук, проф., **Ж. А. Свергузова**, канд. техн. наук,
Г. И. Тарасова, канд. техн. наук, проф.,
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
E-mail: pe@intbel.ru

Эффективная очистка сточных вод как фактор экологической безопасности жизнедеятельности

Изложены результаты исследований возможности очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий с помощью фильтрующего материала, содержащего песок и термолизный дефекал — термически модифицированный отход сахарного производства. Приведены результаты исследований очистки сточных вод, достигаемая эффективность очистки составляет более 98 %.

Ключевые слова: безопасность жизнедеятельности, очистка сточных вод, отход сахарной промышленности, фильтрационный материал.

Sverguzova S. V., Sverguzova J. A., Tarasova G. I. The effectiveness of waste treatment as a factor of ecological industrial safety

In this article we expounded the results of research of cleaning of milk plants waste waters by filter material which contains sand thermolysis defecat-thermally modified waste of sugar production. We give the research results of waste treatment. The achieved effectiveness of treatment is 98 %.

Keywords: industrial safety, waste treatment, waste of sugar production, filtering material.

Важнейшим условием экологической безопасности жизнедеятельности населения любой страны является качество воды водных объектов.

Анализ использования водных ресурсов России, начиная с 1965 г., свидетельствует о наличии трех характерных периодов [1]:

- 1960-х — середина 1970-х гг. — интенсивный рост водопотребления на все нужды хозяйства и увеличение удельного водопотребления;
- середина 1970-х — конец 1980-х гг. — водопотребление общее и на промышленные нужды практически стабилизировалось, происходило устойчивое снижение удельного водопотребления. В сельском хозяйстве эти тенденции осложнялись гидроклиматическими колебаниями;
- 1990 г. — снижение объемов общего и промышленного водопотребления и резкое увеличение удельного. В сельском хозяйстве суммарное водопотребление в последние годы падало, а удельное практически стабилизировалось.

Следует отметить, что в течение последних десятилетий многими авторами систематически отмечается негативная тенденция ухудшения качества воды поверхностных и подземных водных объектов. Это явление можно проиллюстрировать на примере Белгородской области.

Из табл. 1 следует, что общий объем сброса сточных вод по области в последние годы снизился в связи с организацией возврата сточных вод ОАО "Стойленский ГОК" из пруда-аккумулятора в хвостохранилище предприятия. Однако массовая

Таблица 1
Динамика сброса сточных вод

Показатели	Годы						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Объем сброса сточных вод, млн м ³ /год	216,8	243,99	216,16	170,04	166,54	135,26	137,77
Сброс загрязненных сточных вод в водоемы, масс. %	2,9	4,2	5,2	5,9	6,3	7,78	8,1

Таблица 2
Динамика качества воды поверхностных водоемов (пробы, не отвечающие гигиеническим нормативам, %)

Показатели	Годы						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Санитарно-химические	29,1	28,7	31,4	26,2	37,8	31,4	31,3
Микробиологические,	11,2	13,5	16,5	14,4	22,0	31,4	15,9
в том числе с выделенными возбудителями инфекционных заболеваний	0,2	0,3	0,3	1 проба	1 проба	0	1
Паразитологические	2,6	2,7	0	1,1	2,5	6,5	6,4

доля сброса загрязненных вод в водоемы остается высокой и имеет тенденцию к увеличению [2, 3].

Данные лабораторного контроля ФГУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в Белгородской области" за качеством воды водоемов свидетельствуют о росте уровня микробного, химического и других видов загрязнения по сравнению с прошлыми периодами наблюдений (табл. 2) [4].

Наиболее высокий уровень загрязнения водоемов по санитарно-химическим показателям зарегистрирован в Алексеевском, Красногвардейском и Старооскольском районах, по микробиологическим — в Алексеевском и Старооскольском районах.

Причинами неудовлетворительного качества воды водоемов остается высокая рекреационная нагрузка; неэффективная работа сооружений очистки хозяйственно-промышленных сточных вод. Поэтому разработка способов повышения эффективности очистки сточных вод является актуальной задачей.

Авторами разработан фильтрующий материал для очистки сточных вод, в частности, сточных вод предприятий молочной промышленности, с высоким содержанием взвешенных и растворимых органических соединений, который может быть использован на очистных сооружениях предприятий пищевой промышленности.

Известен фильтрующий материал, используемый при очистке сточных вод и описанный в работе [5]. Этот материал состоит из возвратных технологических отходов электродного производства и карбоната кальция. Недостатком такого способа очистки является то, что используются дефицитный материал — чистый карбонат кальция и изначально токсичные отходы производства. При этом эффект очистки сточных вод от органических веществ невысок и образуется значительное количество отработанной фильтрующей загрузки, так как высота слоя фильтрующей загрузки составляет 600 мм.

Известен также фильтрующий материал, состоящий из недожиг опила и коры, дополнительно содержащий песок и опил [6]. Однако количество таких веществ в настоящее время резко сократилось, эффективность практического их применения мала, получение многих из них не освоено промышленностью. Кроме того, некоторые из упомянутых выше компонентов фильтрующего материала токсичны изначально для окружающей среды и человека, а полученный в результате очистки сточных вод шлам трудно утилизировать.

Предлагаемый авторами фильтрующий материал не токсичен для окружающей среды и человека, дешевый, доступный, эффективный, а также рассчитан на расширение рынка сбыта техногенных отходов сахарной промышленности.

Это достигается тем, что фильтрующий материал для очистки сточных вод, содержащих песок, со-

гласно предлагаемому решению, дополнительно содержит термолизный дефекаат — термически модифицированный отход сахарного производства при следующем соотношении компонентов, масс. %: песок — 20...65; термолизный дефекаат — 35...80.

Фильтрационный осадок — дефекаат, представляет собой отход сахарного производства, содержащий на своей поверхности до 18...20 % различных органических веществ, адсорбированных в результате очистки диффузионного сока сахарной свеклы на стадиях сатурации. В результате термической обработки на поверхности дефекаата происходит неполное сгорание органических веществ и образование обуглившихся веществ, в основном состоящих из углерода. Значительной составляющей частью термолизного дефекаата являются карбонаты кальция, магния, микроэлементы: кремний, калий, натрий, азот, фосфор, токсичные вещества и ионы тяжелых металлов отсутствуют.

Процентный состав термолизного дефекаата зависит от исходного материала и температурного процесса его получения. Однако эффект повышения степени очистки сточных вод в результате применения в качестве фильтрующего материала смеси из термолизного дефекаата и песка не зависит от возможного изменения качественного состава дефекаата при соблюдении в фильтрующем материале приведенного выше соотношения компонентов.

Термолизный дефекаат получают из отхода сахарной промышленности — фильтрационного осадка — дефекаата путем термической обработки в электрических печах или печах с кипящим слоем при невысоких температурах (450...650 °С).

Пример. Для очистки сточной воды использовали фильтрующий материал из смеси речного песка (крупностью 0,5...2,5 мм) с термолизным дефекаатом (крупностью 0,8...2,5 мм); диаметр колонны 2,6 мм; высота слоя фильтрующего материала 300 мм; скорость фильтрования 1,5 м³/м²·ч. Результаты по очистке приведены в табл. 3 при различных соотношениях компонентов, температура термолиза дефекаата составляет 600 °С.

В экспериментах использовали сточную воду молочного комбината с расходом сточной воды 150 м³/ч, не прошедшую механической очистки. Характеристика сточной воды: ХПК — 5020 мгО₂/л; БПК₅ — 2934 мгО₂/л; концентрация взвешенных веществ 5250 мг/л; рН = 8,2; количество растворенного кислорода 0,27 мг/л. Фильтроцикл составляет 14 ч.

Сравнительные данные по эффективности очистки сточных вод предлагаемого и известного фильтрующего материала приведены в табл. 4. Из таблицы следует, что предлагаемый в качестве фильтрующего материала термолизный дефекаат



Таблица 3

**Результаты очистки сточных вод при различных соотношениях компонентов фильтрующего материала
(кварцевого песка и термолизного дефеката)**

Содержание компонентов смеси, %		Качество очищенной воды				Эффективность очистки	
Песок	Термолизный дефекат	Растворенный кислород, мгО ₂ /л	pH	ХПК, мгО/л	Концентрация взвешенных веществ, мг/л	по ХПК	по взвешенным веществам
0	100	2,0	7,8	1750	1320	65,2	74,8
100	0	0,32	7,9	4760	1635	5,2	68,8
80	20	0,75	7,6	3910	1455	22,1	72,3
70	30	1,2	7,5	2135	1350	57,7	74,3
65	35	1,98	7,4	1890	1120	65,4	78,7
60	40	2,1	7,5	1500	980	70,1	81,3
50	50	2,2	7,6	1260	840	74,9	84,0
40	60	2,25	7,7	860	368	82,9	93,0
35	65	2,3	7,75	420	230	91,6	95,6
30	70	2,4	7,8	260	165	94,8	96,86
25*	75	2,5	7,85	140,6	105	97,2	98,0
20	80**	2,55	7,9	129	99	97,4	98,1
10	90	2,4	8,0	230	160	95,4	95,8

* Оптимальный состав кварцевого песка. ** Оптимальный состав термолизного дефеката.

Таблица 4

Эффективность очистки в зависимости от состава фильтрующего материала при скорости фильтрации 1,5 м³/м²·ч

Фильтрующий материал	ХПК, мгО/л		Эффективность очистки по ХПК, %	Взвешенные вещества, мг/л		Эффективность очистки по взвешенным веществам, %
	Исходной воды	После фильтрации		Исходной воды	После фильтрации	
Смесь опила, песка и недожога в соотношении (5—20—75) масс. % (прототип)	5020	1862,42	62,9	5250	367,5	93
Смесь песка и термолизного дефеката в соотношении (25—75) масс. % (предложенный)	5020	140,56	97,2	5250	105	98
Смесь песка и термолизного дефеката в соотношении (20—80) масс. % (предложенный)	5020	129	97,4	5250	99	98,1

обладает более высокой степенью очистки от органических и взвешенных веществ.

Таким образом, предложенный фильтрующий материал позволяет повысить качество очистки сточных вод до 97,2...97,4 % по ХПК и практически полностью очистить от взвешенных веществ (до 98,1 %), а также удешевить процесс очистки за счет применения отходов сахарного производства при сохранении высокой скорости фильтрования.

Кроме того, применяемый фильтрующий материал позволит расширить сырьевую базу, отказаться от дефицитных токсичных материалов. Он является дешевым, отечественным и применение его может решить экологическую проблему региона по утилизации крупнотоннажных техногенных отходов сахарной промышленности, расширяя рынок их сбыта.

При уменьшении количества термолизного дефеката ниже 35 % не происходит увеличения степени очистки сточной воды, т. е. не достигается поставленная задача, при увеличении количества термолизного дефеката выше 80 % практически

эффект очистки ухудшается, кроме того, увеличивается расход фильтрующего материала и часть материала просто не будет участвовать в процессе.

Список литературы

1. **Коронкевич Н. И., Зайцева И. С., Долгов С. И., Ясинский С. В.** Тенденции антропогенного воздействия на водные ресурсы России // Тез. докл. IV Междунар. конгр. "Вода: экология и технология". — М., 2000. — С. 98.
2. **Областной доклад "О санитарно-эпидемиологической обстановке в Белгородской области в 2006 году.** — Белгород: ЦГСЭ, 2007. — С. 21.
3. **Областной доклад "О санитарно-эпидемиологической обстановке в Белгородской области в 2007 году.** — Белгород: ЦГСЭ, 2008. — С. 2.
4. **Областной доклад "О санитарно-эпидемиологической обстановке в Белгородской области в 2008 году.** — Белгород: ЦГСЭ, 2009.
5. **А. с. № 1542909 СССР, МКИ³ С 02 F 1/28.** Способ очистки сточных вод / В. И. Черкашин, В. М. Мазяев, Н. А. Украинец и др. (СССР) — № 4322971/ 31—26; заявл. 02.11.87; опубл. 15.02.90 // Бюл. № 6. — 12 с.
6. **А. с. № 1579905 СССР, МКИ³ С 02 F1/28; В 01 D 39/00.** Фильтрующий материал для очистки сточных вод / Т. Ю. Попова, Я. И. Вайсман, Е. В. Романова (СССР) № 4428666/31—26; заявл. 19.05.88; опубл. 23.07.90 // Бюл. № 27. — 3 с.

Изучение сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А

Описана адсорбция флокулянтов на сорбенте СВ-1-А, изготовленном на основе опок Астраханской области. Приведены изотермы статической сорбции флокулянтов из водных растворов, рассчитаны изменения энтальпии (ΔH), изобарно-изотермического потенциала (ΔG) и энтропии (ΔS) сорбции. Результаты работы могут быть использованы для очистки воды от флокулянтов.

Ключевые слова: сорбент, сорбция, флокулянты, очистка воды.

Alykov N. M., Shachneva E. Yu. Studying sorption flokulyanty on sorbent SV-1-A

Adsorption flokulyanty on sorbent SV-1-A received on the basis of calfskin of the Astrakhan area is studied, isotherms static sorption flokulyanty from water solutions are received, calculated: enthalpy (ΔH), isobar-isothermal potential (ΔG) and entrophy (ΔS) sorption. Results of work can be used for water treating from flokulyanty.

Keywords: sorbent, sorption, flokulyanty, clear of water.

Основным назначением флокулянтов является повышение скорости и эффективности очистки природных и сточных вод от коллоидных и тонкодисперсных примесей различной природы, не удаляющихся механическими методами — отстаиванием, фильтрацией и флотацией. Кроме того, флокулянты применяются для обезвоживания осадков. Независимо от области использования флокулянтов, основными характеристиками их флокулирующих свойств является эффект очистки воды или степень обезвоживания осадка и доза флокулянта [1—6].

Целью работы явилось изучение возможности очистки воды от остаточных количеств флокулянтов на основе акриламида с использованием природного сорбента СВ-1-А, полученного из опок Астраханской области.

Характеристика эксперимента

Установлено, что флокулянты адсорбируются на тонкоизмельченных опоках Астраханской области, которые получили название сорбентов группы "СВ". Модификация сорбента "СВ" полу-

чена путем введения в его массу связующего портландцемента-500 и окислителя — диоксида марганца (IV) (пирролюзита).

Общая процедура изучения адсорбции включает в себя адсорбцию из воды различных флокулянтов при их увеличивающейся концентрации. Количественной характеристикой сорбции является уменьшение вязкости растворов флокулянтов после сорбции. Вязкость изучали по времени истечения воды и водных растворов флокулянтов с их различными концентрациями из специально подобранной пипетки емкостью 5 см³. Вначале измеряли время истечения воды при той температуре, при которой измеряли и время истечения флокулянтов различной концентрации. Рассчитывали динамическую вязкость растворов флокулянтов, величину которой использовали для построения изотерм сорбции и нахождения различных термодинамических характеристик.

Экспериментальная часть

Получение сорбента. Сорбент получают следующим образом: к 100 г тонкоизмельченной опоки с размерами частиц около 0,01 мм в поперечнике (месторождение с. Каменный Яр Астраханской области) вносят 100 г портландцемента-500, 10 г тонкоизмельченного пирролюзита (MnO₂), 25 см³ 10 %-ного раствора хлорида натрия. Полученную смесь тщательно перемешивают. Массе дают подсохнуть до состояния, когда из нее можно сформовать колбаски или гранулы, высушивают при температуре 100...105 °С, далее дают изделию отвердеть, на что уходит 3...4 суток. Полученный материал выдерживают в проточной воде до тех пор, пока реакция на хлорид-ион будет отрицательной и снова высушивают при температуре 100...105 °С.

Приготовление растворов флокулянтов. В исследовании использовались флокулянты серии АК-631 (Н-150, КП-1020, КП-540, А-155, А-930, А-1510) (ТУ 6-02-00209912-41—94; тех. регламент от 20.06.98 г.; изготовитель — ФГУП "Саратовский НИИ Полимеров "ООО "Гель-Сервис", г. Саратов), а также флокулянт Z-92 (произведен в Германии).

Приготавливали 1,0 %-ные растворы флокулянтов. Навеску сухого вещества постепенно вносили в стаканчик с 75 см³ дистиллированной воды при постоянном перемешивании на магнитной



мешалке при температуре 50 °С. После добавления всей порции флокулянта продолжали интенсивное перемешивание еще 1,5 ч до полного исчезновения комочков флокулянтов. Жидкость переносили в колбу емкостью 500 см³ и доводили ее объем до метки дистиллированной водой. Через сутки раствор флокулянта готов к работе. Растворы флокулянтов не изменяют свои свойства (вязкость, прозрачность) в течение пяти суток.

Получение данных для построения градуировочного графика. Так как растворы изучаемых веществ являются вязкими жидкостями, и их вязкость зависит от концентрации вещества, то при определенной температуре можно судить о концентрации вещества по его вязкости. Главное условие состоит в том, чтобы исходный раствор был жидко-текучим.

В серию из 10 градуированных центрифужных пробирок вносили от 0 до 9,0 см³ раствора одного из флокулянтов и доводили объемы растворов дистиллированной водой до 10 см³. Из каждой пробирки отбирали по 5 см³ веществ и измеряли время истечения жидкости. По результатам измерений строили градуировочные графики. Для примера градуировочный график для флокулянта КП-540 приведен на рис. 1.

Изучение адсорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А. В раствор, изготовленный так же, как в случае построения градуировочного графика, вносили по 1 г сорбента, встряхивали 10 мин, отстаивали, центрифугировали при скорости 3000 мин⁻¹. После отделения жидкостей измеряли их вязкость. По градуировочным графикам, полученным для ка-

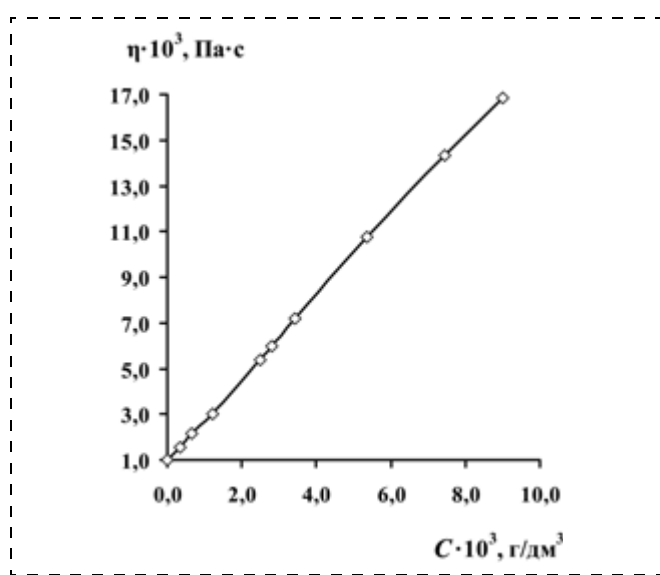


Рис. 1. Зависимость вязкости η флокулянта КП-540 от концентрации C при температуре 298 К

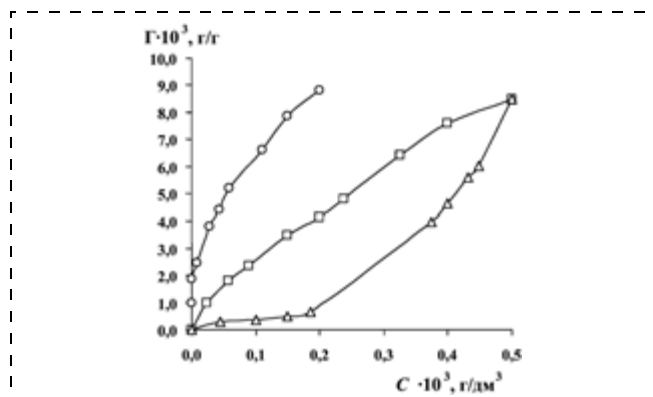


Рис. 2. Влияние температуры на адсорбцию флокулянта КП-540: -○- — 313 К; -□- — 298 К; Δ — 277 К

жого из флокулянтов при температурах $T_1 = 277$ К, $T_2 = 298$ К, $T_3 = 313$ К, определяли равновесные концентрации исследуемых веществ. Изотермы сорбции строили в координатах "динамическая вязкость η — равновесная концентрация $[C]$ ". Сорбцию, г/г, рассчитывали по уравнению

$$\Gamma = \frac{(C_{\text{исх}} - x)V}{1000m}, \quad (1)$$

где $C_{\text{исх}}$ — исходная концентрация сорбата, г/дм³; V — объем исследуемого раствора, см³; x — остаточная (равновесная) концентрация сорбата, г/дм³; m — масса сорбента, г.

В качестве примера на рис. 2 приведены изотермы сорбции флокулянта КП-540.

Изотермы сорбции (см. рис. 2) были перерасчитаны в изотермы уравнения Ленгмюра, а с их использованием были рассчитаны константы сорбции K и величина предельной сорбции Γ_{∞} при температурах 277, 298 и 313 К:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{KC}{1 + KC}, \quad (2)$$

где Γ_{∞} — предельная мономолекулярная адсорбция (емкость монослоя); C — равновесная концентрация; K — константа адсорбционного равновесия, характеризующая энергию сорбции.

Константы сорбции K и емкость сорбента Γ_{∞} рассчитывались графическим путем с использованием уравнения Ленгмюра в линейной форме:

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\infty}} + \frac{1}{\Gamma_{\infty}K} \frac{1}{C}. \quad (3)$$

Графическая зависимость $1/\Gamma = f(1/C)$ выражается прямой, пересекающей ось ординат. Отрезок, отсекаемый от оси ординат, определяет величину, обратную емкости монослоя ($1/\Gamma_{\infty}$). Тангенс угла

Основные характеристики сорбции флокулянтов на СВ-1-А
(число опытов $n = 6$, степень надежности $P = 0,95$, критерий Стьюдента $t_p = 2,57$)

Определяемая характеристика	Температура, К	Флокулянт						
		Н-150	КП-1020	КП-540	Z-92	A-155	A-930	A-1510
Константы сорбции $K \cdot 10^{-2}$	277	$1,62 \pm 0,16$	$0,05 \pm 0,005$	$0,32 \pm 0,03$	$1,80 \pm 0,18$	$0,17 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,03$
	298	$0,81 \pm 0,08$	$0,10 \pm 0,01$	$0,40 \pm 0,04$	$2,75 \pm 0,25$	$0,57 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,04$	$0,47 \pm 0,04$
	313	$0,90 \pm 0,09$	$0,55 \pm 0,05$	$1,20 \pm 0,12$	$3,00 \pm 0,30$	$0,23 \pm 0,02$	$0,33 \pm 0,03$	$0,36 \pm 0,03$
$-\Delta G$, кДж/моль	277	$26,98 \pm 2,60$	$8,53 \pm 0,80$	$30,19 \pm 3,00$	$44,20 \pm 4,00$	$11,78 \pm 1,10$	$15,89 \pm 1,50$	$20,75 \pm 2,00$
	298	$25,05 \pm 2,50$	$13,18 \pm 1,30$	$34,18 \pm 3,40$	$45,60 \pm 4,50$	$23,05 \pm 2,30$	$21,05 \pm 2,00$	$21,97 \pm 2,00$
	313	$26,94 \pm 2,60$	$24,01 \pm 2,40$	$52,28 \pm 5,20$	$47,45 \pm 4,50$	$14,60 \pm 1,40$	$20,96 \pm 2,00$	$21,57 \pm 2,00$
$-\Delta H$, кДж/моль		$3,82 \pm 0,30$	$8,31 \pm 0,80$	$1,08 \pm 0,10$	$1,15 \pm 0,11$	$3,73 \pm 0,30$	$5,17 \pm 0,50$	$4,24 \pm 0,40$
ΔS , Дж · моль/К	277	$75,44 \pm 7,50$	$0,80 \pm 0,08$	$10,51 \pm 1,00$	$14,73 \pm 1,40$	$29,06 \pm 2,90$	$36,78 \pm 3,60$	$55,09 \pm 5,50$
	298	$71,23 \pm 7,10$	$16,33 \pm 1,60$	$11,11 \pm 1,10$	$14,91 \pm 1,40$	$64,83 \pm 6,40$	$53,29 \pm 5,30$	$59,48 \pm 5,90$
	313	$73,41 \pm 7,00$	$50,16 \pm 5,00$	$16,36 \pm 1,60$	$15,53 \pm 1,50$	$34,73 \pm 3,40$	$50,45 \pm 5,00$	$55,36 \pm 5,50$
Емкость сорбента Γ_{∞} , мг/г	277	$16,60 \pm 1,60$	$20,00 \pm 2,00$	$10,00 \pm 1,00$	$50,00 \pm 5,00$	$10,00 \pm 1,00$	$5,00 \pm 0,50$	$33,33 \pm 3,30$
	298	$10,00 \pm 1,00$	$50,00 \pm 5,00$	$11,10 \pm 1,10$	$83,30 \pm 8,00$	$20,00 \pm 2,00$	$50,00 \pm 5,00$	$50,00 \pm 5,00$
	313	$11,10 \pm 1,10$	$50,00 \pm 5,00$	$14,30 \pm 1,40$	$90,90 \pm 9,00$	$16,60 \pm 1,60$	$50,00 \pm 5,00$	$45,50 \pm 4,50$

наклона прямой позволяет найти константу адсорбционного равновесия K :

$$K = 1/\Gamma_{\infty} \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

Так как изучение сорбции проводится при температурах T_1, T_2, T_3 , то были рассчитаны константы сорбции K_1, K_2, K_3 , а по ним изменение энтальпии ΔH и изобарно-изотермического потенциала сорбции ΔG , а с их использованием были рассчитаны значения изменения энтропии ΔS :

$$\Delta H = \frac{RT_i T_k \ln \frac{K_i}{K_k}}{T_i - T_k}; \quad (5)$$

$$\Delta G_i = -RT_i \ln K_i; \quad (6)$$

$$\Delta S_i = \frac{\Delta H - \Delta G_i}{T_i}. \quad (7)$$

Результаты опытов и расчетов приведены в табл. 1.

Кинетика сорбции флокулянтов на сорбенте СВ-1-А. В широкогорлой колбе приготавливали 250 см³ раствора вещества. Для этого 25 см³ 1,0 %-ного исходного раствора флокулянта разбавляли водой до объема 250 см³. Полученный раствор исследовали при температурах 298, 277 и 313 К. Для этого в растворы вносили 20 г мелкоизмельченного сорбента, быстро перемешивали, одновременно включали секундомер. Через определенные промежутки времени отбирали пробы мутного раствора, отфильтровывали через стеклянный фильтр или центрифугировали их. Отбор проб проводили через 0, 10, 30, 60, 90, 120, 300, 600, 900 и 1200 с. Из осветленных фракций каждой пробы отбирали по 5 см³ раствора и измеряли время истечения жид-

кости. По результатам измерений были построены изотермы кинетики сорбции в координатах "динамическая вязкость (η)—время (τ)".

Сорбция проходит быстро и заканчивается за 120 с, при этом десорбция сорбента не наблюдается. Для расчета констант скоростей были использованы участки изотерм кинетики сорбции в пределах от 0 до 120 с.

По величинам вязкости были построены изотермы кинетики сорбции в координатах "динамическая вязкость (η)—время (τ)". На рис. 3 в качестве примера приведены изотермы кинетики сорбции флокулянта КП-540.

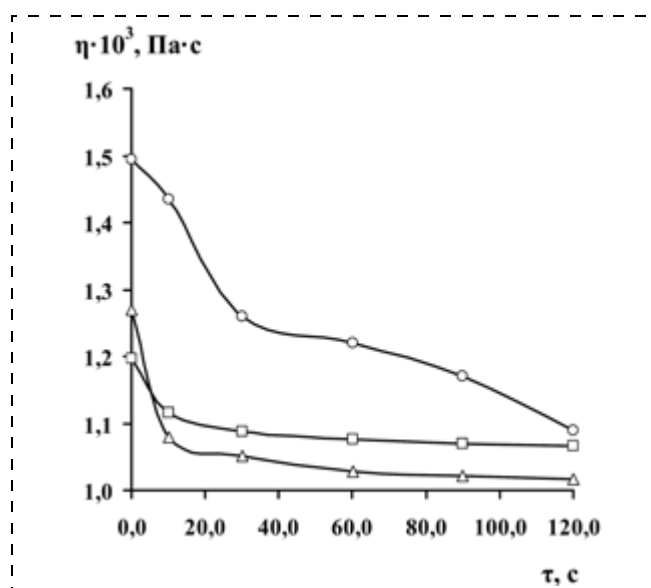


Рис. 3. Изотермы кинетики сорбции флокулянта КП-540 сорбентом СВ-1-А:

$-\Delta-$ — 277 К; $-\square-$ — 298 К; $-\circ-$ — 313 К



Таблица 2

Термодинамические характеристики кинетики сорбции флокулянтов на СВ-1-А ($n = 6, P = 0,95, t_p = 2,57$)

Определяемая характеристика	Температура, К	Флокулянт						
		Н-150	КП-1020	КП-540	Z-92	A-155	A-930	A-1510
Константы скоростей $K \cdot 10^{-2}, c^{-1}$	277	2,21 ± 0,20	1,07 ± 0,11	1,71 ± 0,17	1,16 ± 0,16	1,37 ± 0,13	1,15 ± 0,11	1,23 ± 0,12
	298	1,99 ± 0,19	2,48 ± 0,20	1,76 ± 0,17	1,64 ± 0,16	1,84 ± 0,18	7,35 ± 0,73	2,86 ± 0,28
	313	1,96 ± 0,19	2,84 ± 0,20	1,79 ± 0,17	1,89 ± 0,18	1,78 ± 0,17	6,42 ± 0,64	1,33 ± 0,13
$E_{акт}, кДж/моль$		3,80 ± 0,30	8,30 ± 0,80	1,10 ± 0,10	1,15 ± 0,11	3,75 ± 0,30	5,20 ± 0,50	4,24 ± 0,40
$-\Delta S^{\#}, Дж/моль \cdot К$	277	2,55 ± 0,25	2,49 ± 0,25	2,42 ± 0,20	2,19 ± 0,20	2,45 ± 0,24	2,58 ± 0,26	2,45 ± 0,24
	298	2,54 ± 0,25	2,50 ± 0,25	2,43 ± 0,24	2,20 ± 0,20	2,47 ± 0,24	2,61 ± 0,26	2,47 ± 0,24
	313	2,53 ± 0,25	2,51 ± 0,25	2,44 ± 0,24	2,93 ± 0,29	2,46 ± 0,24	2,59 ± 0,26	2,46 ± 0,25

По полученным данным были рассчитаны константы K кинетики сорбции, $\Delta S^{\#}$ и $E_{акт}$ флокулянтов на сорбенте СВ-1-А при температурах 277, 298 и 313 К:

$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\eta_0}{\eta_i}, \quad (8)$$

где η_0 — исходная динамическая вязкость, Па · с; η_i — вязкость в момент времени τ , Па · с; τ — время, с.

По графикам Аррениуса в координатах " $\ln K - 1/T$ " рассчитаны величины энергии активации сорбции

Таблица 3

Эффективность очистки воды от флокулянтов сорбентом СВ-1-А ($n = 6, P = 0,95, t_p = 2,57$) при температуре 298 К

Флокулянт	Исходная концентрация · 10 ³ , г/дм ³	Концентрация после сорбции · 10 ³ , г/дм ³	Эффективность очистки, %
КП-1020	0	0	0
	1	0,30	70,00
	2	0,55	72,50
	3	0,85	71,67
	4	1,16	71,00
	5	1,50	70,00
	6	1,84	69,33
	7	2,17	69,00
	8	2,43	69,63
КП-540	0	0	0
	1	0,02	98,00
	2	0,05	97,50
	3	0,08	97,33
	4	0,15	96,25
	5	0,20	96,00
	6	0,23	96,17
	7	0,32	95,43
	8	0,40	95,00
Z-92	0	0	0
	1	0	100,00
	2	0	100,00
	3	0,03	99,00
	4	0,07	98,25
	5	0,10	98,00
	6	0,20	96,67
	7	0,25	96,43
	8	0,60	92,50
9	0,75	91,67	

$E_{акт}$, а с использованием уравнения Эйринга рассчитана величина $\Delta S^{\#}$:

$$\ln PZ_0 = 10,36 + \ln T + \frac{\Delta S^{\#}}{R}, \quad (9)$$

где PZ_0 — предэкспоненциальный фактор в уравнении Аррениуса; $\Delta S^{\#}$ — изменение энтропии формирования активированного комплекса; R — газовая постоянная; T — температура.

Результаты расчетов констант K скоростей сорбции, $E_{акт}$ и $\Delta S^{\#}$ на сорбенте СВ-1-А различных флокулянтов приведены в табл. 2.

Результаты очистки воды от флокулянтов с использованием сорбента СВ-1-А. Были поставлены опыты по изучению очистки воды от различных флокулянтов. Загрязнители вносили в исходную воду в количествах, указанных в табл. 3. В ходе исследований были рассчитаны значения эффективности очистки:

$$\vartheta = \frac{C_0 - C}{C_0} 100 \%, \quad (10)$$

где C_0 — исходная концентрация, г/дм³; C — остаточная концентрация, г/дм³.

В табл. 3 в качестве примера приведены результаты очистки воды от следующих флокулянтов КП-1020, КП-540, Z-92 при температуре 298 К (25 °С).

Результаты опытов и расчетов дают основание считать, что сорбент СВ-1-А можно использовать для удаления из воды различных флокулянтов.

Список литературы

1. Баран Л. А. Полимерсодержащие дисперсные системы. — Киев: Наук. думка, 1986. — 203 с.
2. Бектуров Е. А., Бакаутова З. Х. Синтетические, водорастворимые полимеры в растворах. — Алма-Ата: Наука, 1981.
3. Вейцер Ю. И., Миц Д. М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. — М.: Стройиздат, 1984. — 200 с.
4. Запольский А. К., Баран А. А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. — Л.: Химия, 1987. — 224 с.
5. Липатов Ю. С. Коллоидная химия полимеров. — Киев: Наук. думка, 1984. — 343 с.
6. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. — М.: Химия, 1982. — 400 с.

УДК 62-192:656.089.2.004.14

Е. А. Тимме, Л. В. Шмакова,

ФГУ "Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Минобороны России"

E-mail: Gniii124@yandex.ru

Оценка функциональной надежности спасателей при проведении работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций в условиях высокогорья

Рассмотрена задача оценки функциональной надежности спасателей при проведении работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций в условиях высокогорья. Для решения этой задачи предлагается методика, реализующая процедуру последовательного применения дискриминантного анализа и метода анализа иерархий.

Ключевые слова: функциональная надежность, спасатель, высокогорье, чрезвычайная ситуация, дискриминантная функция, нейронные сети, анализ иерархий.

Timme E. A., Shmakova L. V. Evaluation of life-savers functional reliability during the works on liquidation of emergency situations in highlands

It was considered the problem of evaluation of life-savers functional reliability during the liquidation of emergency situations in highlands. It is proposed the methods successive employing of discriminative function and method of hierarchical analysis for decision of this problem.

Keywords: functional reliability, life-saver, highland, emergency situation, discrimination function, neural nets, hierarchical analysis.

Опыт проведения спасательных операций в горах свидетельствует о том, что по мере усложнения профессиональных задач, все большее значение приобретает уровень подготовки личного состава. Основные усилия в подготовке спасателей следует направить на отработку навыков передвижения по всем видам горного рельефа с применением альпинистской техники и снаряжения и спускам в любое время года. Целесообразно практические занятия по горной, горно-десантной и воздушно-десантной подготовке планировать и проводить 1 раз в полгода в период учебных сборов [1].

При решении задач по поиску и спасанию терпящих или потерпевших бедствие в условиях высоко-

горья, организм спасателей подвергается жестким условиям воздействия факторов горной среды: пониженному парциальному давлению кислорода во вдыхаемом воздухе, сниженному барометрическому давлению, резкому перепаду температуры, тяжелой физической нагрузке, значительному психоэмоциональному напряжению. Все это резко увеличивает нагрузку на функциональные системы организма спасателей, лимитирующих работоспособность, что приводит к снижению функциональной надежности, повышает вероятность совершения ошибочных действий, возникновения аварийных ситуаций и травматизму, повышает риск невыполнения профессиональной задачи [2].

Среди факторов, обуславливающих профессиональную готовность спасателей для действий в условиях высокогорья, на первом месте находятся факторы, связанные со снижением уровня их функциональной надежности [3].

Функциональная надежность (ФН) — это интегральная характеристика, отражающая функциональную устойчивость систем организма по обеспечению профессиональной работоспособности, эффективности и надежности деятельности в любых, в том числе экстремальных, условиях деятельности [4]. Под **функциональной устойчивостью** понимается устойчивость функций систем организма специалиста в условиях профессиональной деятельности, степень адекватности реагирования определенных функций на условия и содержание рабочего процесса [5].

Важным научно-практическим направлением развития методического обеспечения оценки ФН спасателей в высокогорье является разработка математического обеспечения распознавания классов функциональной надежности личного состава, и его реализация на базе современных информационных технологий. При этом методическое обеспечение определяется как комплекс методик обследования лиц, проходящих горную подготовку, и математическое обеспечение, включающее в соответствии с



ГОСТ 34.003—90 совокупность применяемых математических методов, моделей и алгоритмов.

Функциональная надежность в данном исследовании характеризовалась тремя компонентами: *центральной гемодинамикой, вариабельностью сердечного ритма (ВСР), психофизиологическими характеристиками.*

Каждый из компонентов ФН принимает значения порядковой шкалы: 1, 2, 3, 4, что соответствует оценкам: "высокая", "средняя", "низкая", "крайне низкая". Положение индивидуума на оценочной шкале определяется высококвалифицированными экспертами.

По совокупности результатов обследования был сформирован массив показателей, описывающих функциональную надежность спасателей в различные периоды адаптации к высокогорью. Исследования проводились в утренние часы до выхода на учебное занятие в высокогорную зону и в вечерние часы после занятий. Перечень регистрируемых показателей и объем исследований приведен в табл. 1.

Весь массив полученных данных случайным образом был распределен на обучающую и контрольную выборки.

Результаты обследования, вошедшие в обучающую выборку, были предъявлены квалифицированным экспертам. Эксперты установили принадлежность спасателей к 4-му классу ФН по каждому из трех компонентов, по которым она оценивается.

Таблица 1

Перечень регистрируемых показателей и объем исследований для определения функциональной надежности спасателей

Исследования	Количество исследований	Количество обследованных
Показатели центральной гемодинамики: разности значений частоты сердечных сокращений ($\Delta ЧСС$), среднего артериального давления ($\Delta АД_{ср}$), диастолического давления ($\Delta АД_{д}$), ударного объема крови ($\Delta УО$) после и до занятий в горах	384	64
Показатели вариабельности сердечного ритма: высокочастотный (HF), средне-частотный (LF) и низкочастотный (VLF) компоненты спектральной мощности ВСР и разности их значений после и до занятий в горах (ΔHF , ΔLF , ΔVLF), а также разности средних значений $ЧСС$ (ΔM), вариационного размаха ($\Delta MxDMn$) и амплитуда моды (ΔAmo)	384	64
Психофизиологические показатели: $\Delta KФР$ — разность значений показателя качества функции равновесия до и после нагрузки, $\Delta PДО$ — разность значений среднего времени реакции на движущийся объект после и до нагрузки, $\Delta KЧСМ$ — разность значений критической частоты слияний мельканий после и до занятий в горах	384	64

Значения коэффициентов компетентности экспертов находились в границах 0,75...0,90 относительных единиц, что позволяет считать сформированную группу экспертов для оценки каждого компонента ФН представительной.

В формальном математическом смысле задача оценки функциональной надежности спасателя может быть сведена к задаче *распознавания образов* [6]. В общем случае решение этой задачи заключается в разработке на основе исходных данных (набора описаний образов с указанием некоторой идентифицирующей характеристики) процедуры, позволяющей идентифицировать образ по его описанию с минимальным риском неправильной идентификации и при необходимости сравнить различные образы по некоторому критерию.

Многие задачи распознавания образов решаются с использованием дискриминантного анализа. Однако его применение в классическом варианте (включение в состав описания обучающей выборки всех показателей, входящих во все компоненты ФН, с последующим их сокращением методами "включения" или "исключения") для распознавания принадлежности спасателей к классам ФН не всегда приемлемо. Это связано с тем, что компоненты ФН имеют различный вес при отнесении обследуемого контингента к тому или иному классу ФН. Может оказаться, что дискриминантные функции (ДФ) безошибочно позволяют распознавать принадлежность к классам ФН за счет существенного отличия значений показателей компонента, имеющего меньший вес для диагностики. На самом деле, этот результат свидетельствует только о том, что происходит правильное распознавание принадлежности обследуемых к классам ФН всего лишь относительно одного компонента (может быть не самого информативного), а вывод об их принадлежности к этому классу по совокупности всех компонентов может являться ошибочным.

Более логичным является дифференцированный подход, при котором вычисляются дискриминантные функции D_{ij} , определяющие принадлежность обследуемого к i -му классу ($i = 1, \dots, 4$) ФН отдельно по каждому j -му ($j = 1, \dots, 3$) его компоненту. Общее количество ДФ применительно к рассматриваемому случаю равно 12. Все они объединены в три группы (по количеству компонентов ФН) по четыре ДФ (по количеству классов ФН) в каждой группе.

Формула ДФ для i -го класса ФН по j -му ее компоненту имеет вид [7]:

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^{n_j} a_{ijk} x_{jk} + a_{0ij},$$

где a_{ijk} — коэффициенты ДФ при k -м показателе j -го компонента i -го класса ФН; x_{jk} — значение k -го

показателя вектора наблюдения j -го компонента; n_j — количество показателей, используемых для описания j -го компонента ФН; a_{0ij} — постоянный коэффициент в уравнениях ДФ j -го компонента i -го класса ФН.

Коэффициенты дискриминантных функций находятся из выражений:

$$a_{ij} = S_j^{-1} \bar{x}_{ij};$$

$$a_{0ij} = -0,5 \bar{x}_{ij}^t S_j^{-1} \bar{x}_{ij},$$

где a_{ij} — вектор-столбец коэффициентов ДФ для j -го компонента i -го класса ФН; a_{0ij} — вектор-столбец постоянных коэффициентов ДФ для j -го компонента i -го класса ФН; S_j^{-1} — обратная матрица ковариаций показателей j -го компонента ФН; \bar{x}_{ij} — вектор-столбец средних значений показателей j -го компонента в i -ом классе ФН; \bar{x}_{ij}^t — вектор-строка.

Вектор наблюдения x_j относится в рамках каждого j -го компонента ФН к классу G_{ij} , если значение D_{ij} , вычисленное по показателям j -го компонента, является максимальным среди всех классов $i = 1, \dots, 4$

$$G_{ij} = \arg \max_{i=1, \dots, 4} (D_{ij}(x_j)).$$

Поскольку принадлежность к определенному классу ФН осуществляется по нескольким ее компонентам, то, как было отмечено выше, может возникнуть ситуация, когда вектор наблюдения x_j обследуемого спасателя по разным компонентам j могут относить к неодинаковым классам ФН. Это обстоятельство обуславливает необходимость синтеза критериальных функций вида [8]:

$$B_i = \sum_{j=1}^3 w_j p(G_{ij}|x_j), \quad i = 1, \dots, 4, \quad (1)$$

где B_i — глобальный вес каждой из альтернатив выбора; $p(G_{ij}|x_j)$ — апостериорная вероятность отнесения спасателя к i -му классу ФН по результатам его обследования методиками, входящими в состав его j -го компонента; w_j — весовой коэффициент j -го компонента ФН.

Величины B_i являются интегральными показателями, по которым может оцениваться принадлежность спасателей к классам ФН.

Выбор альтернативы производится по максимальному значению полученных глобальных весов:

$$\{F_i\} = \arg \max_{i=1, \dots, 4} (B_i).$$

Апостериорные вероятности $p(G_{ij}|x_j)$ вычисляются по значениям дискриминантных функций [7]:

$$p(G_{ij}|x_j) = \exp D_{ij} / \sum_{i=1}^4 \exp D_{ij}, \quad j = 1, \dots, 3,$$

$$\sum_{i=1}^4 p(G_{ij}|x_j) = 1.$$

Система линейных дискриминантных функций для методики ВСП при использовании показателей, измеряемых до нагрузки и после нагрузки (обозначения см. в табл. 1), имеет вид:

$$D_1 = -182,05 + 14,90 \times \Delta MxDMn + 8,58 \times \Delta M + 363,04 \times HF + 364,98 \times VLF + 364,62 \times LF + 2,92 \times \Delta AMo + 263,04 \times \Delta HF + 254,98 \times \Delta VLF + 254,62 \times \Delta LF;$$

$$D_2 = -184,58 + 15,49 \times \Delta MxDMn + 8,77 \times \Delta M + 364,34 \times HF + 366,12 \times VLF + 36,88 \times LF + 3,85 \times \Delta AMo + 264,34 \times \Delta HF + 256,12 \times \Delta VLF + 255,80 \times \Delta LF;$$

$$D_3 = -185,22 + 14,28 \times \Delta MxDMn + 9,18 \times \Delta M + 364,95 \times HF + 366,72 \times VLF + 366,52 \times LF + 4,70 \times \Delta AMo + 264,95 \times \Delta HF + 256,72 \times \Delta VLF + 256,52 \times \Delta LF;$$

$$D_4 = -184,01 + 15,51 \times \Delta MxDMn + 8,87 \times \Delta M + 364,14 \times HF + 366,12 \times VLF + 36,179 \times LF + 3,54 \times \Delta AMo + 264,14 \times \Delta HF + 256,12 \times \Delta VLF + 251,79 \times \Delta LF.$$

Правильные решения составляют не менее 85,7%. Проверка гипотезы о равенстве векторов средних значений показателей ВСП в различных классах с использованием F -аппроксимации U -статистики позволила установить достоверные различия этих векторов. F -критерий достигает значения, равного 68,1, а уровень значимости p при объеме выборки $n = 320$ и числе признаков $k = 8$; $n-k = 312$, степенях свободы меньше 0,001, т. е. $F_{(8; 312)} = 68,1$; $p < 0,001$.

Система линейных дискриминантных функций для методики исследования гемодинамики при использовании разности показателей "после нагрузки — до нагрузки" имеет вид:

$$D_1 = -12,55 + 1,10 \times \Delta ЧСС - 1,55 \times \Delta АД_{СР} - 2,14 \times \Delta ДАД + 3,04 \times \Delta УО;$$

$$D_2 = -12,49 + 1,23 \times \Delta ЧСС - 1,58 \times \Delta АД_{СР} - 2,16 \times \Delta ДАД + 2,58 \times \Delta УО;$$

$$D_3 = -12,11 + 13,40 \times \Delta ЧСС - 1,68 \times \Delta АД_{СР} - 2,64 \times \Delta ДАД + 2,14 \times \Delta УО;$$

$$D_4 = -12,08 + 13,84 \times \Delta ЧСС - 1,97 \times \Delta АД_{СР} - 2,90 \times \Delta ДАД + 2,51 \times \Delta УО.$$



Правильные решения составляют не менее 83,0 % при значении критерия Фишера $F_{(4; 316)} = 63,5$ и уровне значимости $p < 0,001$.

Система линейных дискриминантных функций для психофизиологических методик описывается следующими уравнениями:

$$D_1 = -62,56 + 44,56 \times \Delta KЧСМ - 13,23 \times \Delta РДО + 88,12 \times \Delta КФР;$$

$$D_2 = -78,87 + 76,56 \times \Delta KЧСМ - 24,98 \times \Delta РДО + 76,44 \times \Delta КФР;$$

$$D_3 = -53,53 + 55,43 \times \Delta KЧСМ - 44,77 \times \Delta РДО + 53,15 \times \Delta КФР;$$

$$D_4 = -42,44 + 67,66 \times \Delta KЧСМ - 56,76 \times \Delta РДО + 84,86 \times \Delta КФР.$$

Правильные решения составляют не менее 86,8 %. $F_{(3; 317)} = 33,8$; $p < 0,001$.

Коэффициенты w_j , входящие в формулу (1) для нахождения B_i , целесообразно определять с использованием метода анализа иерархий [9] на основании анализа матрицы парных сравнений альтернатив [Е], отражающей важность компонентов ФН для диагностики принадлежности спасателей к ее классам.

Система парных сравнений представляется в виде обратно симметричной матрицы. Элементом матрицы a_{ij} является интенсивность проявления элемента иерархии i относительно элемента иерархии j , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9.

Вектор приоритетов методик w соответствует главному собственному значению λ_{\max} матрицы парных сравнений [Е], которое используется для оценки численной (кардинальной) и транзитивной (порядковой) согласованности. Отклонение от согласованности может быть выражено величиной индекса согласованности:

$$ИС = (\lambda_{\max} - m)/(m - 1),$$

где m — размерность матрицы парных сравнений.

Если разделить $ИС$ на число, соответствующее случайной согласованности ($СС$), получаем отношение согласованности ($ОС$):

$$ОС = ИС/СС.$$

Для матрицы размера $m = 3$ $СС = 0,58$ [9].

Собственный вектор матрицы парных сравнений обеспечивает упорядочение приоритетов, а собственное значение является мерой согласованности суждений.

На основании результатов экспертного оценивания была сформирована матрица парных сравнений значимости методик, используемых для определения функциональной надежности спасателей (табл. 2).

Таблица 2

Матрица парных сравнений значимости методик

№ пп	Методика	ВСП	ГД	ПФ	w_j
1	Вариабельность сердечного ритма (ВСП)	1	3	7	0,6491
2	Гемодинамика (ГД)	1/3	1	5	0,2789
3	Психофизиологические методы (ПФ)	1/7	1/5	1	0,0719

По этой матрице были рассчитаны главное собственное значение (λ_{\max}), компоненты вектора приоритетов $w = (0,6491; 0,2789; 0,0719)$, индекс согласованности и отношение согласованности:

$$\lambda_{\max} = 3,0648; ИС = 0,0324; ОС = 0,0559.$$

Таким образом, в результате использования метода анализа иерархий было синтезировано решающее правило, позволяющее оценить вклад каждой методики в определение класса функциональной надежности:

$$F_i = \arg \max_{i=1, \dots, 4} (0,6491p_{i1} + 0,2789p_{i2} + 0,0719p_{i3}), (2)$$

где p_{i1}, p_{i2}, p_{i3} — апостериорные вероятности отнесения объекта к i -му классу функциональной надежности, полученные по результатам применения дискриминантного анализа к данным обследования спасателей методиками ВСП, ГД, ПФ соответственно.

Результаты классификации функциональной надежности спасателей с использованием решающего правила (2) по результатам их тестирования во время прохождения учебных сборов в высокогорье представлены в табл. 3.

Количество ошибочных решений 1-го рода — 2 (3,1 %); количество ошибочных решений 2-го рода — 2 (3,1 %); Точность оценки — 93,8 %.

Поиск решающего правила для определения принадлежности обследуемых лиц к классам функциональной надежности производился также в нейросетевом базисе. Исходя из того, что решаемая в данном исследовании задача относится к классу задач распознавания с использованием обу-

Таблица 3

Результаты оценки класса функциональной надежности

Функциональная надежность	Фактический класс				Итого	Точность оценки, %
	1	2	3	4		
По результатам распознавания	1	23	1		24	95,80
	2	1	29	1	31	93,50
	3		1	4	5	80,00
	4				4	100,00
Итого	24	31	5	4	64	93,80

чения "с учителем", применялись следующие искусственные нейронные сети (ИНС): многослойные персептроны (МП), сети на радиальных базисных функциях (РБФ), вероятностные нейронные сети (ВНС). Для понижения размерности входов нейронной сети и выбора подходящей комбинации входных переменных использовался генетический алгоритм. Целевая функция была представлена в виде вероятностной нейронной сети [10].

С помощью программного эмулятора были синтезированы различные типы нейросетевых топологий и проведена структурная и параметрическая адаптация решающего правила применительно к цели исследования. Полигоном структурной адаптации для многослойных персептронов являлась сеть с количеством слоев не более 3 и количеством нейронов в слое не более 64. Полигоном параметрической адаптации для них являлась совокупность параметров скорости η и момента μ обучения в алгоритме обратного распространения ошибки, которые задавались в диапазонах $[0,001...0,1]$ с шагом 0,001 и $[0,3...0,9]$ с шагом 0,1. Начальный разброс весов $\delta = 0,3$.

В процессе поиска ИНС, имеющей наименьшую ошибку на контрольном наборе примеров, была найдена структура искусственной нейронной сети, которая способна эффективно решать задачу распознавания класса функциональной надежности. По результатам обучения и тестирования различных типов искусственных нейронных сетей (ИНС) с различными параметрами было определено, что для решения поставленной задачи следует использовать искусственную нейронную сеть — многослойный персептрон, со следующими характеристиками: активационная функция нейрона — сигмоидальная, количество входов — 24, внутренних слоев — 2, каждый из которых содержит по 16 нейронов, количество выходов — 4.

В табл. 4 приведены параметры ИНС, характеризующие качество обучения и распознавания примеров.

В этой таблице: ε — минимум функции суммарной квадратичной ошибки на контрольной выборке [10]; σ — изменяемый параметр сглаживания функции Гаусса [10]; R^2 — коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

где y_i, \tilde{y}_i — наблюдаемые и предсказанные значения выходов ИНС, $i = 1, \dots, n$; \bar{y} — среднее значение y_i .

Таблица 4

Результаты структурной и параметрической адаптации решающего правила нейронной сети

Тип сети	Кол-во входов	ε	R^2	η	μ	σ	Точность оценки
МП	24	0,01	0,951	0,09	0,56	—	89,1
МП	48	0,121	0,913	0,10	0,51	—	88,6
МП	116	0,358	0,837	0,25	0,40	—	86,4
РБФ	26	0,267	0,849	—	—	0,08	85,9
ВНС	24	0,286	0,896	—	—	0,06	85,8

Сравнение результатов распознавания классов ФН спасателей с использованием искусственных нейронных сетей и комбинации дискриминантного анализа с методом анализа иерархий показало, что эта комбинация сопоставима (и даже несколько превышает) ИНС по точности, позволяет построить интуитивно понятную классификационную модель. Результат работы алгоритма, реализующего методику последовательного использования дискриминантного анализа и метода анализа иерархий, в отличие, например, от нейронных сетей, представляющих собой "черные ящики", легко интерпретируется пользователем. Данная методика позволяет понять и объяснить, почему конкретный объект относится к тому или иному классу функциональной надежности.

Список литературы

1. Попов В. А. Данко — шанс на выживание // Авиапанорама. — 2009. — № 6. — С. 22—23.
2. Рыбников В. Ю. Психологическое прогнозирование надежности деятельности специалистов экстремального профиля. — СПб.: Изд. СПбЮУ МВД России, 2000. — 250 с.
3. Бубеев Ю. А. Исследование системных характеристик гемодинамики в валеологической практике // XVII съезд физиологов России. Тезисы докладов. — Ростов-на-Дону: Изд. РГУ, 1999. — С. 194.
4. Экология человека и профилактическая медицина: мега-тезаурус / Под ред. И. Б. Ушакова. — Воронеж: ИПФ, 2001. — 488 с.
5. Ушаков И. Б. Экология человека опасных профессий. — Воронеж, Воронежский государственный университет, 2000. — 128 с.
6. Ушаков И. Б., Богомолов А. В., Гридин Л. А., Кукушкин Ю. А. Методологические подходы к диагностике и оптимизации функционального состояния специалистов операторского профиля — М.: ОАО "Издательство "Медицина", 2004. — 136 с.
7. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. — М.: Мир, 1982. — 488 с.
8. Миронкина Ю. Н., Бобров А. Ф. Информационная технология статистического синтеза критериев и алгоритмов оценки функционального состояния человека в прикладных медико-биологических исследованиях // Информационные технологии. — 1998. — № 3. — С. 41—47.
9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.
10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. — 1104 с.



УДК 541.126.552.5

В. И. Водяник, д-р техн. наук, проф.,
Сочинский государственный университет туризма и курортного дела
E-mail: vodjaniksochi@rambler.ru

Взрывы бытового газа не должны приводить к разрушению зданий

В последнее время взрывы бытового газа в жилых домах стали происходить не только чаще, но и стали приводить к значительно более тяжким последствиям, чем раньше. Они часто приводят к разрушению целого подъезда многоэтажного многоквартирного дома. В статье проводится анализ причин этих явлений и даются практические рекомендации по снижению тяжести их последствий.

Ключевые слова: бытовой газ, горение, взрыв, взрывозащита, фронт пламени, нормальная скорость пламени.

Vodjanik V. I. Explosions of natural gas mustn't cause ruins of buildings

Household gas explosions have become more frequent and have far more dramatic consequences. Explosions often cause the partial or total house collapse. The article analyzes the reasons and gives recommendations, intended to lessen the consequences.

Keywords: household gas, burn, explosion, explosion protection, flame front, normal flame front.

Введение

С точки зрения физики под взрывом следует понимать широкий круг явлений, связанных с выделением большого количества энергии в ограниченном объеме за очень короткий промежуток времени. Кроме широко используемых в военном деле и в промышленности взрывов химических взрывчатых веществ и атомных зарядов, к взрывам в соответствии с приведенным определением относятся:

— мощные электрические разряды, когда в разрядном промежутке выделяется большое количество теплоты, под воздействием которой среда превращается в ионизированный газ с высоким давлением;

— взрыв металлических проволок при протекании через них мощного электрического тока, достаточного для быстрого превращения проводника в газ (пар);

— разрушение оболочки, удерживающей газ под высоким давлением;

— столкновение двух космических тел, движущихся навстречу друг другу со скоростью, измеряе-

мой десятками километров в секунду, когда в результате энергии столкновения оба тела полностью превращаются в газ с давлением в несколько миллионов атмосфер и т. д.

Общим признаком для всех этих разнообразных по своей физической природе явлений взрыва служит образование в локальной области зоны повышенного давления с последующим распространением по окружающей среде со сверхзвуковой скоростью взрывной волны, представляющей собой прямой скачок давления, плотности, температуры и скорости среды.

При воспламенении смеси бытового газа (метана) с воздухом по ней распространяется пламя, представляющее собой волну химической реакции с выделением большого количества теплоты. Однако этот процесс происходит недостаточно быстро для образования взрывной волны. Взрывная волна может образоваться в случае, когда пламя распространяется со сверхзвуковой скоростью, что характерно только для детонации. Поэтому процесс сгорания большинства газовых и пылегазовых горючих смесей (если не считать детонационных режимов сгорания) нельзя называть взрывом, хотя такое его название широко распространено не только в публицистической, но и в технической литературе. Это, по-видимому, связано с тем, что если такие смеси воспламеняются внутри оборудования или помещений, то в результате значительного повышения давления происходит разрушение последних, которое по своей природе и по всем своим внешним проявлениям носит характер взрыва. Поэтому, если не разделять процессы горения и собственно разрушения оболочек, а рассматривать все явление в целом, то такое название аварийной ситуации в некоторой мере можно считать оправданным.

Итак, называя горючие газовые и пылегазовые смеси "взрывоопасными", их горение "взрывом" и определяя некоторые показатели "взрывоопасности" веществ и материалов, следует помнить об известной условности этих терминов.

Наиболее опасным внешним проявлением воспламенения газообразных горючих систем в замкнутом объеме является весьма быстрое повышение давления; причем (если опять же не считать детона-

ции) максимальное давление взрыва может превышать начальное в 8—10, реже в 12 раз (для стехиометрической метановоздушной смеси эта величина составляет 8,2) и держится это превышение в течение нескольких секунд, в основном, в зависимости от объема помещения. Высокая температура продуктов сгорания (до 2000 К и выше), как правило, не представляет серьезной опасности ни для оборудования, ни для строительных конструкций зданий, но представляет серьезную и часто смертельную угрозу для людей, находящихся в данном помещении.

Со взрывами принято бороться двумя путями: мерами предупреждения взрывов и мерами взрывозащиты (защиты от последствий уже произошедшего взрыва).

Рассмотрим каждый из них.

Профилактика взрывов бытового газа

Предупредить взрыв — это значит, прежде всего, не допустить утечку газа. Если не брать во внимание случаев самоубийств и других умышленных действий, то взрывоопасные газозадушенные смеси образуются в результате неисправностей газового оборудования. А способы борьбы с неисправностями общеизвестны — необходимо проводить периодические профилактические работы, заключающиеся в проверке герметичности всех кранов газового оборудования и других соединений газопроводов. К сожалению, в последнее время в некоторых городах эта работа, которая ранее проводилась регулярно и строго обязательно, ослаблена или даже полностью прекращена. Участившиеся случаи взрывов бытового газа в стране доказывают это весьма убедительно.

Другим обязательным условием возникновения взрыва является источник зажигания. В бытовых условиях это может быть пламя зажженной спички или электрическая искра в выключателе или в розетке. Но все-таки основным условием взрыва является образование взрывоопасной газовой смеси, так как за источником ее зажигания "дело не станет" — он всегда найдется. Итак, профилактика взрывов природного газа в быту — это регулярное обязательное профилактическое обслуживание бытового газового оборудования.

Взрывозащита зданий

Среди известных способов взрывозащиты жилых зданий наиболее простой и рациональный способ — выбор рациональной конструкции и размеров кухонного крана — ведь именно в этом помещении происходят взрывы бытового газа. Окно на кухне может быть своего рода надежным пре-

дохранным клапаном для защиты здания от разрушения при взрыве. Этот вопрос заслуживает более подробного рассмотрения.

Как уже было сказано, с точки зрения физики то, что происходит при воспламенении газа на кухне от спички или от искры, это не взрыв, а быстрое сгорание метановоздушной смеси [1]. Это сгорание происходит весьма быстро по субъективному восприятию, но слишком медленно, чтобы называться взрывом. Заметим, что детонация метановоздушной смеси на кухне практически исключена. Переход дефлаграционного горения газа в детонацию возможен только в весьма протяженных (сильно вытянутых) объемах, например, в трубах, в горных выработках и др.

Быстрое горение газа в объеме помещения кухни приводит к быстрому повышению давления в нем. В этом и заключается его разрушительная сила. Например, если помещение размером $3 \times 3 \times 2,5$ м будет все заполнено стехиометрической (наиболее быстрогорящей) смесью природного газа с воздухом (~10 % метана по объему) и произойдет зажигание этой смеси, то давление в таком замкнутом объеме может достичь ~800 кПа, а усилие на междуэтажные перекрытия может достичь ~7 МН (~700 тс). Естественно, и перекрытия, и стены будут разрушены, вышележащие строительные конструкции будут приподняты, а затем тоже обрушены, т. е. будет полностью разрушена некоторая часть многоэтажного дома. А если на кухне будет окно с обычной деревянной рамой с крупными переплетами и стеклами толщиной 2 мм, которые разрушатся уже при давлении 5 кПа (обычно остекление таких окон разрушается даже при значительно меньшем давлении) и площадь открывшегося при этом проема будет не менее $1,5 \text{ м}^2$, то истечение продуктов сгорания через него будет полностью компенсировать увеличение объема продуктов сгорания, и давление на кухне выше этой величины (5 кПа) не поднимется. Следовательно, здание не получит никаких существенных разрушений.

Применение устройств сброса давления взрыва широко используется в промышленности при проектировании зданий для взрывоопасных производств и регламентируется СНиП 31-03—2001 "Производственные здания". Для того чтобы устройство сброса давления взрыва было эффективным, оно должно вскрываться при достаточно низком давлении и иметь настолько большую площадь проходного сечения, чтобы после его вскрытия дальнейший рост давления в защищаемом объеме был исключен. Давление срабатывания этих устройств определяется их конструкцией, а потребная площадь проходного сечения определяется расчетным или эксперименталь-



ным путем; для взрывоопасных производственных помещений особо взрывоопасных производств (так называемой категории "А") существуют нормативы: $0,05 \text{ м}^2$ на 1 м^3 объема помещения.

Роль "вышибных" проемов во взрывоопасных производственных помещениях тоже обычно выполняют оконные проемы как наиболее слабый конструктивный элемент здания, и только, если их проходного сечения оказывается недостаточно, прибегают к устройству легкосбрасываемой кровли или других легко вскрываемых устройств. При этом давление вскрытия проемов определяется в основном массой легкосбрасываемых конструкций покрытия и составляет не более $0,7 \text{ кПа}$ (70 кгс/м^2). Оконное стекло относится к легко вскрываемому элементу конструкции при его толщине 3, 4 и 5 мм и площади листа стекла соответственно не менее 0,8; 1 и $1,5 \text{ м}^2$. Армированное стекло к легко вскрываемым элементам конструкции не относится.

Что касается легкосбрасываемой кровли, то она может быть устроена только на верхних этажах и поэтому вряд ли ее можно рекомендовать для широкого применения в жилых домах, а окна — это, пожалуй, главное средство взрывозащиты, причем вполне пригодное для надежной взрывозащиты кухонь. Главное, чтобы окно разрушалось при минимальном давлении, и чтобы вскрывшееся в результате этого отверстие было достаточно большим. Приведенные выше соотношения ($0,05 \text{ м}^2$ на 1 м^3) рекомендуются СНиП для взрывоопасных производственных зданий. Для бытовых помещений жилых зданий приведенные СНиП не могут быть применены не только по чисто формальным основаниям (СНиП не распространяется на жилые здания), но и по другим, принципиальным соображениям. Эти рекомендации для жилых зданий будут неоправданно завышены, так как в производственных помещениях категории "А" могут содержаться газы и пары, более взрывоопасные, чем метан. Современные знания о процессах горения в замкнутых и полужамкнутых объемах достаточны для того, чтобы все эти параметры (требуемые прочность окна и его площадь) рассчитать довольно точно [2]. Причем в расчетах могут быть учтены не только собственно объем, но и форма помещения кухни. Хотя, конечно, для принятия столь ответственных технических решений результаты расчетов должны быть подтверждены экспериментально, особенно, если такие решения предполагается рекомендовать для очень широкого применения.

В качестве основных исходных данных для расчета требуемой площади сбросного отверстия следует учитывать нормальную скорость распространения пламени u и максимально возможную величину площади его поверхности F .

Нормальная скорость распространения пламени является физико-химической константой горючей смеси и определяет скорость перемещения фронта пламени в направлении, нормальном (перпендикулярном) к его поверхности. Таким образом, площадь поверхности фронта пламени и его нормальная скорость распространения полностью определяют динамику процесса горения газа. Для наиболее быстрогорящей метановоздушной смеси можно принять $u = 0,34 \text{ м/с}$.

Другой, тоже весьма важный параметр горючей смеси — степень расширения продуктов сгорания газа ε . Она определяется в основном температурой продуктов сгорания, т. е. по существу теплотворной способностью горючего газа и в некоторой степени изменением числа молей при реакции горения. При горении метана количество молей не изменяется и для него можно принять $\varepsilon = 8,2$.

При расчете площади проходного сечения устройств сброса давления взрывов необходимо и достаточно выполнить условие, чтобы повышение давления в помещении вследствие горения газа полностью компенсировалось его снижением вследствие истечения газов через вскрывшееся сбросное отверстие. Для этого необходимо в единицу времени удалять из помещения массу газов, определяемую по формуле

$$G = F_{\max} u \rho_{\max} (\varepsilon - 1), \quad (1)$$

где F_{\max} — максимальное значение площади поверхности фронта пламени; ρ_{\max} — максимальная плотность истекающего газа.

Уравнение (1) выражает условие, что избыточный объем образующихся в единицу времени продуктов сгорания должен равняться соответствующему объему истекающих газов.

Но продукты сгорания и истекающие газы могут иметь различную плотность (различную температуру). В зависимости от места расположения точки поджога относительно окна через сбросное отверстие могут истекать и горячие продукты сгорания, и холодная несгоревшая горючая смесь, или даже просто холодный воздух, а также одновременно и продукты сгорания, и холодный газ. Однако и расчеты, и эксперименты [2] показывают, что наиболее неблагоприятным случаем является истечение холодных газов, поэтому в расчетах

следует принимать именно максимальную плотность холодного воздуха, что и должно быть заложено в уравнение (1).

Максимальную плотность истекающих газов можно определить по закону адиабаты:

$$\rho_{\max} = \rho_0 \left(\frac{P_{\max}}{P_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}},$$

где ρ_{\max} — максимально допустимое значение абсолютного давления в защищаемом помещении; ρ_0 — начальная плотность холодного воздуха; $P_0 = 0,1$ МПа — начальное абсолютное давление в защищаемом помещении; $\gamma = 1,41$ — показатель адиабаты для воздуха.

Величина P_{\max} в данном случае является одним из основных расчетных параметров. Она по существу определяется прочностью элементов каркаса здания. Но поскольку такой расчет на прочность зданий обычно не производится, то величину давления P_{\max} следует принимать лишь несколько выше атмосферного, например, равной 0,103...0,105 МПа (соответственно 3...5 кПа избыточных), а возможно еще меньше для увеличения надежности взрывозащиты.

Из гидродинамики известно, что массовый расход газа G через отверстие при докритическом режиме его истечения, когда

$$\frac{P_0}{P_{\max}} > \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}},$$

определяется формулой

$$G = \alpha S P_{\max} \sqrt{\frac{2M}{RT} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{P_0}{P_{\max}} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{P_{\max}} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma}} \right]}, \quad (2)$$

где α — коэффициент расхода через сбросное отверстие, который зависит в основном от формы отверстия, для оконных проемов прямоугольной формы с острыми кромками можно принять $\alpha = 0,6...0,7$; M — молекулярная масса истекающего газа; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура истекающего газа.

Сопоставляя правые части уравнений (1) и (2), получим расчетную формулу для определения по-

требной площади проходного сечения сбросного отверстия, достаточной для взрывозащиты здания:

$$S \geq \frac{F_{\max} u \rho (\varepsilon - 1) \left(\frac{P_{\max}}{P_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}}}{\alpha P_{\max} \sqrt{\frac{2M}{RT} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{P_0}{P_{\max}} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{P_{\max}} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma}} \right]}}.$$

Максимальную площадь поверхности фронта пламени можно выразить

$$F_{\max} = \chi F_{\max}^0,$$

где F_{\max}^0 — максимальная поверхность фронта пламени в предположении, что он представляет собой сферу, вписанную в объем защищаемого помещения; χ — коэффициент искривления фронта пламени.

Если бытовое помещение имеет форму куба с ребром, равным $\sqrt[3]{V}$, то

$$F_{\max}^0 = \pi V^{\frac{2}{3}}.$$

А если оно имеет другую форму, то F_{\max}^0 можно найти чисто геометрическим путем, однако без особой необходимости этого можно и не делать, так как, принимая форму куба объемом, равным объему помещения, мы вводим в расчет существенный запас надежности взрывозащиты.

Коэффициент искривления фронта пламени χ следует понимать как отношение действительной площади поверхности фронта пламени к площади поверхности сферы или части сферы, описанной в пределах помещения из точки зажигания таким образом, что охватываемый ею объем равен действительному объему продуктов сгорания в текущий момент времени.

Если мы решаем конкретную задачу взрывозащиты кухни от взрыва газа, то расчетные формулы можно предельно упростить, подставив в них конкретные значения соответствующих констант и других принимаемых величин: $M = 30$ кг/кмоль, $R = 8314$ Дж/(кг/кмоль · К), $T = 300$ К; $u = 0,34$ м/с; $\varepsilon = 8,2$, $\gamma = 1,41$, $P_{\max} = 0,103$ МПа, $\rho = 1,3$ кг/м³. Тогда расчетная формула будет иметь вид:

$$S \geq 0,0228 \chi V^{\frac{2}{3}}.$$

Коэффициент искривления фронта пламени χ можно принимать в интервале 1,5...3. Он может



быть и существенно большим, если имеются условия для интенсивной турбулизации газа в помещении. Это может быть, например, при работе на кухне настольных, напольных или потолочных вентиляторов. Однако в настоящее время такие условия встречаются редко.

Уже отмечалось, что обязательное условие эффективной взрывозащиты — окно должно достаточно легко разрушаться под действием весьма незначительного давления газов. Известно, что стекло тем легче разрушается, чем оно тоньше, и чем больше его остальные размеры.

Проблема взрывозащиты кухонь в жилых домах в последнее время усложнилась именно тем, что в них стали устанавливать современные металлопластиковые окна с многослойными стеклопакетами. Такие окна обеспечивают лучшую тепло- и шумоизоляцию; они также менее доступны для проникновения в квартиру злоумышленника, и имеют ряд других неоспоримых преимуществ. Но с точки зрения взрывозащиты их неоспоримый недостаток в том, что они слишком прочны. Для всех других бытовых помещений это не имеет значения, а для кухни избыточная прочность часто играет роковую роль, так как может привести к разрушению целого подъезда жилого дома.

Возможно, именно по причине очень широкого распространения металлопластиковых окон в последнее время мы и наблюдаем всплеск количества катастрофических взрывов, связанных с бытовым газом. Если раньше при взрыве бытового газа на кухне с окном со слабой деревянной рамой и 2-миллиметровыми стеклами страдали только жильцы одной квартиры (получали ожоги), то теперь прочные металлопластиковые окна со стеклопакетами превратили каждую такую кухню в своего рода "мину", угрожающую всему подъезду.

Но этот недостаток металлопластиковых окон вполне может быть устранен их разработчиками и изготовителями без ущерба для всех других их бесспорных преимуществ. Для этого достаточно лишь предусмотреть специальное слабое звено в конструкции их крепления в оконном проеме, например, в виде срезного штифта, или другого ослабленного крепежного элемента. При этом не надо думать, что, если окно будет иметь специально ослабленное крепление, то через него легко будет проникнуть в квартиру. Для того чтобы вылетело окно площадью $1,2 \text{ м}^2$ при давлении 5 кПа на него должна подействовать сила более, чем полтонны. Приложить такое усилие к окну снаружи зло-

умышленнику вряд ли удастся — его даже не к чему приложить (не за что ухватиться).

Крепление окна может быть даже шарнирным, чтобы оно не вылетало полностью из оконного проема, а, например, поворачивалось, и после сброса давления взрыва возвращалось на место. Это, конечно, желательно не для того, чтобы после взрыва окно осталось целым, а для того, чтобы оно не падало на головы прохожим.

По мнению автора, по вопросу устройства окон на кухнях и в других бытовых помещениях, где используется бытовой газ, необходимо разработать специальный технический регламент. Разработке такого регламента должны предшествовать серьезные научные исследования, включающие не только более глубокие теоретические обоснования, но и натурные испытания в полигонных условиях.

Однако производителям металлопластиковых окон уже сейчас можно рекомендовать разработать типоряд их специальных конструкций для кухонь разных размеров, а также провести их натурные испытания на взрыв бытового газа, например, на зданиях, подлежащих сносу. Такие эксперименты с соответствующей видеосъемкой будут не только достаточно обоснованным подтверждением их эффективности, но и хорошей, впечатляющей рекламой.

При выводе расчетных формул мы по существу рассмотрели самый неблагоприятный случай, когда вся кухня заполнена самой быстрогорящей газозооной смесью. Чаще бывает, что горячая смесь существенно отличается от стехиометрического состава и образуется не во всем помещении, а лишь в некотором локальном объеме. Воспламенение такого локального газового облака специалисты на своем жаргоне называют "хлопком". Описанная защита в виде слабого по прочности и достаточно большого по площади окна от такого хлопка будет еще более эффективной.

В заключение следует отметить, что вышибные проемы и легкобросываемая кровля позволяют предотвратить разрушение основных несущих строительных конструкций здания и здания в целом, но ожоги и другие поражения людей, находящихся в данном помещении, при этом не исключаются. Однако предотвращение разрушений зданий — это не так мало в смысле снижения трагических последствий взрывов бытового газа.

Список литературы

1. **Водяник В. И.** Горение и взрыв газов // Безопасность труда в промышленности. — 2005. — № 1. — С. 57–59.
2. **Водяник В. И.** Взрывозащита технологического оборудования. — М.: Химия, 1991. — 256 с.

УДК 378

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: E9@mx.bmstu.ru

Кафедре Э-9 "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана — 80 лет

Юбилейная статья о 80-летней истории кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Ключевые слова: кафедра, экология, промышленная безопасность, юбилей, история.

Pavlihin G. P., Vanaev V. S., Kozjakov A. F.
The chair E-9 "Ecology and Industrial safety" MSTU of name N. E. Bauman is 80 years old.

There is a jubilee article about 80 years historian of the "Ecology and Industrial safety" MSTU of name N. E. Bauman.

Keywords: chair, ecology, industrial safety, jubilee, historian.

10 сентября 2010 года кафедре Э-9 "Экология и промышленная безопасность" МГТУ имени Н. Э. Баумана исполняется 80 лет. Дата очень значительная. В таких случаях обычно дается капитальное исследование истории развития со дня основания и по настоящее время. Относительно кафедры Э-9 в этом особой необходимости нет. Потому что на протяжении всех лет существования журнала "Безопасность жизнедеятельности" история кафедры практически была полностью изложена на его страницах. Поэтому в юбилейный год достаточно будет просто пролистать прошлые номера журнала в соответствующей исторической последовательности, чтобы получить исчерпывающую информацию по знаменательному событию, связанному с юбилеем кафедры Э-9. Это будет краткий экскурс в историю кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Первая юбилейная публикация в данном журнале № 1 за 2003 г. была связана с ошибочной датой основания кафедры в 1938 г. [1]. Тому были объективные причины, показанные в последующих статьях. Но именно приближающаяся очередная круглая юбилейная дата заставила сотрудников кафедры обратиться к фондам Центрального архива города Москвы (ЦАГМ) с тем, чтобы попытаться отыскать тот документ, в соответствии с которым фактически была учреждена кафедра. И попытка не прошла даром. В 2005 году сотрудники кафедры обнаружили в фондах ЦАГМ документ, свидетельствующий, что кафедра "Техника безопасности", преемницей которой является современная кафедра "Экология и промышлен-

ная безопасность", утверждена 10 сентября 1930 г. Приказом № 449 по ВММУ (Высшее механико-машиностроительное училище). Об этом журнал сообщил в информации как приложение к статье "Становление и развитие научной деятельности кафедры "Экология и промышленная безопасность" [2].

Следующие публикации последовательно и методично знакомили читателей с историей кафедры поэтапно. При этом каждый временной период характеризовался работой конкретного заведующего кафедрой. Первая статья на эту тему [3] посвящена основоположнику кафедры "Техника безопасности" Синеву Петру Ивановичу. По нашей информации он же являлся и инициатором создания новой кафедры в ВММУ. В этом ему помог огромный опыт лектора и пропагандиста идей охраны труда и техники безопасности. Еще до того, как возглавить кафедру П. И. Синева приобрел огромный опыт научно-практической и учебно-методической работы благодаря тому, что был начальником отдела "Техника безопасности" в институте охраны труда и имел достаточно большое число монографических изданий, которые он опубликовал к этому времени по вопросам охраны труда, техники безопасности и промышленной гигиены. Главным итогом его работы к 1938 г. стал выпуск первого фундаментального учебника для машиностроительных вузов "Техника безопасности в машиностроении", который был написан коллективом авторов, привлеченных из института охраны труда, под редакцией П. И. Синева. В 1939 г. ВАК присвоил ему звание профессора. К 1941 г. круг вопросов, рассматриваемых кафедрой, расширился, и кафедра стала называться "Техника безопасности и противопожарная техника". В военные годы кафедра переживала большие трудности. Это связано с тем, что ее тематический профиль не совсем соответствовал военной тематике, поэтому в числе менее актуальных для военного времени кафедр она временно осталась не у дел. Заслуга П. И. Синева в том, что благодаря его активности время невостребованности кафедры было сведено к минимуму. Уже в начале 1943 г. кафедра вновь функционировала. Петр Иванович восстанавливал послевоенную кафедральную деятельность до 1946 г., до самой своей кончины.

В 1946 г. кафедру возглавил Скороходов Николай Иосифович [4]. Фронтовик, вернувшийся с фронта после ранений и контузии. Еще до войны он начинал свою научно-техническую деятельность в аспирантуре. Приход на кафедру "Техника безопасности" дал ему возможность закончить свою работу и защитить диссертацию в 1947 г. Это была первая диссертация по тематике кафедры, защищенная в стенах МВТУ. Н. И. Скороходов продолжил дело



П. И. Синева по развитию и дальнейшему становлению кафедры, что выразилось, в первую очередь, в редактировании и подготовке к публикации второго издания учебника "Техника безопасности в машиностроении". К сожалению, жизнь Николая Иосифовича оборвалась в одночасье, когда ему исполнилось всего лишь сорок два года. Сказались последствия военных ранений. Он не успел реализовать свои задумки по развитию кафедры и повышению ее авторитета среди учебных подразделений Училища. Незадолго до кончины Н. И. Скороходов порекомендовал ректорату назначить заведующим кафедрой П. Г. Кушвида.

Петр Григорьевич Кушвид сменил на посту заведующего кафедрой Н. И. Скорохова в мае 1953 г. и оставался в этой должности до июля 1959 г. [5]. П. Г. Кушвид уделял особое внимание подбору кадрового состава. Другим вопросом, которому он придавал большое значение, является организация на кафедре лабораторного практикума. Для этого он неустанно проявлял свои организационно-административные данные, воздействуя на администрацию Училища в части выделения кафедре дополнительных площадей для проведения лабораторных работ студентами по курсу техники безопасности. П. Г. Кушвид намеревался, и это было включено в план работы кафедры, утвердить новую учебную программу курса техники безопасности, после чего приступить к написанию нового учебника по этой дисциплине. К сожалению, написанная программа сохранилась только в материалах архива, а работа над рукописью так и не состоялась. Несмотря на внешне неброские результаты деятельности П. Г. Кушвида за время руководства кафедрой, его работа не прошла даром. Она оставила заметный след в виде перспективного плана, на долгое время определившего вектор развития кафедры, который был успешно реализован в последующие годы.

В 1959 г. в конкурсе на замещение должности заведующего кафедрой "Техника безопасности" приняли участие два кандидата. В результате голосования был избран Петр Андреевич Гладких [6]. В это же время общеучилищная кафедра "Техника безопасности" была выведена из прямого подчинения ректора и включена в состав факультета "Автоматизация и механизация производства" под индексом АМ-12.

Несмотря на нехватку педагогических кадров на кафедре впервые начинаются серьезные научно-исследовательские работы. Основным направлением было "Устранение колебаний нагнетательных установок". Это направление было включено в число важнейших научно-исследовательских тем МВТУ им. Н. Э. Баумана. Результаты его нашли широкое применение в народном хозяйстве. В свете исполнения Постановления Совета Министров СССР № 114 "О мерах по ограничению шума в промышленности" от февраля 1960 г. на кафедре начинают широко проводиться научно-исследовательские работы по шуму. Именно эта тематика стала основной в темах диссертационных работ первых аспирантов организованной в 1962 г. аспирантуры на кафедре. Первые аспиранты тех лет составляют основу профессорско-преподавательского состава сегодняшней кафедры. Это в первую очередь профессора А. Ф. Козьяков и Э. П. Пышкина. В последующие годы через аспирантуру кафедры прошел практически весь преподавательский состав. В 1965 г. вышел приказ Министерства высшего и среднего специального образования СССР № 273 о том, что курс "Основы техники безопасности и противопожарной техники" переименован в курс

"Охрана труда". Совершенствование программы основного кафедрального учебного курса требовало новой учебной литературы, соответствующей новой программе. Такой учебник "Основы техники безопасности и противопожарной техники в машиностроении" вышел в 1966 г. под редакцией П. А. Гладких. Эта книга как бы пришла на смену учебника П. И. Синева 1938 и 1949 гг. издания.

В октябре 1966 г. П. А. Гладких неожиданно уходит на пенсию. Исполнение обязанностей заведующего кафедрой было возложено на Иванова Бориса Владимировича, который выполнял эти функции до февраля 1967 г. В этот короткий период кафедра была переименована в кафедру "Охрана труда" в соответствии с приказом по МВТУ № 196 от 24 декабря 1966 г.

С 1 марта 1967 г. заведующим кафедрой АМ-12 "Охрана труда" становится доктор технических наук, профессор Юдин Евгений Яковлевич как избранный по конкурсу [7]. Он начал свою деятельность с разработки пятилетнего плана развития кафедры, а также существенно расширил педагогический персонал кафедры, в первую очередь за счет молодежи, в том числе аспирантов заочников. На кафедре еще больше внимания уделяется научно-исследовательской работе. Е. Я. Юдин так сформулировал задачу кафедры в этом направлении: "В области научной работы направление кафедры определилось — это борьба с шумом и вибрацией". В этой области кафедра становится ведущим в стране научным центром. Поскольку основным научным направлением кафедры стало борьба в промышленности с шумом и вибрацией энергетических установок, в 1970 г. кафедра была переведена с факультета "Автоматизация и механизация" на факультет "Энергомашиностроение". Соответственно изменился ее индекс. Кафедра АМ-12 "Охрана труда" стала Э-9. Под этим индексом кафедра числится и сейчас во всех внутриуниверситетских документах.

В эти годы кафедра располагала самым молодым коллективом педагогов в МВТУ. Такой состав сотрудников позволял успешно решать весь научно-образовательный комплекс работ. На кафедре успешно проводились мероприятия по постоянному повышению квалификации педагогического состава, функционировали Научно-методический семинар по вопросам курса "Охрана труда", Методический семинар по лабораторным работам, Научно-технический семинар по проблемам "Борьба с шумом в машиностроении". В начале 1970-х годов был организован Факультет повышения квалификации по специальности "Охрана труда".

Одной из самых важных проблем, стоящих перед кафедрой, по мнению Е. Я. Юдина, было создание новой программы по курсу "Охрана труда" и написание соответствующего этому курсу учебника. "Программа курса "Охрана труда" для всех специальностей МВТУ им. Н. Э. Баумана" вышла в издательстве Училища в 1973 г. Учебник "Охрана труда в машиностроении" вышел под редакцией Е. Я. Юдина в 1976 г. в издательстве "Машиностроение". Таким образом, была достигнута главная цель, которую поставил перед собой Евгений Яковлевич и успешно решил ее с помощью возглавляемого им коллектива. В июне 1975 г. Е. Я. Юдин пишет заявление на имя ректора Училища с просьбой освободить его от занимаемой должности в порядке перевода во Всесоюзный заочный инженерно-строительный институт. Уход Е. Я. Юдина был достаточно неожиданным для сотрудников кафедры и, наверное, для ректората. Исполняющим

обязанности зав. кафедрой был назначен Анатолий Федорович Козьяков. Один из старейших сотрудников, он прекрасно знал всех своих коллег и спокойно ориентировался во всех кафедральных ситуациях как учебного, так и административного плана. Именно его авторитет и компетентность позволили демпфировать все проблемные ситуации, связанные с уходом Е. Я. Юдина.

С января 1976 г. временно исполняющим обязанности заведующего кафедрой Э-9 "Охрана труда" был назначен доктор технических наук, доцент Сергей Викторович Белов [8]. Он занимал пост заведующего в течение 31 года. С его приходом существенно расширилась научная специализация кафедры и ее кадровый состав. Коллектив кафедры пополнили ученики и последователи С. В. Белова: канд. техн. наук, доц. Г. П. Павлихин, В. С. Спиридонов, В. А. Девисилов, Ю. М. Новиков. В коллектив кафедры влилось новое пополнение молодых сотрудников, выпускников МВТУ им. Н. Э. Баумана: А. Е. Панфилов, Ю. В. Пластинин, Д. М. Якубович, А. Ф. Юдин, В. А. Львов. К традиционным НИР по снижению шума и вибрации на производстве добавились вопросы обработки воздуха рабочей зоны (влажнорегулирование, очистка от паров, газов, пылей), а главное появились новые направления "Защита атмосферы и гидросферы от загрязнений", а также "Защита окружающей среды от шума". Были проведены исследования по определению акустических характеристик комбинированных пористых сетчатых металлов, предназначенных для использования в шумоглушащих конструкциях. С 1981 по 1986 г. на кафедре основная научно-исследовательская деятельность велась в рамках отраслевой лаборатории Министерства химического машиностроения СССР. Базовое предприятие министерства — НПО "Криогенмаш" поручило отраслевой лаборатории (научный руководитель проф. С. В. Белов) реализацию трех научных направлений:

- гидродинамика криогенных жидкостей и их очистка от примесей фильтрованием;
- снижение шума воздухоподогревательных установок;
- безопасность эксплуатации неизолированных криогенных систем и разработка технических средств дренажа криопродуктов.

Руководителями научных направлений были проф. Г. П. Павлихин и доценты А. С. Терехин и И. В. Перездчиков.

Итоговым результатом комплексного исследования пористых материалов явилось создание новых высокопрочных комбинированных пористых сетчатых металлов (КПСМ). На эти разработки в 1994 г. было получено четыре патента и Золотая медаль 53-й Всемирной Брюссельской выставки инноваций, новейших исследований и технологий "Эврика 2004". Применение КПСМ позволило успешно участвовать в научно-прикладных программах ракетно-космической отрасли "Бриз-М", "Тополь-М", "Кулон", "Морской старт".

Одно из основных направлений развития учебно-методической работы кафедры заключалось в совершенствовании лабораторной базы и в постоянном приближении курса "Охрана труда" к специфике конкретных кафедр Училища с необходимостью отражения вопросов этого курса в дипломных проектах всех специальностей. С этого периода и по настоящее время активно обновлялись и вновь создавались методические указания к лабораторным работам. В общей сложности в типографии МВТУ было издано более 30 ме-

тодических разработок, цель которых заключалась в совершенствовании кафедральной лабораторной практики.

Серьезное внимание С. В. Белов уделял созданию учебников, учебных пособий и методических указаний для дипломного проектирования по различным вопросам охраны труда, охраны окружающей среды и промышленной безопасности. С 1977 г. по настоящее время их вышло более сорока наименований. Безусловный интерес представляют учебники и учебные пособия, в которых рассматриваются вопросы, выходящие за пределы традиционной охраны труда и освещающие проблемы защиты окружающей среды, промышленной экологии и пр. Определенную роль в сближении практики охраны труда и содержания лекционных курсов явилось участие преподавателей кафедры в издании серии "Библиотека по охране труда для рабочего машиностроителя", выходящей в свет в издательстве "Машиностроение" с 1986 по 1992 г. под редакцией С. В. Белова. 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 факультетов МВТУ.

В 1980 г. кафедра была переименована. Вместо названия "Охрана труда" она стала называться "Охрана труда и окружающей среды". Соответственно планируется замена ранее читавшегося курса "Охрана труда" на курс "Охрана труда и окружающей среды". 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. Назрела необходимость рассмотрения глобальной проблемы безопасности человека в техносфере вместо локальной проблемы охраны труда исключительно в производственной сфере.

Социально-общественные события в стране, развернувшиеся в конце восьмидесятых 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). Календарной датой рождения этой новой образовательной дисциплины считается 20 сентября 1989 г., когда Учебно-методическое управление МГТУ утвердило программу курса "Промышленная экология и безопасность (Безопасность жизнедеятельности)" для машиностроительных специальностей МГТУ им. Н. Э. Баумана. Двадцатилетний юбилей дисциплины БЖД был отмечен кафедрой в 2009 г. История ее становления рассмотрена в публикации на страницах журнала "Безопасность жизнедеятельности" № 7 за 2009 г. [9].

За прошедшее время кафедра еще дважды меняла свое название в связи с конкретизацией тематики основного кафедрального учебного курса. С 1989 г. кафедра называлась "Промышленная экология и безопасность", а с 1990 г. стала называться "Экология и промышленная безопасность". Под этим наименованием кафедра функционирует и по настоящее время.

Возможность преподавания учебной дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" во всех технических вузах страны была обеспечена выходом в свет первого учебника "Безопасность жизнедеятельности", написанного со-



трудниками кафедры под редакцией С. В. Белова. В 1999 г. вышло восьмое издание этого учебника.

С 2001 г. началось издание научно-практического и учебно-методического журнала "Безопасность жизнедеятельности" (главный редактор С. В. Белов, с 2008 г. главный редактор О. Н. Русак), который к 2009 г. отметил своеобразный юбилей, выход сего номера [10].

В 1993 г. под эгидой кафедры Э-9 в Зеленограде прошло первое Всероссийское совещание заведующих кафедрами по вопросам образования в области безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды. Следующие совещания проходили в МГТУ им. Н. Э. Баумана (второе в 2001 г., третье в 2005 г., четвертое в 2009 г.).

В декабре 2007 г. С. В. Белов оставил кафедру в связи с уходом на пенсию. Заведующим был назначен один из старейших сотрудников кафедры канд. техн. наук, доц. Смирнов Сергей Георгиевич [11]. Он и ранее неоднократно исполнял обязанности зав. кафедрой. В качестве заведующего он проработал до конца 2008 г. За это время под его началом было организовано преподавание экологии, для чего был подобран соответствующий преподавательский контингент. Кроме того, по инициативе кафедры Федеральным агентством по образованию РФ было принято решение о проведении на базе кафедры Э-9 Всероссийских студенческих олимпиад по техносферной безопасности среди технических вузов [12]. С тех пор олимпиады проводятся ежегодно, и С. Г. Смирнов является неизменным инициатором и руководителем их проведения.

С января 2009 г. на должность заведующего кафедрой "Экология и промышленная безопасность" был избран по конкурсу д-р техн. наук, проф. Павлихин Геннадий Петрович [13]. Кафедра вступила в новый этап своего развития. На ближайшие два года составлен перспективный план. На успешное выполнение основных задач, поставленных в этом плане, и направлена повседневная деятельность кафедры сегодняшнего дня.

Авторы статьи поздравляют кафедру Э-9 "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана с замечательным юбилеем, желают ей дальнейшего успешного развития. Редакция журнала "Безопасность жизнедеятельности" и его читатели с удовольствием присоединяются к этим поздравлениям и пожеланиям.

Список литературы

1. Козьяков А. Ф. К 65-летию кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана // Безопасность жизнедеятельности. — 2003. — № 1. — С. 3—6.
2. 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.
3. Павлихин Г. П., Базанчук Г. А., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана. Синев Петр Иванович (1872—1946) // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 10. — С. 41—49.
4. Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1946—1953 годы. Скороходов Николай Иосифович (1911—1953) // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 3. — С. 38—43.
5. Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1953—1959 годы. Кушвид Петр Григорьевич (1898—1978) // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 5. — С. 40—45.
6. Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1959—1967 годы. Гладких Петр Андреевич (1906—1980) // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 9. — С. 44—51.
7. Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1967—1976 годы. Юдин Евгений Яковлевич (1914—1992) // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 10. — С. 39—45.
8. Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1976—2007 годы. Белов Сергей Викторович // Безопасность жизнедеятельности. — 2010. — № 2. — С. 46—54.
9. Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. Дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" (БЖД) — 20 лет // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 7. — С. 2—4.
10. Ванаев В. С., Русак О. Н., Павлихин Г. П. Сто номеров журнала "Безопасность жизнедеятельности" // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 4. — С. 2—5.
11. Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 2007—2008 годы. Смирнов Сергей Георгиевич // Безопасность жизнедеятельности. — 2010. — № 4. — С. 49—52.
12. Готлиб Я. Г., Смирнов С. Г. Всероссийская студенческая олимпиада по техносферной безопасности 2007 года // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 2. С. 55—56.
13. Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана с 2009 года. Павлихин Геннадий Петрович // Безопасность жизнедеятельности. — 2010. — № 7. — С. 45—49.

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. М. Патрушева. Корректор Е. В. Комиссарова

Сдано в набор 09.06.10. Подписано в печать 19.07.10. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 8,31. Заказ 565.

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.