



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

Редакционный совет:

АГОШКОВ А. И., д.т.н., проф.
 ГРАЧЕВ В. А., чл.-корр. РАН,
 д.т.н., проф.
 ГРИГОРЬЕВ С. Н., д.т.н., проф.
 ДУРНЕВ Р. А., д.т.н., доц.
 ЗАЛИХАНОВ М. Ч., акад. РАН,
 д.г.н., к.б.н., проф. (председатель)
 КОТЕЛЬНИКОВ В. С., д.т.н.,
 проф.
 ПРОНИН И. С., д.ф.-м.н., проф.
 РОДИН В. Е., д.т.н., проф.
 СОКОЛОВ Э. М., д.т.н., проф.
 ТЕТЕРИН И. М., д.т.н.
 УШАКОВ И. Б., акад. РАН,
 д.м.н., проф.
 ФЕДОРОВ М. П., акад. РАН,
 д.т.н., проф.
 ЧЕРЕШНЕВ В. А., акад. РАН,
 д.м.н., проф.
 АНТОНОВ Б. И.
 (директор издательства)

Главный редактор

РУСАК О. Н., д.т.н., проф.

Зам. главного редактора

ПОЧТАРЕВА А. В.

Редакционная коллегия:

АЛБОРОВ И. Д., д.т.н., проф.
 БЕЛИНСКИЙ С. О., к.т.н., доц.
 ВАСИЛЬЕВ А. В., д.т.н., проф.
 ЗАБОРОВСКИЙ Т., д.т.н., проф.
 (Польша)
 ИВАНОВ Н. И., д.т.н., проф.
 КАЧУРИН Н. М., д.т.н., проф.
 КИРСАНОВ В. В., д.т.н., проф.
 КОСОРУКОВ О. А., д.т.н., проф.
 КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н., д.т.н.,
 проф.
 КСЕНОФОНТОВ Б. С., д.т.н.,
 проф.
 КУКУШКИН Ю. А., д.т.н., проф.
 МАЛАЯН К. Р., к.т.н., проф.
 МАРТЫНЮК В. Ф., д.т.н., проф.
 МАТЮШИН А. В., д.т.н.
 МИНЬКО В. М., д.т.н., проф.
 МИРМОВИЧ Э. Г., к.ф.-м.н., доц.
 ПАЛЯ Я. А., д.с.-х.н., проф.
 (Польша)
 ПЕТРОВ С. В., к.ю.н., с.н.с.
 СИДОРОВ А. И., д.т.н., проф.
 ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г., д.т.н., проф.
 ФИЛИН А. Э., д.т.н., доц.
 ФРИДЛАНД С. В., д.х.н., проф.
 ЦЗЯН МИНЦЗЮНЬ, д.т.н.,
 проф. (Китай)
 ШВАРЦБУРГ Л. Э., д.т.н., проф.

9(201)
2017

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ТРУДА

Минько В. М., Евдокимова Н. А., Бакарягина А. К совершенствованию экономических механизмов управления охраной труда 3

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Иванова О. А., Ксенофонтов Б. С., Иванов М. В. Интенсификация процесса обеззараживания сточной воды методом виброакустического воздействия 8
 Кирсанов В. В. Методика определения параметров высоконагружаемого биофильтра с рециркуляцией и искусственной аэрацией для очистки сточных вод с изменяющейся нагрузкой 14

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Кутлин Н. Г., Кутлин Ю. Н., Талипова А. Р., Кузнецова З. З., Камалова Э. И. Мониторинг миграции тяжелых металлов методом биоиндикации 17

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Моторыгин Ю. Д., Черных А. К., Яшин М. Г. Об одном способе восстановления регулирования движения поездов в чрезвычайных ситуациях 20

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Тимофеева С. С., Гармышев В. В. Современное состояние пожарной безопасности в Российской Федерации в показателях риска 27
 Громов В. Н., Сильников М. В., Печурин А. А., Пивоваров О. Г. Методика синтеза оптимального варианта модернизации системы технологического пожаротушения автодорожных тоннелей 33
 Яценко Л. А., Копкин Е. В., Бардулин Е. Н., Принцева М. Ю. Изменение состава летучих компонентов автомобильных бензинов при испарении и выгорании в ходе пожара 39

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Яценко И. Г., Перемитина Т. О., Днепровская В. П., Русских И. В., Стрельникова Е. Б., Воистинова Е. С. Применение данных наземного и дистанционного исследований для оценки экологического состояния нефтегазовых территорий Западной Сибири . . . 45

ОБРАЗОВАНИЕ

Тягунова Ю. В., Глотова Н. В., Окраинская И. С., Медведева Ю. В. Опыт разработки самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта для направления 20.04.01 Техносферная безопасность 51

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ

Комкин А. И., Смирнов С. Г. Нормотворчество в области шума в России. Последние результаты 59

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, включен в систему Российского индекса научного цитирования и Международную базу данных CAS (Chemical Abstract).



LIFE SAFETY

BEZOPASNOST' ŽIZNEDATEL'NOSTI

The journal published since
January 2001

Editorial board

AGOSHKOV A. I., Dr. Sci. (Tech.)
GRACHEV V. A., Cor.-Mem. RAS,
Dr. Sci. (Tech.)
GRIGORYEV S. N., Dr. Sci. (Tech.)
DURNEV R.A., Dr. Sci. (Tech.)
ZALIKHANOV M. Ch., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Geog.), Cand. Sci. (Biol.)
KOTELNIKOV V. S., Dr. Sci. (Tech.)
PRONIN I. S., Dr. Sci. (Phys.-Math.)
RODIN V. E., Dr. Sci. (Tech.)
SOKOLOV E. M., Dr. Sci. (Tech.)
TETERIN I. M., Dr. Sci. (Tech.)
USHAKOV I. B., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Med.)
FEDOROV M. P., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Tech.)
CHERESHNEV V. A., Acad. RAS,
Dr. Sci. (Med.)
ANTONOV B. I.

Editor-in-chief

RUSAK O. N., Dr. Sci. (Tech.)

Deputy editor-in-chief

POCHTAREVA A. V.

Editorial staff

ALBOROV I. D., Dr. Sci. (Tech.)
BELINSKIY S. O.,
Cand. Sci. (Tech.)
VASILYEV A. V., Dr. Sci. (Tech.)
ZABOROVSKIY T. (Poland),
Dr. Sci. (Tech.)
IVANOV N. I., Dr. Sci. (Tech.)
KACHURIN N. M., Dr. Sci. (Tech.)
KIRSANOV V. V., Dr. Sci. (Tech.)
KOSORUKOV O. A., Dr. Sci. (Tech.)
KRASNOGORSKAYA N. N.,
Dr. Sci. (Tech.)
KSENOFONTOV B. S.,
Dr. Sci. (Tech.)
KUKUSHKIN Yu. A.,
Dr. Sci. (Tech.)
MALAYAN K. R., Cand. Sci. (Tech.)
MARTYNYUK V. Ph.,
Dr. Sci. (Tech.)
MATYUSHIN A. V., Dr. Sci. (Tech.)
MINKO V. M., Dr. Sci. (Tech.)
MIRMOVICH E. G.,
Cand. Sci. (Phys.-Math.)
PALJA Ja. A. (Poland),
Dr. Sci. (Agri.-Cult.)
PETROV S. V., Cand. Sci. (Yurid.)
SIDOROV A. I., Dr. Sci. (Tech.)
TOPOLSKIY N. G., Dr. Sci. (Tech.)
FILIN A. E., Dr. Sci. (Tech.)
FRIDLAND S. V., Dr. Sci. (Chem.)
JIANG MINGJUN (China), Prof.
SHVARTSBURG L. E.,
Dr. Sci. (Tech.)

9(201)
2017

CONTENTS

LABOUR PROTECTION

Minko V. M., Evdokimova N. A., Bakaryagina A. To Improve Economic Mechanisms
Occupational Safety and Health Management 3

ENVIRONMENT PROTECTION

Ivanova O. A., Ksenofontov B. S., Ivanov M. V. Waste Water Disinfection Vibroacoustical
Intensification 8
Kirsanov V. V. Methodology for Determining the Parameters Highly Loaded Biofilter with
Recirculation and Artificial Aeration for Sewage Treatment with Variable Loading 14

ENVIRONMENT MONITORING

Kutlin N. G., Kutlin U. N., Talipova A. R., Kuznetsova Z. Z., Kamalova E. I. Monitoring of
Migration of Heavy Metals of Bio-Indication Method 17

SITUATION OF EMERGENCY

Motorygin Yu. D., Chernykh A. K., Yashin M. G. About one Method of Reconstitution of
Regulation of the Railway Transport in Emergency Situations 20

FIRE SAFETY

Timofeeva S. S., Garmyshev V. V. The Current State of Fire Safety in the Russian Federation
in Terms of Risk 27
Gromov V. N., Silnikov M. V., Pechurin A. A., Pivovarov O. G. The Technique of Synthesis
of Optimal Variant of Technological Modernization of the System of Fire Extinguishing Road
Tunnels 33
Yatcenko L. A., Kopkin E. V., Bardulin E. N., Printseva M. U. Change of Structure of Volatile
Flux of Motor Gasoline at Evaporation and Burning out During the Fire 39

REGIONAL PROBLEMS OF SAFETY

**Yashchenko I. G., Peremitina T. O., Dneprovskaya V. P., Russkih I. V., Strelnikova E. B.,
Voistinova E. S.** Application of Land and Remote Data Studies to Assess the Environmental
State Oil and Natural Gas-bearer Areas of Western Siberia 45

EDUCATION

Tyagunova Yu. V., Glotova N. V., Okrainskaya I. S., Medvedeva Yu. V. Experience in the De-
velopment of Independently Established Educational Standard for the Direction 20.04.01 Tech-
nosphere Safety 51

STANDARDIZATION AND NORMATIVE LEGAL QUESTIONS

Komkin A. I., Smirnov S. G. Rulemaking in the Field of Noise in Russia. Latest Results 59

Information about the journal is available online at: <http://novtex.ru/bjd>, e-mail: bjd@novtex.ru

УДК 658.382.3

В. М. Минько, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, e-mail: mcotminko@mail.ru,
Н. А. Евдокимова, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры, **А. Бакарягина**, асп.,
Калининградский государственный технический университет

К совершенствованию экономических механизмов управления охраной труда

Рассмотрены взаимосвязи между возможным приростом производительности труда и общим состоянием условий труда на предприятии, которое выражено через безразмерный коэффициент условий труда и показатель профессионального риска. Для практического применения рассчитана номограмма для определения прироста производительности труда в зависимости от уровня работоспособности до и после внедрения мероприятий по охране труда. Представлена методика расчета экономического эффекта, если с учетом результатов специальной оценки условий труда и организации медосмотров предприятие получает скидку по страховому тарифу.

Ключевые слова: производительность труда, условия труда, профессиональный риск, экономический эффект

Разработка, совершенствование и внедрение экономических механизмов управления охраной труда и в настоящее время имеет большое практическое значение. Хотя еще Генри Форд, известнейший организатор массового производства автомобилей, писал: "Обыкновенно оказывается, что облегчение труда для работника приносит с собой в то же время и уменьшение издержек производства. Приличные условия труда и доходность фактически тесно связаны между собой" [1]. Но вопрос в том, как они связаны, какими конкретно зависимостями. В новом Типовом положении о системе управления охраной труда (СУОТ) [2] обращается внимание на экономические подходы при разработке и обеспечении функционирования этих систем. Однако разработка экономических механизмов СУОТ пока далека от получения каких-либо практически приемлемых методик, которыми могли бы воспользоваться хозяйствующие субъекты.

В этой связи важно рассмотреть подход, который в 70–80-е годы прошлого столетия разрабатывался НИИ труда Госкомтруда СССР [3, 4]. Была предложена следующая формула, связывающая производительность труда Π с интегральными показателями уровня работоспособности до ($K_{\text{инт}_1}$) и после ($K_{\text{инт}_2}$) внедрения мероприятий по улучшению состояния условий и охраны труда

$$\Pi = 100 \left(\frac{K_{\text{инт}_2}}{K_{\text{инт}_1}} - 1 \right) k \cdot 100\%, \quad (1)$$

где k — эмпирический коэффициент, учитывающий влияние уровня работоспособности на рост производительности труда и изменяющийся от 0,12 до 0,4, в среднем $k = 0,2$.

Интегральный показатель уровня работоспособности был связан с интегральной оценкой тяжести труда (по существу — с состоянием условий труда) следующей зависимостью

$$K_{\text{инт}} = 100 - \left(\frac{I_T - 15,6}{0,64} \right), \quad (2)$$

где I_T — интегральная оценка тяжести труда, которая определяется по формуле

$$I_T = 19,7 \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - 1,6 \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \right)^2, \quad (3)$$

где x_i — оценка в баллах (использована шестибальная шкала) i -го фактора условий труда; n — число значимых факторов условий труда на рассматриваемом рабочем месте.

Чем выше значения x_i , тем больше несоответствие состояния условий труда по i -му фактору и тем больше значение интегральной оценки тяжести труда, которая при всех $x_i = 1$ будет $I_T = 18,1$, а при всех $x_i = 6$ получаем $I_T = 60,6$. При увеличении I_T интегральный показатель уровня работоспособности $K_{\text{инт}}$ будет согласно формуле (2) уменьшаться. При минимальном значении I_T показатель $K_{\text{инт}} = 96,1$, а при



максимальном — $K_{\text{инт}} = 29,7$, т. е. существенно, в 3,2 раза, меньше.

Интегральная оценка тяжести труда I_T выражена, согласно формуле (3), через среднеарифметический балл $\sum_{i=1}^n x_i / n = \bar{x}$, характеризующий со-

стояние условий труда на рабочем месте. Однако практически важно возможный прирост производительности труда выразить через обобщенную характеристику условий труда в целом на предприятии. Тогда и увеличение производительности труда будет относиться к этому уровню. Соответственно среднеарифметический балл \bar{x} , который учитывается в формуле (3), необходимо заменить на обобщенное средневзвешенное арифметическое значение балла, которое должно быть рассчитано уже для всего предприятия. Если на этом предприятии имеется m рабочих мест, на каждом из которых занято N_j работников, то обобщенное средневзвешенное арифметическое значение $\bar{x}_{\text{об}}$ балла может быть определено по формуле

$$\bar{x}_{\text{об}} = \sum_{j=1}^m N_j \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_i}{n_j} \right) / \sum_{j=1}^m N_j, \quad (4)$$

где n_j — число значимых факторов условий труда на j -м рабочем месте.

Интегральная оценка тяжести с учетом формулы (4) будет определяться как

$$I_T = 19,7 \bar{x}_{\text{об}} - 1,6 (\bar{x}_{\text{об}})^2. \quad (5)$$

Важно отметить, что расчет I_T по формуле (5) осуществляется для всего предприятия, учитывается состояние условий труда и число значимых факторов на всех рабочих местах.

Обобщенный средневзвешенный балл $\bar{x}_{\text{об}}$ может быть использован для вывода безразмерного обобщенного коэффициента условий труда $K_{\text{об}}$ для предприятия. Примем, что коэффициент $K_{\text{об}}$ линейным образом связан с $\bar{x}_{\text{об}}$, т. е.

$$K_{\text{об}} = a + b \bar{x}_{\text{об}}, \quad (6)$$

где a и b — коэффициенты, значения которых могут быть получены из следующих граничных условий

$$\left. \begin{aligned} 1 &= a + b1 \\ 0 &= a + b x_{\text{max}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Система уравнений (7) составлена с учетом того, что если $\bar{x}_{\text{об}} = 1$ (оптимальные условия труда по всем факторам, риск отсутствует), то $K_{\text{об}} = 1$.

Если же при шестибальной оценке тяжести труда [3] $\bar{x}_{\text{об}} = x_{\text{max}} = 6$ (сверхэкстремальные, опасные условия труда), то $K_{\text{об}} = 0$.

Из системы уравнений (7) получаем

$$a = x_{\text{max}} (x_{\text{max}} - 1), \quad b = -1 / (x_{\text{max}} - 1). \quad (8)$$

Подставляя формулы (8) в выражение (6), получаем

$$K_{\text{об}} = (x_{\text{max}} - \bar{x}_{\text{об}}) / (x_{\text{max}} - 1). \quad (9)$$

Полученная формула для расчета обобщенного коэффициента $K_{\text{об}}$ может быть использована для определения интегральной оценки тяжести труда I_T . Из формулы (9) после преобразований имеем

$$\bar{x}_{\text{об}} = x_{\text{max}} - K_{\text{об}} (x_{\text{max}} - 1). \quad (10)$$

Подставляя формулу (10) в формулу (5) и принимая $x_{\text{max}} = 6$, получаем

$$I_T = 60,6 - 2,5 K_{\text{об}} - 40 K_{\text{об}}^2. \quad (11)$$

Используя выражение (11), из формулы (2) имеем для расчета интегрального показателя уровня работоспособности

$$K_{\text{инт}} = (19 + 2,5 K_{\text{об}} + 40 K_{\text{об}}^2) / 0,64. \quad (12)$$

Обобщенный коэффициент безопасности условий труда $K_{\text{об}}$, характеризующий вероятность сохранения здоровья и риск повреждения здоровья R , представляют полную группу событий, т. е. $K_{\text{об}} + R = 1$, а $K_{\text{об}} = 1 - R$. Используя эту запись, получаем из уравнения (12)

$$K_{\text{инт}} = (61,5 - 82,5 R + 40 R^2) / 0,64. \quad (13)$$

Из выражения (13) следует, что если риск R повреждения здоровья равен нулю (оптимальные условия труда), то интегральный показатель уровня работоспособности $K_{\text{инт}}$ получает максимальное значение — 96,1, если же $R = 1$ (опасные условия), то этот показатель $K_{\text{инт}}$ имеет минимальное значение — 29,7.

Таким образом, если для какого-либо предприятия получены по формулам (12) или (13) значения $K_{\text{инт}_1}$ и $K_{\text{инт}_2}$, то обращаясь к выражению (1) можно оценить существующие резервы повышения производительности труда за счет улучшения условий труда.

Текущее состояние здоровья работников зависит от продолжительности работы в неблагоприятных условиях труда. И это следовало бы учитывать при расчетах по формулам (9) и (13).

Соответствующий подход был изложен в работах [5, 6]. Однако для практических расчетов, связанных с оценкой возможного увеличения производительности труда на конкретном предприятии, нужно знать продолжительность работы в неблагоприятных условиях для каждого работника. Получить такие оценки не представляется возможным, в том числе в связи со сменяемостью мест работы многими работниками.

Если для какого-либо предприятия получены значения прироста производительности труда, то расчет возможного при этом годового экономического эффекта осуществляется по обычным формулам экономики. Мероприятия по улучшению условий труда могут приводить также к снижению производственного травматизма и (или) заболеваемости работников. В этом случае должны суммироваться все полученные экономические эффекты.

Для ускорения всех расчетов на рис. 1 представлен график зависимости уровня работоспособности $K_{инт}$ от уровня профессионального риска R (использована формула (13)), а на рис. 2 — номограмма, по которой, зная $K_{инт1}$ и $K_{инт2}$, можно определить возможное увеличение производительности труда Π , %.

Экономические обоснования мероприятий СУОТ вытекают и из того, что улучшение условий труда, снижение числа рабочих мест с вредными и опасными условиями труда являются одним из условий для снижения страховых тарифов. Скидки C по страховым тарифам в настоящее время рассчитываются по формуле [7]

$$C = \left(1 - \frac{I}{3}\right) q_1 q_2 100 \%, \quad (14)$$

где q_1 — коэффициент уровня проведения страхователем специальной оценки условий труда (СОУТ); q_2 — коэффициент уровня проведения обязательных предварительных и периодических

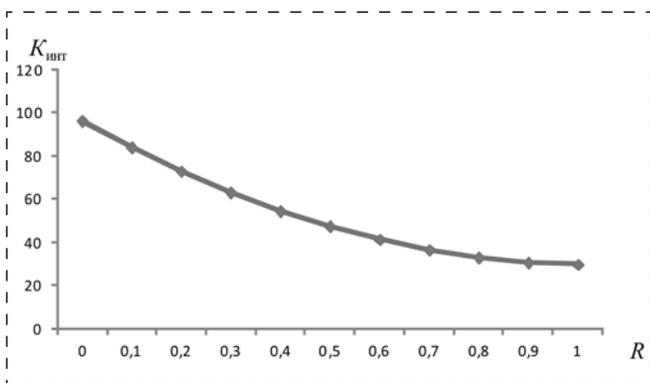


Рис. 1. Зависимость уровня работоспособности $K_{инт}$ от уровня профессионального риска R

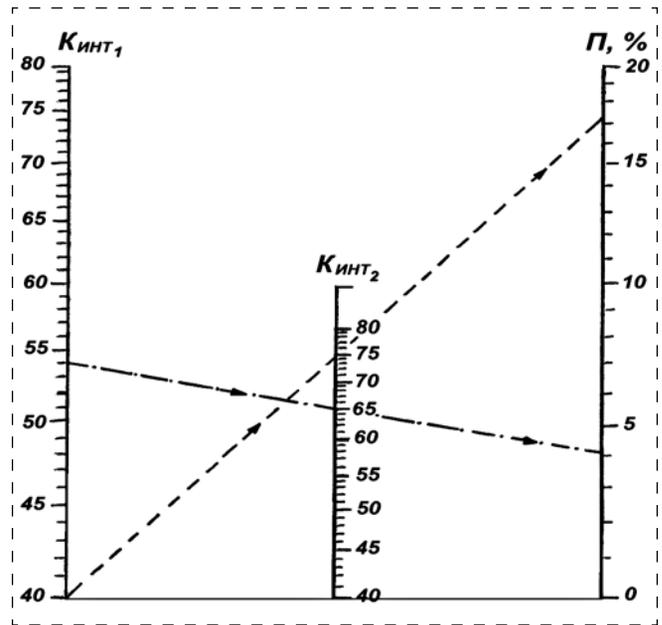


Рис. 2. Номограмма для определения возможного увеличения производительности труда Π при различных значениях $K_{инт1}$ и $K_{инт2}$

медицинских осмотров работников страхователя); рассчитываются по формулам:

$$q_1 = (q_{11} - q_{13}) / q_{12}, \quad (15)$$

$$q_2 = q_{21} / q_{22}, \quad (16)$$

здесь q_{11} — количество рабочих мест, на которых проведена СОУТ на 1 января текущего календарного года; q_{12} — общее количество рабочих мест; q_{13} — количество рабочих мест, которые по результатам СОУТ отнесены к вредным или опасным; q_{21} — число работников, прошедших установленные медосмотры на 1 января текущего календарного года; q_{22} — число всех работников страхователя, подлежащих установленным медосмотрам.

Индекс I определяется по выражению

$$I = \frac{a_c}{a_{вэд}} + \frac{b_c}{b_{вэд}} + \frac{c_c}{c_{вэд}}, \quad (17)$$

где a_c , $a_{вэд}$ — отношения суммы всех выплат в связи со страховыми несчастными случаями за три предшествующих года к сумме начисленных страховых взносов также за эти три года соответственно для страхователя (a_c) и для того вида экономической деятельности, к которому относится основная деятельность страхователя ($a_{вэд}$); b_c , $b_{вэд}$ — умноженные на 1000 отношения количества страховых случаев за три предшествующих года к среднесписочной численности работников за эти же три года соответственно для страхователя (b_c) и по тому виду экономической



деятельности, к которому относится основная деятельность страхователя ($\sigma_{вэд}$); таким образом, отношение $\frac{c_c}{\sigma_{вэд}}$ — это отношение частоты несчастных случаев у страхователя к частоте по соответствующему виду экономической деятельности; $c_c, \sigma_{вэд}$ — отношения числа дней временной нетрудоспособности в связи со страховыми случаями за три предшествующих года к количеству таких случаев (исключая смертельные) также за три года соответственно для страхователя (c_c) и по тому виду экономической деятельности, к которому относится основная деятельность страхователя ($\sigma_{вэд}$), т. е. это отношение коэффициентов тяжести несчастных случаев.

Значения показателей $a_{вэд}, \sigma_{вэд}, c_{вэд}$ рассчитываются и утверждаются страховщиком (ФСС) по согласованию с Минтруда России не позднее 1 июня текущего года по итогам деятельности всех страхователей (застрахованных предприятий) за три предшествующих года и применяются для расчета надбавки или скидки на очередной год, следующий за текущим.

Размер скидки по страховым тарифам установлен не более 40 %. Если в предшествующем финансовом году у страхователя произошел страховой несчастный случай со смертельным исходом, то скидка страхователю на очередной финансовый год не устанавливается.

Изложенная методика должна способствовать повышению активности застрахованных предприятий в работе по охране труда. Однако соответствующие расчеты зависят от уровня объективности учета происшедших несчастных случаев. Если учет неполный, несчастные случаи скрываются, то и расчеты по скидкам окажутся необъективными и профилактическая ценность подхода утрачивается.

Если же предприятие получило скидку по страховому тарифу, то это приводит к уменьшению сумм страховых взносов. Указанное уменьшение может быть больше затрат на проведение СОУТ и медосмотры работников, т. е. эти мероприятия становятся экономически выгодными. Соответствующее рассмотрение позволило получить следующую итоговую формулу для расчета экономической выгоды \mathcal{E} в расчете на один год

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= Y - \left(\frac{\text{СОУТ}}{5} N + \text{МО} \right) = \\ &= N \left[\frac{T}{100} a_1 \left(\frac{t}{100} + 0,2 \right) - \frac{\text{СОУТ}}{5} \right] - \text{МО}, \end{aligned} \quad (18)$$

где Y — уменьшение годового страхового взноса; $\text{СОУТ}/5$ — затраты на проведение СОУТ на

одном рабочем месте, отнесенные к одному году; МО — годовые затраты на медосмотры работников; N — число рабочих мест на предприятии; T — страховой тариф, изменяющийся в настоящее время от 0,2 до 8,5 %; a_1 — средняя годовая заработная плата всех работников, занятых на одном рабочем месте; t — скидка по страховому тарифу, которая не может превышать 40 %; 0,2 — коэффициент, который учитывает, что предприятие может до 20 % страховых взносов использовать для финансирования отдельных мероприятий по охране труда, к числу которых относится проведение СОУТ и медосмотров работников.

Рассмотрим следующий достаточно реальный пример. Предприятие не имеет несчастных случаев со смертельным исходом, полностью провело СОУТ и медосмотры работников, поэтому коэффициенты q_1 и q_2 в формулах (14), (15) и (16) равны единице. Примем следующие исходные данные: $N = 250$ рабочих мест; $T = 1,5$ %; $a_1 = 500\,000$ руб., $t = 30$ %; $\text{СОУТ}/5 = 360$ руб.; $\text{МО} = 600\,000$ руб. Получаем по формуле (18)

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= 250 \left[\frac{1,5}{100} 500\,000 \left(\frac{30}{100} + 0,2 \right) - 360 \right] - \\ &\quad - 600\,000 = 247\,500 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Рассмотрим ситуацию, при которой $t = 20$ %. Расчет по формуле (18) дает $\mathcal{E} = 60\,000$ руб.

Из формулы (18) следует, что экономическая выгодность рассматриваемых мероприятий имеет место, если в расчете на одно рабочее место (РМ) соблюдается условие

$$\frac{T}{100} a_1 \left(\frac{t}{100} + 0,2 \right) > \frac{\text{СОУТ}_{\text{РМ}}}{5} + \text{МО}_{\text{РМ}}, \quad (19)$$

где $\text{СОУТ}_{\text{РМ}}$ и $\text{МО}_{\text{РМ}}$ — затраты на проведение специальной оценки условий труда и медосмотры работников, относящиеся к одному рабочему месту.

Следует также иметь в виду, что СОУТ и медосмотры работников являются обязательными мероприятиями, игнорирование которых может быть основанием для наложения административных штрафов.

Важно отметить, что приведенные выше расчеты не учитывают тот факт, что СОУТ должна рассматриваться как одна из основ для разработки мероприятий по улучшению условий труда, а проведение медосмотров позволяет выявить отклонения в состоянии здоровья работников на ранней стадии их развития и принять необходимые профилактические меры.

Рассмотренные экономические подходы в управлении охраной труда имеют важное практическое значение, способствуют повышению

активности предприятий в проведении различных предупредительно-профилактических мероприятий, направленных на улучшение условий труда, снижение уровней профессиональных рисков.

Список литературы

1. **Форд Генри.** Моя жизнь, мои достижения. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 206 с.
2. **Типовое положение** о системе управления охраной труда. Утв. Минтруда России приказом от 19 августа 2016 г. № 438н.

3. **Количественная оценка** тяжести труда. Межотраслевые методические рекомендации. — М.: Экономика, 1988. — 120 с.
4. **Макушин В. Г.** Совершенствование условий на промышленных предприятиях. — М.: Экономика, 1981. — 216 с.
5. **Минько В. М.** Математическое моделирование в охране труда: Монография. — Калининград: Изд-во КГТУ, 2008. — 248 с.
6. **Минько В. М., Евдокимова Н. А., Титаренко И. Ж., Бакарягина А.** Формулы условий безопасности // Безопасность жизнедеятельности. — 2016. — № 8 — С. 3—8.
7. **Методика** расчета скидок и надбавок к страховым тарифам на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний. Утв. Приказом Минтруда России от 01.08.2012 г. № 39н (с изм. в приказе Минтруда России от 20.02.2014 г. № 103н).

V. M. Minko, Professor, Head of Chair, e-mail: mcotminko@mail.ru,
N. A. Evdokimova, Associate Professor, Associate Professor of Chair,
A. Bakaryagina, Postgraduate, Kaliningrad State Technical University

To Improve Economic Mechanisms Occupational Safety and Health Management

The interrelations between the possible increase in labor productivity and the general condition of working conditions at the enterprise, which is expressed through the dimensionless coefficient of working conditions and the indicator of occupational risk, are considered. For practical application, a nomogram was calculated to determine the increase in labor productivity, depending on the level of efficiency before and after the implementation of labor protection measures. The methodology for calculating the economic effect is presented, if taking into account the results of a special assessment of working conditions and organization of medical examinations, the enterprise receives a discount on the insurance tariff.

Keywords: labor productivity, working condition, occupational risk, economic effect

References

1. **Ford Henry.** My life, my achievements. Moscow: Finance and Statistics, 1989. 206 p.
2. **Model** provision on the OSH management system. Approved. Ministry of Labor of Russia by order of August 19, 2016, No. 438n.
3. **Quantitative assessment** of the severity of labor. Interindustry methodical recommendations. Moscow: Economics, 1988. 120 p.
4. **Makushin V. G.** Perfection of conditions at industrial enterprises. Moscow: Economics, 1981. 216 p.

5. **Minko V. M.** Mathematical modeling in labor protection. Monograph. Kaliningrad: Publishing house of the Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "KSTU", 2008. 248 p.
6. **Minko V. M., Evdokimova N. A., Titarenko I. Zh., Bakaryagina A.** Formulas of safety conditions. *Life Safety*. 2016. No. 8. P. 3—8.
7. **The methodology** for calculating discounts and surcharges to insurance rates for compulsory social insurance against accidents at work and occupational diseases. Approved. Order of the Ministry of Labor of Russia from 01.08.2012 No. 39n (with the amendment in the order of the Ministry of Labor of Russia of 20.02.2014 No. 103n).

УДК 628.54

О. А. Иванова, асс., **Б. С. Ксенофонтов**, д-р техн. наук, проф.,
М. В. Иванов, канд. техн. наук, доц., e-mail: mivanov@bmstu.ru,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Интенсификация процесса обеззараживания сточной воды методом виброакустического воздействия

*Рассмотрен один из способов интенсификации процесса обеззараживания воды методом виброакустического воздействия. Показана эффективность применения данного метода на дрожжах *Candida maltosa* и бактериях *Bacillus subtilis* в споровой фазе. Представлена опытно-промышленная установка для комбинированной виброакустической и ультрафиолетовой обработки сточной воды, а также показана методика ее расчета.*

Ключевые слова: обеззараживание, кавитация, вибрация, очистка воды, ультрафиолетовое обеззараживание, акустика, сточные воды, резонанс

Обзор способов обеззараживания воды

В современном мире весьма остро стоит вопрос, связанный с очисткой воды. Вода ненадлежащего качества может привести к различным заболеваниям: холера, дизентерия, гепатиты А и Е и т. д., которые могут привести к серьезным последствиям, вплоть до летального исхода.

В настоящее время существует три наиболее распространенных метода промышленного обеззараживания воды: облучение ультрафиолетом (УФ), озонирование и хлорирование. У каждого из них есть серьезные недостатки. Основным недостатком озонирования является токсичность озона. Хлорирование опасно развитием кожных и онкологических заболеваний. При обработке воды ультрафиолетовыми лампами, содержащими ртуть, следует учитывать, что при утилизации ртутных отходов ядовитые вещества не уничтожаются, а цементируются и захораниваются в землю.

Существует множество менее распространенных методов, например, обеззараживание импульсным током, плазменно-каталитический и другие методы [1, 2]. Применяются способы, основанные на виброакустическом воздействии, среди которых известны обеззараживание ультразвуком и кавитацией [3].

Метод с использованием ультразвука используется в медицине, пищевой промышленности и т. д., но он избирателен по отношению к ряду организмов. Кавитационное обеззараживание менее распространено, хотя кавитация оказывает существенное влияние на обеззараживание воды [3, 4], вследствие чего данный метод

представляет интерес. Выделяют два типа кавитации: гидравлическая и акустическая. Принцип действия кавитации основан на мгновенном локальном нагреве, вызванном резким схлопыванием пузырьков. Недостатками являются конструктивная сложность и высокие энергозатраты.

В данном исследовании предложен способ обеззараживания сточной воды акустическим способом в звуковом частотном диапазоне на резонансных частотах.

Методы и материалы

Для проведения лабораторных испытаний была собрана установка, схема которой приведена на рис. 1.

На генераторе сигнала типа 9502 фирмы Vibration Research создается синусоидальный сигнал заданной частоты и уровня виброускорения.

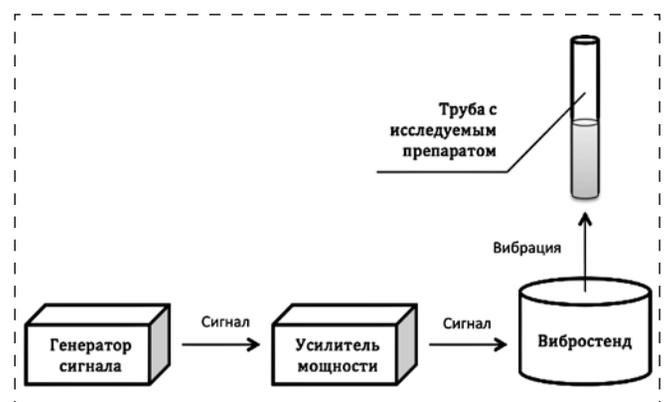


Рис. 1. Схема установки для обеззараживания сточной воды

Сигнал усиливается на усилителе мощности типа 2718 фирмы Брюль и Кьер и подается на вибростенд типа 4808 той же фирмы. На вибростенд устанавливается колонна (труба) с культуральной жидкостью для обеззараживания.

Исследуемым объектом является цилиндрическая колонна диаметром 60 мм, высотой 650 мм, которая крепится к столу вибростенда. Колонна наполняется культуральной жидкостью со штаммом микроорганизмов объемом 215 мл либо 430 мл.

Перед началом эксперимента был проведен анализ собственных (резонансных) частот сборки, состоящей из колонны, культуральной жидкости и расширительного стола. Для этого в установку (см. рис. 1) был дополнительно установлен акселерометр, который измерял действующее значение виброускорения и подавал сигнал отрицательной обратной связи на контроллер для управления заданным сигналом. Полученные результаты показаны на рис. 2.

В результате проведенного анализа были определены собственные частоты колебаний культуральной жидкости для разного объема наполнения колонны. Например, для объема 215 мл собственная частота колебаний культуральной жидкости составила 207 Гц, а для объема 430 мл — 142 Гц. При дальнейшем увеличении объема жидкости частота снижается.

В дальнейшем, при проведении аналогичных экспериментов в установке другой конфигурации в обязательном порядке проводилось определение резонансных частот сборки колонны, значения которых колебались в диапазоне частот от 100 до 200 Гц, так как они зависят от объема и состава налитой жидкости.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что необходимо проводить виброакустическую обработку очищаемой воды на

частоте, равной частоте очищаемой жидкости в данной установке.

Определение количества клеток микроорганизмов определялось высевом на плотные питательные среды, в частности на агар. В основе метода лежит принцип Коха, согласно которому каждая колония микроорганизмов является потомством одной клетки. Это позволяет на основе числа колоний, выросших после посева на плотную питательную среду определенного объема исследуемой суспензии, судить об исходном содержании в ней клеток микроорганизмов.

Для оценки эффективности применение метода виброакустического обеззараживания воды проводился контрольный посев исходной суспензии, содержащей микроорганизмы. Результаты посевов исходной и обработанной суспензий сравнивались между собой. В качестве критерия был взят коэффициент эффективности:

$$\gamma = \frac{N_1 - N_2}{N_1} 100 \%, \quad (1)$$

где N_1 — исходное число микроорганизмов; N_2 — число выживших микроорганизмов после вибровоздействия.

Результаты экспериментов

Испытания на дрожжах вида *Candida maltosa*

В ходе исследования был проведен ряд экспериментов. Целью их было определить режимы и уровни, при которых виброакустическое воздействие было бы наибольшим.

В частности, были сравнены результаты исследований на разных частотах и подтверждено предположение, что наибольшая эффективность достигается на резонансных частотах столба культуральной жидкости (очищаемой воды) при

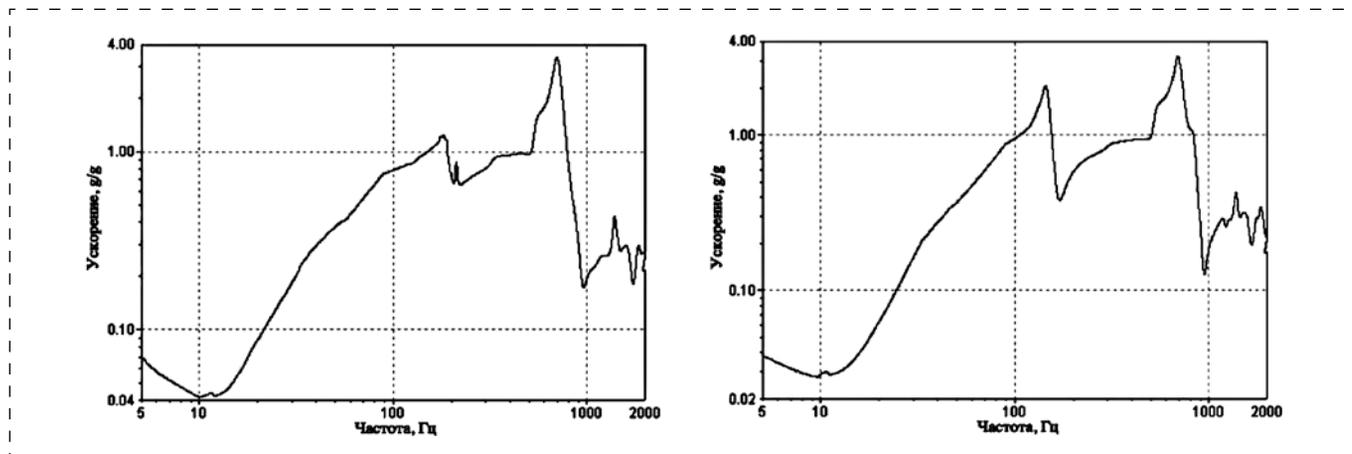


Рис. 2. Спектры собственных частот колебаний культуральной жидкости объемом 215 мл (слева) и 430 мл (справа)

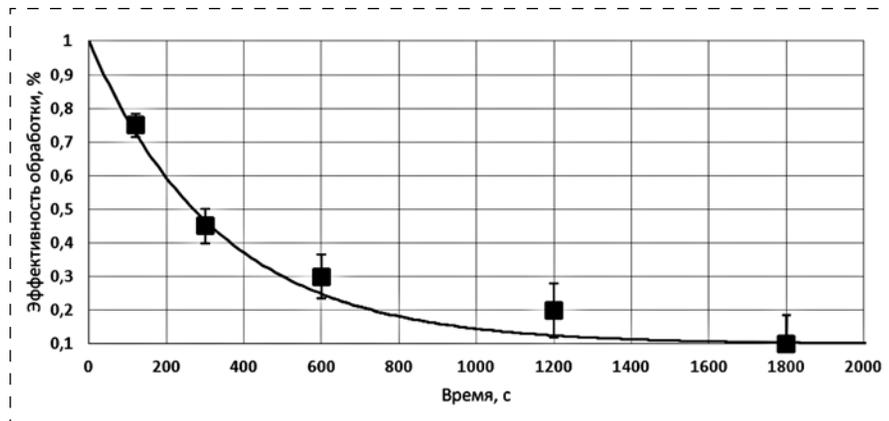


Рис. 3. Изменение эффективности виброакустической обработки культуральной жидкости с дрожжами *Candida maltosa*. Точками показаны измеренные значения, линией — осредненная кривая эффективности

уровне вибрации, при которой столб воды входит в режим резонанса.

В рамках каждого эксперимента проводилось пять отборов по истечении 2, 5, 10, 20 и 30 мин и определялась эффективность виброакустической обработки. На рис. 3 показано изменение эффективности обработки культуральной жидкости с дрожжами *Candida maltosa* на режиме, приведенном в табл. 1, который был определен как наиболее эффективный.

Таблица 1

Режим виброакустической обработки культуральной жидкости с дрожжами *Candida maltosa*

Длительность воздействия, мин	30
Частота вибрации, Гц	142
Уровень виброускорения, g	10
Исходная концентрация, шт/мл	$2 \cdot 10^6$
Итоговая концентрация, шт/мл	$2 \cdot 10^5$
Эффективность, %	90

Эксперимент повторялся последовательно 5 раз. В итоге были получены идентичные результаты. Таким образом, было установлено, что при виброакустической обработке культуральной жидкости, содержащей штаммы микроорганизмов *Candida maltosa*, продолжительностью 30 мин на частоте 142 Гц, которая характеризует собственную частоту данного столба жидкости, на уровне вибрации 10g было достигнуто снижение концентрации микроорганизмов на один порядок, в итоге эффективность метода составила 90 %.

Результаты посева исходной культуры и культуры, подвергшейся виброакустической обработке, показаны на рис. 4.

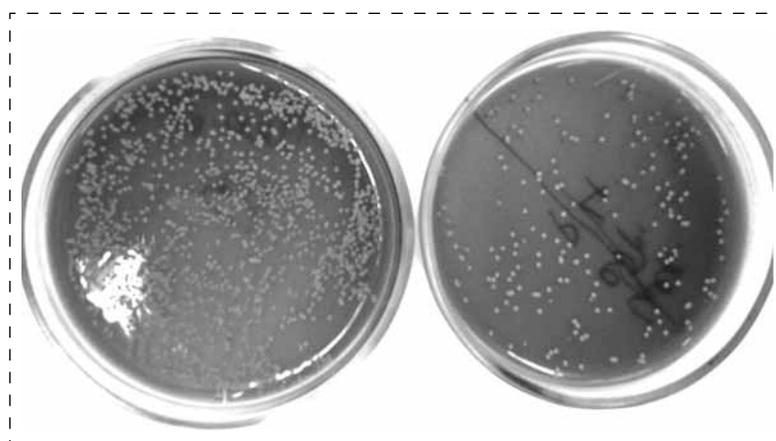


Рис. 4. Чашки Петри с исходной культурой микроорганизмов (слева) и культурой, подвергшейся виброакустической обработке (справа)

Длительность акустического воздействия выбиралась таким образом, чтобы при дальнейшем увеличении продолжительности обработки вдвое концентрация культуры микроорганизмов уменьшалась не более чем на 10 %.

Аппроксимация полученного результата может быть сделана на основе допущения, что виброакустическое воздействие носит экспоненциальный характер. Оно основывается на многочисленных аналогиях угнетающего эффекта на микроорганизмы других видов физических воздействий (ультразвукового, ультрафиолетового и пр.). В этом случае изменение

концентрации микроорганизмов будет определяться по формуле

$$C = C_{\text{п}} e^{-\sigma_V a t} + C_{\text{в}}, \quad (2)$$

где C — текущая концентрация микроорганизмов; $C_{\text{п}}$ — максимально возможное число погибших микроорганизмов при воздействии данного виброакустического воздействия; $C_{\text{в}}$ — концентрация устойчивых к данному воздействию микроорганизмов; σ_V — константа, характеризующая значение устойчивости данного вида микроорганизма к виброакустическим воздействиям; a — виброускорение; t — время.

Аппроксимация полученных в ходе эксперимента значений концентрации микроорганизмов согласно формуле (2) позволяет определить значение константы, характеризующей значение устойчивости дрожжей *Candida maltosa* к виброакустическим воздействиям, которая составила 3 с/мм.

Испытания на бактериях *Bacillus subtilis* в споровой фазе

Бактерии *Bacillus subtilis* в споровой фазе были выбраны как наиболее устойчивые микроорганизмы [5]. Согласно методу, описанному выше, были проведены испытания и определен оптимальный режим виброакустического воздействия. Объем культуральной жидкости в колонне был меньше, чем в предыдущей серии опытов, поэтому резонансная частота колонны с водой составляла 207,5 Гц. Уровень виброускорения, достаточный для возникновения резонансных эффектов, составлял 6g.

В ходе исследований был проведен ряд экспериментов. Целью их было определить режимы и уровни, при которых виброакустическое воздействие было бы наибольшим, но уже на бактерии в споровой фазе.

В рамках каждого эксперимента проводилось семь отборов по истечении 2, 5, 10, 20, 30, 45 и 60 мин и определялась эффективность виброакустической обработки. На рис. 5 показано изменение эффективности обработки культуральной жидкости с бактериями *Bacillus subtilis* в споровой фазе на режиме, приведенном в табл. 2, который был определен как наиболее эффективный. Эксперимент показал, что данный метод эффективен и в отношении наиболее устойчивых микроорганизмов. Эффективность достигает 50 %.

Длительность воздействия выбиралась таким образом, чтобы при дальнейшем увеличении продолжительности виброакустической обработки вдвое концентрация культуры микроорганизмов уменьшалась не более чем на 10 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование виброакустической обработки для обеззараживания воды эффективно. При этом необходимо подбирать режимы виброакустического

Режим виброакустической обработки бактерий *Bacillus subtilis* в споровой фазе

Длительность воздействия, мин	60
Частота вибрации, Гц	207,5
Уровень виброускорения, g	6
Исходная концентрация, шт/мл	$1,1 \cdot 10^8$
Итоговая концентрация, шт/мл	$0,54 \cdot 10^8$
Эффективность, %	51

воздействия таким образом, чтобы достичь резонанса столба очищаемой жидкости.

Аппроксимация полученных в ходе эксперимента значений согласно формуле (2) позволяет определить значение константы, характеризующей значение устойчивости бактерий *Bacillus subtilis* в споровой фазе к виброакустическим воздействиям, которая составляет 0,25 с/мм.

Опытно-промышленная установка для обеззараживания сточной воды

Наиболее оптимальным считается комплексное воздействие на очищаемую воду, состоящее из комбинации нескольких факторов. На основании этого была спроектирована опытно-промышленная установка для виброакустического обеззараживания воды, представленная на рис. 6.

Исходная загрязненная вода подается в патрубок 10 и при необходимости смешивается с реагентами для коррекции pH исходной воды, после чего она поступает в дезинфицирующую колонну 4, в которой установлена УФ-лампа 5 для дополнительной ультрафиолетовой обработки воды. В колонне очищаемая вода закручивается вокруг УФ-лампы по спирали шнека, в результате чего увеличивается время нахождения воды в зоне виброакустической и УФ-обработки. Пройдя по

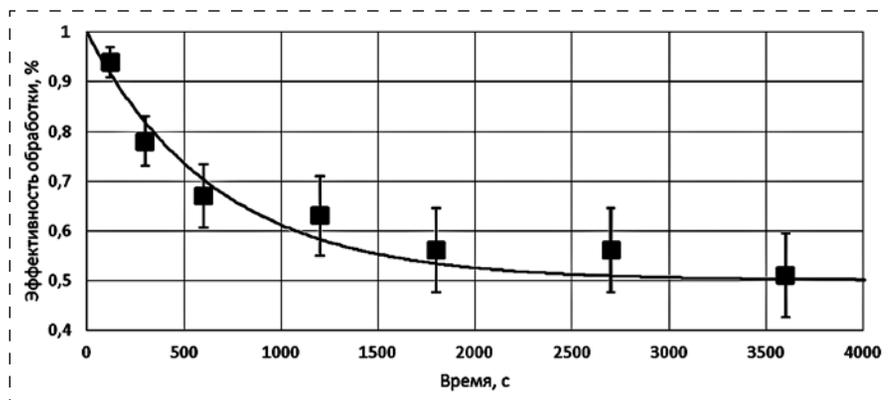


Рис. 5. Изменение эффективности виброакустической обработки культуральной жидкости с бактериями *Bacillus subtilis* в споровой фазе. Точками показаны измеренные значения, линией — осредненная кривая эффективности

всей спирали, очищенная вода (ОВ) подается на патрубок отвода воды 2. Дезинфицирующая колонна целиком, в сборе, совершает возвратно-поступательные колебания, двигаясь в направляющих роликах 1. Вибровозмущение передается на колонну от виброгенератора 7 через кривошипно-шатунный механизм 8. Колонна соединяется с корпусом виброгенератора через вибропоршень 9. Вибрация генерируется за счет привода электродвигателем 6 кривошипно-шатунного механизма 8. При этом может осуществляться регулирование

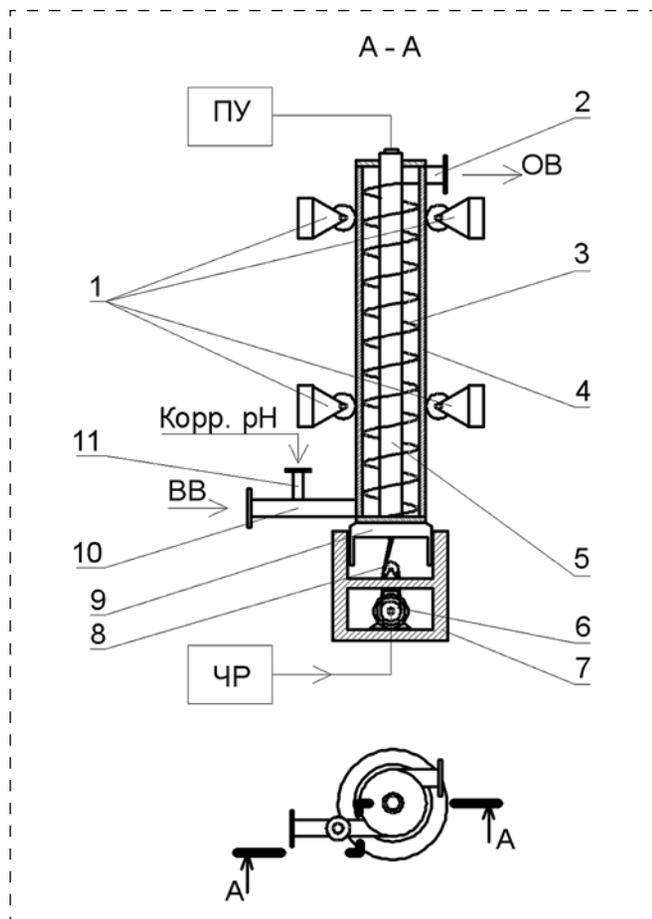


Рис. 6. Опытно-промышленная установка для виброакустического и ультрафиолетового обеззараживания сточной воды:
 1 — направляющие ролики; 2 — патрубок отвода очищенной воды (ОВ); 3 — шнек для направления потока воды; 4 — корпус дезинфицирующей колонны; 5 — сборка с ультрафиолетовой лампой; 6 — электродвигатель; 7 — корпус виброгенератора; 8 — кривошипно-шатунный механизм; 9 — вибропоршень, 10 — патрубок подачи исходной воды (ВВ); 11 — патрубок ввода реагентов для коррекции pH

частоты колебаний путем изменения частоты напряжения питания электродвигателя с помощью частотного регулятора напряжения питания (ЧР). Амплитуда колебаний может изменяться установкой шатунов разной длины. Функционирование УФ-лампы регулируется за счет панели управления (ПУ).

Методика расчета установки для обеззараживания сточной воды методом виброакустического и ультрафиолетового воздействия

Методика расчета установки для обеззараживания сточной воды методом виброакустического и ультрафиолетового воздействия основывается на расчетной схеме, показанной ниже. Расчет

установки для обеззараживания сточной воды методом виброакустического и ультрафиолетового воздействия осуществляется в следующей последовательности:

1. Ввод исходных данных для расчета: требуемая эффективность обработки; коэффициент запаса; нормированная доза УФ-облученности (тип бактерицидной лампы, время обработки воды); начальная концентрация микроорганизмов в воде.
2. Определение ожидаемого числа выживших микроорганизмов.
3. Определение допустимой толщины слоя микроорганизмов для обеззараживания сточной воды.
4. Определение допустимой производительности колонны.
5. Определение внутреннего диаметра внешнего корпуса колонны.
6. Определение основной резонансной частоты и виброускорения методом модального анализа сборки колонны.
7. Определение константы чувствительности к виброакустическому воздействию на основе содержащихся в воде микроорганизмов.
8. Определение дозы виброакустической экспозиции.
9. Определение дозы УФ-облучения.

В результате расчета получают действующие дозы УФ-облучения и виброакустической экспозиции, режимы УФ- и виброакустической обработки, геометрические параметры колонны для обеззараживания сточной воды и требуемую эффективность дезинфекции.

Выводы

В данном исследовании была доказана возможность эффективного применения обеззараживания воды методом виброакустического воздействия. Показано, что наиболее эффективно обеззараживание воды происходит на частотах собственных колебаний столба жидкости. При этом эффективность обеззараживания методом виброакустической обработки культуральной жидкости с дрожжами составляет около 90 %, а с бактериями в споровой фазе — около 50 %.

Приведена методика расчета установки для обеззараживания воды комбинированным методом виброакустической и ультрафиолетовой обработки обработки.

Список литературы

1. Квиткова Е. Ю. Плазменно-каталитическая очистка водных растворов от фенолов: дисс. канд. хим. наук. — Иваново, 2006.

2. **Филатов А. П.** Обоснование способа и параметров установки для обеззараживания воды импульсным током: автореф. дис. канд. техн. наук. — Зерноград, 2007.
3. **Дубровская О. Г.** Технология гидротермодинамической обработки природных и сточных вод с использованием эффектов кавитации: автореф. дис. канд. техн. наук. — Красноярск, 2007.
4. **Jyoti K. K., Pandit A. B.** Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation // *Biochemical Engineering Journal*. — 2001. — Vol. 7, Issue 3. — P. 201–212.
5. **Практикум по микробиологии:** Учеб. пособие / А. И. Нетрусов, М. А. Егорова, Л. М. Захарчук и др.; Под ред. А. И. Нетрусова. — М.: Издательский центр "Академия", 2005.

O. A. Ivanova, Assistant, **B. S. Ksenofontov**, Professor, **M. V. Ivanov**, Associate Professor, e-mail: mivanov@bmstu.ru, Bauman Moscow State Technical University

Waste Water Disinfection Vibroacoustical Intensification

*The present paper describes a novel approach in waste water disinfection, which is based on the intensive vibration of the treated water. The vibration was performed at frequencies and accelerations relevant for the resonant frequencies of the water column. The experiments were taken using yeast *Candida maltosa* and bacteria *Bacillus subtilis* (spores). The efficiency of disinfection of the suggested approach has reached up to 90 % for yeast and 50 % for bacteria. However, it was shown that the best results may be achieved with a combination of various physical effects. So, a method and an industrial plant was suggested to combine the effects of vibration on water and ultra-violet (UV) radiation. A methodology for design of the suggested combined Vibro- and UV-waste water disinfection plant has been provided.*

Keywords: disinfection, cavitation, vibration, waste water treatment, ultra-violet disinfection, acoustics, resonance, waste water

References

1. **Kvitkova E. Yu.** Plasmenna-katalyticheskaya oчитка vodnykh rastvorov ot fenolov (Plasma-catalytic water slutions treatment from fenols). Cand. Chem. Scienc. thesis. Ivanovo, Russia, 2006.
2. **Filatov A. P.** Obosnovanie sposoba i parametrov ustanovki dlya obezarazhivania vody impulsnim tokom (Approval of a method and a plant for water disinfection with an impulse current). Cand. Eng. Scienc. thesis. Zernograd, Russia, 2007.
3. **Dubrovskaya O. G.** Technologiya hidrotomodinamicheskoy obrabotki stochnikh vod s ispolzovaniem effectov kavitazii (Hydro-thermo- dynamic natural and waste water treatment technology with the use of cavitation effects) Cand. Eng. Scienc. thesis. Krasnoyarsk, Russia, 2007.
4. **Jyoti K. K., Pandit A. B.** Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation. *Biochemical Engineering Journal*. 2001. Vol. 7, Issue 3. — P. 201–212.
5. **Практикум по микробиологии (Microbiology Practicum):** Ucheb. posobie (Study book for students of higher institutions) / A. I. Netrusov, M. A. Egorova, L. M. Zakharchuk, et al.; Pod Red. A. I. Netrusova. Moscow, Publishing house "Academia", 2005.

Информация

Международная выставочная компания ITE Uzbekistan

организует выставку

"Securika/CAIPS 2017",

которая состоится в Узэкспоцентре г. Ташкента в период с 15 по 17 ноября 2017 г.

Международная выставка Securika/CAIPS — единственная в Узбекистане выставка технических средств охраны и оборудования для обеспечения безопасности и противопожарной защиты.

Контакты:

lola_z@ite-uzbekistan.uz / aziza.alimova@ite-uzbekistan.uz

Tel: + 998 71 205 18 18

В. В. Кирсанов, д-р техн. наук, проф. кафедры, e-mail: vvkirsanov@gmail.com, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ

Методика определения параметров высоконагружаемого биофильтра с рециркуляцией и искусственной аэрацией для очистки сточных вод с изменяющейся нагрузкой

Рассмотрены характеристика биофильтра и методика расчета параметров биофильтра, рекомендованная строительными нормами и правилами и другими литературными источниками.

Предложена методика расчета параметров биофильтра, основанная на применении более оперативного показателя ХПК (по сравнению с БПК₅) и, кроме того, учитывающая неравномерность нагрузок по загрязняющим веществам в исходных сточных водах, характерную для большинства производственных сточных вод.

Ключевые слова: биофильтр, устройство, нагрузка, рециркуляция, биоокисление, загрязнения, микроорганизмы, расход, параметры, оросители, коэффициент, воздух, вентиляция, гидравлическая высота, материал

Биологический фильтр (биофильтр) — устройство, в котором реализуется одновременно два процесса — *фильтрационный* — фильтрование через крупнозернистый материал и *биотехнологический* — биоокисление загрязнений микроорганизмами, закрепленными на поверхности загрузкиочного материала [4].

Биофильтр состоит из следующих основных устройств (узлов), обеспечивающих заданное функциональное назначение биофильтров — см. рисунок:

- 1) фильтрующей загрузки, которой может служить щебень, керамзит, гравий, керамика и пр.;
- 2) оросителя — водораспределительного устройства, обеспечивающего равномерное и ламинарное распределение сточной воды (СВ) с максимальным обтеканием всей поверхности элементов загрузкиочного материала;
- 3) дренажного устройства для удаления профильтрованной воды и отмершей биопленки;
- 4) аэрационной системы, с помощью которой в биофильтр поступает воздух для биоокисления органических загрязняющих веществ (ЗВ). Воздух может поступать в тело биофильтра за счет естественной или искусственной вентиляции.

Методика расчета параметров биофильтров в действующих строительных нормах (СНиП 2.04.03—85) и соответствующих литературных источниках основана на стабильных нагрузках загрязняющих веществ в сточных водах, характерных для

бытовых (коммунальных) СВ [1, 3]. В предлагаемую методику вводится коэффициент равномерности нагрузок по ХПК ($k_p^{ХПК}$), учитывающий колебания нагрузок (особенностью практически всех производственных сточных вод является резкое изменение концентраций ЗВ во времени). Кроме того, в указанных методиках используется показатель БПК, время определения которого занимает 5 суток (БПК₅), что не позволяет результаты анализа использовать для оперативного регулирования работы биофильтра.

Далее приведен порядок расчета параметров биофильтров.

1. Для биофильтра с рециркуляцией очищенной сточной воды (см. рисунок) необходимо сначала определить допустимую величину концентрации загрязняющих веществ после смешивания исходной сточной воды и рециркулируемой воды $X_{ПК}^{CM}$, мгО₂/дм³:

$$X_{ПК}^{CM} = K_h X_{ПК}^{ВЫХ}, \quad (1)$$

где $X_{ПК}^{ВЫХ}$ — регламентное ХПК очищенной воды после биофильтра, мгО₂/дм³; K_h — коэффициент, величина которого зависит от рабочей высоты биофильтра H_p (см. рисунок) и средней температуры СВ на входе в биофильтр; коэффициент K_h определяется по табл. 1.

2. Далее определяется расход рециркулируемой воды $Q_{рец}$, м³/сут, по формуле

$$Q_{рец} = \left\{ \left[Q (X_{ПК}^{BX}_{cp} - X_{ПК}^{CM}) / \exp(k_p^{ХПК}) \right] \right\} / (X_{ПК}^{CM} - X_{ПК}^{ВЫХ}), \quad (2)$$

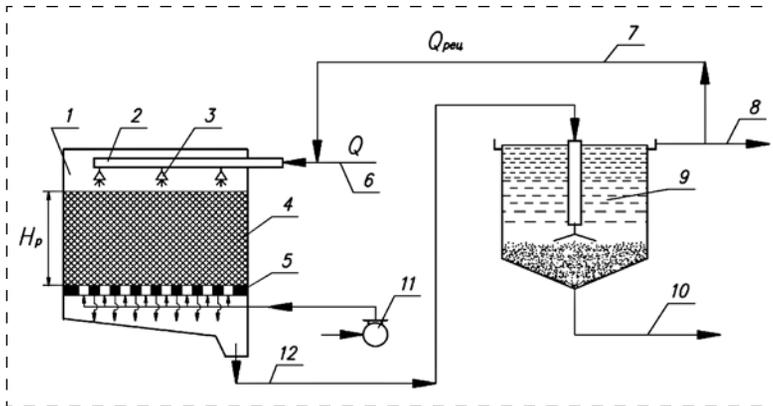


Схема высоконагружаемого биофильтра с рециркуляцией очищенной СВ и искусственной аэрацией:

1 — биофильтр; 2 — распределительный трубопровод исходной СВ; 3 — оросители (спринклеры); 4 — фильтрующая загрузка с рабочей высотой H_p ; 5 — решетка; 6 — исходная СВ с расходом Q ; 7 — рециркуляционный поток с расходом $Q_{\text{рец}}$; 8 — осветленная вода; 9 — вторичный отстойник; 10 — биопленка; 11 — турбовоздуходувка; 12 — очищенная СВ после биофильтра (вода + биопленка)

где Q — расход исходной СВ, м³/сут; $XPK_{\text{cp}}^{\text{BX}}$ — XPK среднее перед биофильтром; k_p^{XPK} — коэффициент равномерности нагрузок на биофильтр по XPK , вводимый для производственных сточных вод, характеризующихся периодическими колебаниями концентраций ЗВ в исходных СВ.

Среднее перед фильтром $XPK_{\text{cp}}^{\text{BX}}$ определяют как среднеарифметическое между максимальным $XPK_{\text{max}}^{\text{BX}}$ и минимальным $XPK_{\text{min}}^{\text{BX}}$ значениями XPK в разовых пробах на входе в биофильтр:

$$XPK_{\text{cp}}^{\text{BX}} = (XPK_{\text{max}}^{\text{BX}} + XPK_{\text{min}}^{\text{BX}}) / 2. \quad (3)$$

Коэффициент k_p^{XPK} определяют по следующей зависимости:

$$k_p^{XPK} = (XPK_{\text{max}}^{\text{BX}} + XPK_{\text{min}}^{\text{BX}}) / (XPK_{\text{max}}^{\text{BX}} - XPK_{\text{min}}^{\text{BX}}). \quad (4)$$

3. По найденной величине XPK средней перед биофильтром $XPK_{\text{cp}}^{\text{BX}}$ и XPK после биофильтра $XPK^{\text{ВЫХ}}$ определяют коэффициент рециркуляции:

$$K_{\text{рец}} = (XPK_{\text{cp}}^{\text{BX}} - XPK^{\text{CM}}) / (XPK^{\text{CM}} - XPK^{\text{ВЫХ}}). \quad (5)$$

4. Площадь биофильтра, м², определяют по формуле

$$F = [Q(K_{\text{рец}} + 1)XPK^{\text{CM}}] / N, \quad (6)$$

где N — максимальная допустимая нагрузка по XPK на 1 м² площади биофильтра в сутки, гО₂/м²·сут,

Таблица 1

Значение коэффициента K_h в зависимости от рабочей высоты биофильтра H_p и средней температуры СВ

Средняя температура СВ на входе в биофильтр, °С	Рабочая высота биофильтра H_p , м				
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Значение коэффициента K_h				
8...10	2,5	3,3	4,4	5,7	7,5
Более 10 до 14	3,3	4,4	5,7	7,5	9,6
Более 14 и выше	4,4	5,7	7,5	9,6	12

Таблица 2
Максимальная допустимая нагрузка по XPK

Температура окружающего воздуха, °С	До 3	Более 3 и до 6	Более 6
N , гО ₂ /м ² ·сут	1800	2400	3100

зависящая от температуры воздуха; принимается по табл. 2.

5. По заданной рабочей высоте H_p и найденной площади биофильтра F определяют объем загрузки, м³:

$$W = FH_p. \quad (7)$$

6. Гидравлическую нагрузку, м³/м²·сут, определяют по формуле:

$$q = N / XPK^{\text{CM}}. \quad (8)$$

Пример.

Определить технологические и геометрические параметры высоконагружаемого биофильтра с рециркуляцией и искусственной аэрацией для очистки сточных вод с изменяющейся нагрузкой при следующих данных: XPK исходной СВ: $XPK_{\text{max}}^{\text{BX}} = 910$ мгО₂/дм³; $XPK_{\text{min}}^{\text{BX}} = 200$ мгО₂/дм³; требуемая XPK на выходе $XPK^{\text{ВЫХ}} = 25$ мгО₂/дм³; расход $Q = 12\,000$ м³/сут; температура окружающего воздуха $t_{\text{окр.возд}}^0 = 5$ °С; рабочая высота фильтрующей загрузки $H_p = 4$ м.

1. Определяем допустимую величину концентрации загрязняющих веществ после смешивания исходной СВ и рециркулируемой воды (XPK_{CM}) по формуле (1)

$$XPK^{\text{CM}} = K_h XPK^{\text{ВЫХ}} = 9,6 \cdot 25 = 240 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3,$$

где $K_h = 9,6$ определено по табл. 1.

2. По формуле (3) определяем

$$\begin{aligned} XPK_{\text{cp}}^{\text{BX}} &= (XPK_{\text{max}}^{\text{BX}} + XPK_{\text{min}}^{\text{BX}}) / 2 = \\ &= (910 + 200) / 2 = 555 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3. \end{aligned}$$



3. По формуле (4) определяем коэффициент равномерности нагрузок:

$$k_p^{XPK} = (XPK_{\max}^{BX} + XPK_{\min}^{BX}) / (XPK_{\max}^{BX} - XPK_{\min}^{BX}) = (910 + 200) / (910 - 200) = 1,56.$$

4. По формуле (2) определяем расход рециркулируемой воды

$$Q_{\text{рец}} = \left\{ \left[Q (XPK_{\text{cp}}^{BX} - XPK^{CM}) / \exp(k_p^{XPK}) \right] \right\} / (XPK^{CM} - XPK^{BIX}) = \left\{ \left[12000 (555 - 240) / \exp 1,56 \right] \right\} / (240 - 15) = 3536 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

5. По формуле (5) определяем коэффициент рециркуляции

$$K_{\text{рец}} = (XPK_{\text{cp}}^{BX} - XPK^{CM}) / (XPK^{CM} - XPK^{BIX}) = (555 - 240) / (240 - 15) = 1,4.$$

6. По формуле (6) определяем площадь биофильтра

$$F = \left[Q (K_{\text{рец}} + 1) XPK^{CM} \right] / N = \left[12000 (1,4 + 1) 240 \right] / 2400 = 2880 \text{ м}^2,$$

где $N = 2400 \text{ гO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ для температуры окружающего воздуха 5°C принимается по табл. 2.

7. По заданной рабочей высоте H_p и найденной по формуле (7) площади биофильтра F определяем объем загрузки

$$W = FH_p = 2880 \cdot 4 = 11\,520 \text{ м}^3.$$

8. По формуле (8) определяем гидравлическую нагрузку

$$q = N / XPK^{CM} = 2400 / 240 = 10 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сут}.$$

На данном примере показана возможность практического применения предложенной методики для расчета параметров высоконагружаемого биофильтра с рециркуляцией, подтвержденная корректностью полученных значений параметров.

Список литературы

1. **СНиП 2.04.03—85** Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения.
2. **Хенце М., Армоес П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э.** Очистка сточных вод: пер. с англ. — М.: Мир, 2004. — 480 с.
3. **Воронов Ю. В., Яковлев С. В.** Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. — 704 с.
4. **Кирсанов В. В.** Биотехнологии в системах очистки сточных вод: Учебно-методическое пособие. — Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2016. — 148 с.
5. **Кирсанов В. В.** Современные технико-технологические методы защиты окружающей среды. Т. 1. Процессы и аппараты защиты гидросферы. — Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2013. — 496 с.

V. V. Kirsanov, Professor of Chair, e-mail: vvkirsanov@gmail.com, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI

Methodology for Determining the Parameters Highly Loaded Biofilter with Recirculation and Artificial Aeration for Sewage Treatment with Variable Loading

The article describes the biofilter and methods for calculating the biofilter parameters, recommended by building codes and rules and other literary sources.

A technique for calculating biofilter parameters based on the use of a more efficient COD indicator (in line with BOD5) is proposed, and, in addition, taking into account the uneven loads on pollutants in the initial wastewater, characteristic of most industrial wastewaters.

Keywords: biofilter, device, loading, recycling, biooxidation, pollution, microorganisms, consumption, parameters, sprinklers, coefficient, air, ventilation, hydraulic height, material

References

1. **СНиП 2.04.03—85** Stroitel'nye normy i pravila. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija.
2. **Hence M., Armoes P., Lja-Kur-Jansen J., Arvan Je.** Ochistka stochnyh vod: per.s angl. Moscow: Mir, 2004. 480 p.
3. **Voronov Ju. V., Jakovlev S. V.** Vodootvedenie i ochistka stochnyh vod/uchebnik dlja vuzov. Moscow: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2006. 704 p.
4. **Kirsanov V. V.** Biotehnologii v sistemah ochistki stochnyh vod: uchebno-metodicheskoe posobie. Kazan': Izdatel'stvo KNITU-KAI, 2016. 148 p.
5. **Kirsanov V. V.** Sovremennye tehniko-tehnologicheskie metody zashhity okruzhajushhej sredy. V.1. Processy i apparaty zashhity gidrosfery. Kazan': Izdatelstvo Kazanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2013. 496 p.

УДК 502/504

Н. Г. Кутлин, д-р биол. наук, проф., **Ю. Н. Кутлин**, канд. биол. наук, доц.,
А. Р. Талипова, магистрант, e-mail: talipova.lika@inbox.ru,
З. З. Кузнецова, магистрант, **Э. И. Камалова**, магистрант,
Бирский филиал Башкирского государственного университета

Мониторинг миграции тяжелых металлов методом биоиндикации

*Приведено обоснование применения метода биоиндикации как одного из важнейших аспектов охраны окружающей среды. Показаны экспериментальные данные о миграции тяжелых металлов в продуктах медоносной пчелы *Apis mellifera*. Рассмотрены данные исследования двух пасек, находящихся в разных экологических условиях, обоснованы выводы о том, что на пригородной пасеке загрязнение тяжелыми металлами выше, чем на удаленной. Приведены данные по миграции тяжелых металлов по схеме "почва—растение—пчела—мед".*

Ключевые слова: биоиндикация, мониторинг, тяжелые металлы, экология, медоносная пчела, донник желтый, медопродуктивность

Одним из основных направлений охраны окружающей среды (ОС) является качественная оценка влияния загрязнителей, которая позволяет получить параметры для характеристики последствий неблагоприятного влияния на здоровье населения, а также оценить эффективность мероприятий по охране ОС от загрязнения. Использование инструментальных физико-химических методов оценки состояния окружающей среды не всегда могут дать точные результаты. Для получения более достоверных результатов при определении экологического состояния территорий во многих случаях используются методы биоиндикации. Загрязняющие вещества чаще всего накапливаются вблизи своего источника: в воздухе, почве, воде, растениях и живых организмах.

Большинство вредных соединений способны аккумулироваться в человеческом организме, в его тканях, и, прежде всего, в костях [1]. Следует отметить, что основным источником загрязнения окружающей среды являются тяжелые металлы — ртуть, свинец, медь, цинк, кадмий [2]. Загрязнения последними происходят не только из атмосферы, но и посредством трофических связей от почвы через растения к пчелам. А выхлопные газы, образующиеся при работе двигателей внутреннего сгорания, также имеют в своем составе тяжелые металлы [3]. Поэтому, необходимо повсеместно проводить мониторинг окружающей

среды и продуктов питания на содержание в них поллютантов.

По удобству, доступности и чувствительности лучшими биологическими индикаторами являются насекомые, в частности, медоносные пчелы. Так как последние, во-первых, это один из самых коротких трофических путей (почва—растение—пчела—человек) и, во-вторых, пчелы наиболее остро и быстро реагируют на загрязнители: изменяется количество расплода, проявляются аномалии развития особей, сокращается медопродуктивность. По изменению физиологических показателей пчел, наличию в их организме и продуктах жизнедеятельности тяжелых металлов, соединений мышьяка, радионуклидов и других загрязнителей можно оценить экологическую обстановку в конкретной местности [4].

Объектом рассматриваемых исследований стали пчелы башкирской популяции среднерусской породы *Apis mellifera* и их продукты производства. Анализу по загрязненности тяжелыми металлами подвергались две пчелопасеки: на одной, расположенной в пригороде г. Янаула Республики Башкортостан, вблизи оживленной автодороги (200 м от шоссе федерального значения Янаул—Нефтекамск), изучались опытные пчелосемьи, на другой — контрольные — в лесном массиве и в удалении от города Янаула на 48 км, от автотрассы на 12 км. В 2014 г. вблизи контрольной и опытной пчелопасек (на расстоянии 200...250 м), была



Содержание тяжелых металлов в почве, нектаре, телах рабочих пчел и меде, мг/кг

Образцы	Свинец		Цинк		Кадмий		Медь	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
Почва (M ± m)	30,80 ± 0,26	21,55 ± 0,25	12,30 ± 0,25	12,06 ± 0,19	0,59 ± 0,20	0,40 ± 0,25	2,75 ± 0,20	2,17 ± 0,25
Нектар (M ± m)	2,25 ± 0,34	1,78 ± 0,35	0,02 ± 0,30	0,01 ± 0,35	0,09 ± 0,33	0,07 ± 0,36	0,60 ± 0,35	0,45 ± 0,38
Тело рабочих пчел (M ± m)	1,39 ± 0,25	0,41 ± 0,25	0,02 ± 0,20	0,01 ± 0,20	0,06 ± 0,28	0,04 ± 0,25	0,22 ± 0,30	0,20 ± 0,25
Мед (M ± m)	0,22 ± 0,28	0,18 ± 0,30	0,01 ± 0,20	0,01 ± 0,20	0,04 ± 0,18	0,03 ± 0,25	0,18 ± 0,25	0,12 ± 0,25

посеяна медоносная культура донник желтый. Пробы почвы с этих площадок отбирали методом конверта с каждой исследуемой площадки. Определение тяжелых металлов проводили атомно-абсорбционным методом с помощью анализатора ААС-30.

Учитывая, что в исследовании рассматривалась трофическая цепь "почва—растение—пчела—мед", были изучены тела рабочих пчел и мед на наличие тяжелых металлов.

Данные исследования были проведены с помощью атомно-абсорбционного метода определения токсичных элементов. Сравнительные результаты концентраций тяжелых металлов в опытной и контрольной группах пчел представлены в таблице.

Миграция тяжелых металлов от нектара к меду снижается за счет того, что тела рабочих пчел выступают в качестве "фильтратов", они способны удержать до 60 % токсичных элементов. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что свинец действительно мигрирует из почвы (30,80 мг/кг), в нектар (2,25 мг/кг), в организмы рабочих пчел (1,39 мг/кг) и остаточен присутствует в меде 0,22 мг/кг. Таким образом, в меде опытной группы относительно высокие остаточные следы свинца обусловлены близостью оживленной автомагистрали.

Установлено, что в разных экологических зонах Янаульского района накопление токсичных веществ зависит от удаленности пасеки от их источников загрязнения. Концентрация тяжелых металлов в почве исследуемых пасек оказалась в несколько раз больше, чем в последующих элементах трофической цепи "почва—растение—пчела—мед".

Проведенные исследования наглядно подтвердили, что тяжелые металлы мигрируют в продукты пчеловодства, а количество загрязняющих веществ в них обусловлено прежде всего состоянием

окружающей среды в местах расположения пасек. Так, в почве опытной группы концентрация свинца составила 30,80 мг/кг (не превышает ПДК), переход этого металла в мед составил 1 % (0,22 мг/кг). Исходя из требований СанПин 2.3.2.1078—01 [5] содержание в продуктах питания свинца не должно быть выше 1 мг/кг, по данным таблицы в меде опытной группы концентрация свинца составила 0,22 мг/кг, что находится в пределах нормы. Однако если бы содержание свинца в почве превышало показатель ПДК тяжелых металлов в почве хотя бы в 2 раза, то в меде, предположительно, его концентрация могла составить 1,34 мг/кг, что нарушает требования СанПина 2.3.2.1078—01 и представляет опасность для здоровья человека.

В организме рабочих пчел тяжелые металлы аккумулируются и снижают продолжительность их жизни. Тот же опасный для здоровья человека аккумулирующий эффект возможен при продолжительном употреблении меда.

За последние годы во всем мире ужесточаются требования государственных нормативных документов к качеству продуктов пчеловодства, в том числе к их экологической чистоте и безопасности. В связи с этим актуальной проблемой остается совершенствование методов определения экологического состояния окружающей среды.

Данные исследования могут служить основой для дальнейших научных исследований в области биоиндикации и биомониторинга экологических систем.

Список литературы

1. Бушуев Н. Н. Тяжелые металлы в промышленном производстве и их влияние на здоровье человека // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. — 2011. — № 1. — С. 115—118.
2. Ахмадуллин Р. М. Современное состояние промышленности в республике // Экономика Башкортостана. — 2005. — № 34. — С. 20—23.

3. **Ягин В. В., Гладышева О. С., Хомутов Д. А.** Влияние тяжелых металлов на пищевую мобилизацию пчел // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. — 2013. — № 6-1. — С. 130—134.
4. **Мониторинг** территорий очистных сооружений с использованием пчел // Научно-производственный журнал "ПЧЕ-

- ЛОВОДСТВО" 29.03.2015. URL:<http://beejournal.ru/priroda-nash-dom/2511-monitoring-territorij-ochistnykh-sooruzhenij-s-ispolzovaniem-pchel> (дата обращения 02.03.2017).
5. **СанПин 2.3.2.1078—01** "Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов".

N. G. Kutlin, Professor, **U. N. Kutlin**, Associate Professor,
A. R. Talipova, Undergraduate, e-mail: talipova.lika@inbox.ru,
Z. Z. Kuznetsova, Undergraduate, **E. I. Kamalova**, Undergraduate,
Birsk branch of Bashkir State University

Monitoring of Migration of Heavy Metals of Bio-Indication Method

*The substantiation of application of the method, bioindicator as one of the most important aspects of environmental protection. Are shown experimental data on the migration of heavy metals in the products of the honey bee *Apis mellifera*. Comparatively studied two apiaries located in different ecological conditions. It is proved that the suburban apiary, the presence of heavy metals is higher than on the remote. Studied the residual migration of heavy metals at scheme "soil-plant-bee-honey".*

Keywords: bioindication, biomonitoring, heavy metals, ecology, melliferous bee, yellow melilot, honey production

References

1. **Bushuev N. N.** Tyazhelye metally v promyshlennom proizvodstve i ih vliyanie na zdorov'e cheloveka. *Zdorov'e — osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ih resheniya*. 2011. No. 1. P. 115—118.
2. **Ahmadullin R. M.** Sovremennoe sostoyanie promyshlennosti v respublike. *Ekonomika Bashkortostana*. 2005. No. 34. P. 20—23.
3. **Yagin V. V., Gladysheva O. S., Homutov D. A.** Vliyanie tyazhelykh metal-lov na pishchevuyu mobilizatsiyu pchel.

- Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*. 2013. No. 6-1. P. 130—134.
4. **Monitoring** territorij ochistnykh sooruzhenij s ispol'zovaniem pchel. *Pchelovodstvo*. 29.03.2015. URL:<http://beejournal.ru/priroda-nash-dom/2511-monitoring-territorij-ochistnykh-sooruzhenij-s-ispolzovaniem-pchel> (date access 02.03.2017).
 5. **SanPin 2.3.2.1078—01** Gigenicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevykh produktov.

Информация

Начинается подписка на журнал "Безопасность жизнедеятельности" на первое полугодие 2018 г.

Оформить подписку можно через подписные агентства
или непосредственно в редакции журнала

Подписные индексы по каталогам:

Роспечать — 79963; Пресса России — 94032

Адрес редакции: 107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4,
Издательство "Новые технологии",
редакция журнала "Безопасность жизнедеятельности"

Тел.: (499) 269-53-97. Факс: (499) 269-55-10. E-mail: bjd@novtex.ru

УДК 656.257

Ю. Д. Моторыгин, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры,
А. К. Черных, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, **М. Г. Яшин**, канд. техн. наук, доц., докторант, e-mail: maik1771@rambler.ru, Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева, Санкт-Петербург, Петергоф

Об одном способе восстановления регулирования движения поездов в чрезвычайных ситуациях

Представлен способ восстановления регулирования движения поездов в целях ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Рассмотрены варианты применения системы интервального регулирования движения поездов со счетом осей подвижного состава для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, позволяющие в максимальной степени сократить сроки восстановления движения железнодорожного транспорта, сформулированы предложения по технической реализации предложенной системы. Полученные результаты могут найти практическую реализацию в органах управления, осуществляющих планирование ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, железнодорожный транспорт, ликвидация последствий чрезвычайной ситуации, восстановление движения поездов, перерывы движения поездов, регулирование движения поездов, система интервального регулирования движения поездов, система полуавтоматической блокировки, счет осей подвижного состава, варианты применения системы интервального регулирования движения поездов

Введение

Природное или техногенное явление становится чрезвычайной ситуацией только при взаимодействии с социальной сферой, в результате чего страдает население, наносится значительный материальный ущерб. При крупных чрезвычайных ситуациях гибнут люди, разрушается социальная, транспортная, промышленная и хозяйственная инфраструктура, населенные пункты.

Следует отметить, что число пострадавших в природных и техногенных катастрофах сравнимо с аналогичными показателями в крупных военных конфликтах. Так, за все четыре года Первой мировой войны от применения химического оружия пострадало около 1,3 млн человек, в то же время при аварии на химическом комбинате в Бхопале всего за один час отравление получили свыше полумиллиона человек [1]. Угроза аварий и техногенных катастроф в современном мире возрастает за счет масштабов возможного ущерба [2].

Экономическое развитие мировой системы в последние десятилетия сопровождается устойчивой тенденцией роста числа разрушительных для хозяйственных систем чрезвычайных ситуаций, наносимого ими экономического ущерба

и морального вреда населению. При этом темпы роста ущерба от природных и техногенных катастроф стали превышать темпы роста производства мирового валового продукта [3].

Резкое увеличение числа природных катаклизмов ученые объясняют, прежде всего, ростом влияния деятельности человека на окружающую среду, аномальными изменениями в биосфере и атмосфере, повышенной урбанизацией территорий. Немало трагических сюрпризов преподносит человечеству и природа, нанося непоправимый урон целым регионам, странам и даже континентам нашей планеты.

1. Современное состояние железнодорожного транспорта в России

Следует отметить, что железнодорожный транспорт играет исключительно важную роль в развитии экономики России, так как осуществляя перевозки грузов, он обеспечивает нормальное функционирование и развитие всех отраслей производства, регионов и предприятий. На долю железных дорог, не считая работы трубопроводного транспорта, приходится 81 % отечественного грузооборота и более 46 % пассажирооборота [4].

Поэтому исследование вопросов регулирования движения железнодорожного транспорта в чрезвычайных ситуациях имеет несомненную актуальность.

Железнодорожный транспорт — один из важнейших видов транспорта, наиболее пригодный и удобный, например, для осуществления широкомасштабной эвакуации населения, пострадавшего в чрезвычайной ситуации регионального масштаба, а также перевозки тяжелого и крупногабаритного спецоборудования, используемого для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Есть и другие преимущества, свойственные только железнодорожному транспорту: относительно небольшие финансовые затраты на перевозки, отлаженная система восстановления дорог, малая зависимость от погодных-климатических условий, сохранение относительной целостности и, следовательно, высокой готовности к выполнению задач, поставленных силовым структурам нашей страны.

Однако организация управления движением железнодорожного транспорта по сравнению с аналогичными процессами для автомобильного транспорта [5—9] имеет особенности, которые рассмотрены ниже.

Данные о перерывах движения поездов [4, 10] показали, что около 90 % общего количества таких перерывов составляют ситуации, возникающие при пропуске паводков. Полученные в результате обследования перерывов движения поездов данные дифференцированы по двум признакам: объекты, на которых возникают перерывы движения (в дальнейшем объекты) (табл. 1), и виды перерывов движения (табл. 2).

Анализ данных табл. 1 показывает, что более 85 % перерывов в движении поездов вызвано состоянием мостовых переходов, причем примерно 50 % перерывов вызывают малые мосты и трубы.

Анализ данных табл. 1 и 2 позволяет дать количественную оценку перерывов движения по видам объектов и причинам возникновения перерывов

Таблица 1

Соотношение перерывов движения поездов на объектах

	Распределение перерывов по объектам				
	Большие и средние мосты	Малые мосты и трубы	Земляное полотно		
			Сопряжение с большими и средними мостами	Сопряжение с малыми мостами	Собственно земляное полотно
Соотношение перерывов движения поездов, %	19	49	1,28	17,6	13,12
Итого	Мостовые переходы				Земляное полотно
	86,88				13,12

Таблица 2

Соотношение перерывов движения по видам

Объекты	Виды перерывов движения (ВПД)	Перерывы движения, %	
		По ВПД	Внутри ВПД
Мосты и трубы	1. Общий размыв:	5,4	100
	малые мосты и трубы		45
	большие и средние мосты	—	55
	2. Сосредоточенный размыв:	13,9	100
	малые мосты и трубы		15
	большие и средние мосты	—	85
	3. Прочие	3,2	—
Земляное полотно	4. Перелив из-за недостатков сопряжения:	55,3	100
	с малыми мостами и трубами	—	77
	с большими и средними мостами	—	5
	из-за недостатков собственно земляного полотна	—	18
	5. Подмыв	21,2	—
	6. Прочие	1	—
	Итого	100	—



в движении на этих объектах. Например, пере­рывы движения на больших и средних мостах составляют около 20 % перерывов движения воз­никающих на всех типах водопропускных соору­жений на железных дорогах. При этом 17 % пере­рывов движения на больших и средних мостах приходится на перерывы из-за общего размыва подмостовых сечений, 67 % — из-за сосре­доточенных размывов и 16 % — из-за переливов через насыпи сопряжения [10].

Согласно данным работы [10] около 90 % пере­рывов движения, связанных с малыми мостами и трубами, являются следствием переливов через насыпи сопряжения. Перелив возможен из-за не­достаточности отверстий водопропускных соору­жений на пропуск воды, а также из-за отложений в подкосах сооружений, что вызывает значитель­ный подпор перед объектами. Большие и средние мосты в редких случаях (примерно в 15 раз мень­ше, чем малые мосты и трубы) вызывают пере­ливы через земляное полотно, так как из-за срав­нительно небольшого стеснения значительного подпора перед большими и средними мостами не бывает. Кроме того, высота насыпи подходов на переходах через реки обычно определяется подмостовыми габаритами для категорий рек по судоходству и сплаву, а также конструктивной вы­сотой пролетных строений.

Перерывы движения от подмывов мостов и труб более редки, чем перерывы от пере­ливов через земляное полотно. Время пере­рывов движения, вызванных подмывом мостов и труб, в 2,6 раза меньше, чем время перерывов из-за перелива. Эти подмывы на 80 % относятся к большим и средним мостам и на 20 % к малым сооружениям [10].

С оперативной точки зрения исключительно важно правильно оценивать величину ущерба при закрытии перегона из-за возникновения пере­рывов движения на железнодорожных сооружениях. Этот ущерб, прежде всего, определяется средним временем (в сутках) одного случая пере­рыва движения, которое было получено в результате экс­периментальных наблюдений за 12-летний период обследования.

Это время составляет:

- земляное полотно — 0,94;
- переходы с малыми мостами и трубами — 0,85;
- переходы с большими и средними моста­ми — 2,85;
- в среднем по сети железных дорог — 0,28.

Прекращение движения поездов из-за возник­новения перерыва движения вызывает задержку поездов по обе стороны от объекта, на котором он произошел. С течением времени данная задержка,

подобно подпору, распространяется все дальше от места возникновения перерыва движения.

Суммарная задержка поездов при закрытии перегона зависит от размеров движения и пери­ода закрытия движения, а стоимость задержки, кроме того, от массы поезда. При значительных размерах движения в короткое время задержки распространяются на сотни километров, а ущерб от простоя поездов достигает огромных размеров.

Количество поездо-часов простоя возможно оценить по формуле

$$П = 1,9n_{\Phi}^{2,5} \left(\frac{t_0}{n_{\max}} \right)^2, \quad (1)$$

где n_{Φ} — фактическое число пар поездов в сутки; n_{\max} — пропускная способность линии (в парах поездов в сутки); t_0 — период закрытия пере­гона, ч.

Рассмотрим пример: имея следующие данные: $n_{\Phi} = 25$ пар поездов в сутки, $n_{\max} = 30$ пар по­ездов в сутки, $t_0 = 24$ ч, рассчитываем количе­ство поездо-часов простоя $П = 1,9 \cdot 25^{2,5} (24/30)^2 = 3800$ поездо-часов простоя. Следовательно, все­го будут простаивать примерно 158 (3800/24) по­ездов в сутки или по 79 поездов в каждую сторону от закрытого перегона.

Учитывая средние расстояния между разъезда­ми и станциями, можно полагать, что на каждые 10 км будут в среднем простаивать два поезда. Тогда перерыв в движении с каждой стороны от закрытого перегона распространится на 395 км = $10 \cdot 79/2$. Вполне естественно, часть поездов, при наличии возможности, пойдет по другим линиям, но тогда вместо простоя надо будет учитывать перепробег поездов.

Проведенный анализ условий функциониро­вания железных дорог в чрезвычайных ситуа­циях показал, что характерными особенностями их функционирования являются: сложность процесса планирования восстановления желез­нодорожных объектов, предусматривающего необходимость использования для этих целей математического моделирования [11], оценивая при этом эффективность разработанных мате­матических моделей [12], длительный характер восстановления последствий чрезвычайных си­туаций, значительный ущерб от простоя поездов, дефицит технических и материальных средств для оперативного восстановления железнодорожных объектов, пострадавших в результате чрезвычай­ной ситуации.

Это выдвигает повышенные требования к опе­ративности, надежности и живучести систем ин­тервального регулирования движения поездов (ИРДП), предназначенных для эксплуатации на

железных дорогах, а также к способности этих систем обеспечить выполнение ожидаемых размеров движения. Проведенные анализ и оценка эксплуатируемых систем ИРДП [13] позволяют отнести к наиболее целесообразной для эксплуатации на железных дорогах систему полуавтоматической блокировки (ПАБ).

Наименее живучими элементами предлагаемой системы ИРДП являются проводные каналы связи и рельсовые цепи. В связи с этим повышение живучести предложенной системы ИРДП на железных дорогах может быть достигнуто в результате применения альтернативных способов передачи приказов РДП и способов контроля наличия подвижного состава на участке пути. В частности, проводные каналы связи возможно заменить использованием радиосредств, а рельсовые цепи — счетчиками осей подвижного состава.

2. Структура системы интервального регулирования движения поездов

Рассмотрим структуру предлагаемой для восстановления движения поездов системы ИРДП — ПАБ.

Проведенные исследования показали, что в систему ПАБ входят:

устройства отправки блокировочных сигналов с одной станции на другую;

устройства управления и контроля выходными и входными светофорами;

устройства контроля занятия и освобождения поездом перегона;

устройства контроля прибытия поезда с перегона на станцию.

Кроме того, релейные устройства ПАБ размещают в релейных помещениях, а на межпостовом перегоне устраивают воздушную или кабельную линию связи. ПАБ состоит из устройств контроля наличия подвижного состава на перегоне — рельсовых цепей, устройств отправки—получения блокировочного сигнала, задания маршрута, открытия светофоров. Аппаратура ПАБ располагается в помещении дежурного по станции и в релейном помещении, а также в помещении проводных каналов связи между двумя станциями.

Относительно линейной части в системе ИРДП — ПАБ, исследования показали, что линейной частью в различных системах автоматики, телемеханики и связи (АТС) могут быть: проводные каналы, к ним относятся воздушные линии связи (ВЛС), кабельные линии связи (КЛС), а также радиоканалы, называемые в системах АТС, радиотелемеханическими каналами (РТК). Для выбора рациональной линейной части для передачи сигналов управления в системе ИРДП

в чрезвычайных ситуациях необходимо установить критерий, по которому она будет определяться. Оценку линейной части целесообразно производить по критерию живучести, поскольку живучесть — способность технического устройства, сооружения или средства выполнять основные свои функции, несмотря на полученные повреждения [14].

Как показал анализ, в местах разрушений верхнего строения пути и искусственных сооружений воздушные линии связи будут разрушены полностью. Кабельные линии связи в местах разрушений искусственных сооружений также будут разрушены, поскольку на железнодорожном транспорте кабельные линии связи в основном прокладываются непосредственно по искусственным сооружениям (по мостам, в тоннелях и т. д.).

Однако управляющие сигналы могут передаваться и по радиотелемеханическому каналу (РТК) АТС, использование которого возможно для различных систем ИРДП. Исследования показали, что живучесть данного РТК в чрезвычайных ситуациях составляет 95...98 %.

Рельсовые цепи (РЦ) как одна из составляющих системы ПАБ выполняют функции контроля прибытия поезда на станцию и контроля нахождения поезда на перегоне. Функции по контролю отправления поезда на перегон и прибытия его на станцию приема в полном объеме возложены на дежурных по стрелочному посту, вследствие чего падает пропускная способность станций, которая может быть выше, если заменить РЦ другими устройствами, т. е. предложить альтернативный способ контроля нахождения поезда на участке пути.

В этих целях, в качестве устройств контроля нахождения подвижного состава (ПС) на участке пути необходимо оборудование его путевыми датчиками счета осей подвижного состава. В настоящее время разработаны и находят свое применение путевые датчики, принцип работы которых основан на электромагнитной индукции. Они широко применяются в основном в горочной автоматической сигнализации. Применение уже эксплуатируемых путевых датчиков счета осей таких систем как: ПОНАБ — прибор обнаружения нагретых букс, ДИСК — дистанционная информационная система контроля подвижного состава, КТСМ — комплекс технических средств многофункциональный представляется неэффективным, поскольку функционирование данных устройств в чрезвычайных ситуациях должно иметь ряд особенностей, основной из которых можно назвать возможность реверсивного счета осей подвижного состава (ПС). Данная функция необходима, потому что в чрезвычайных

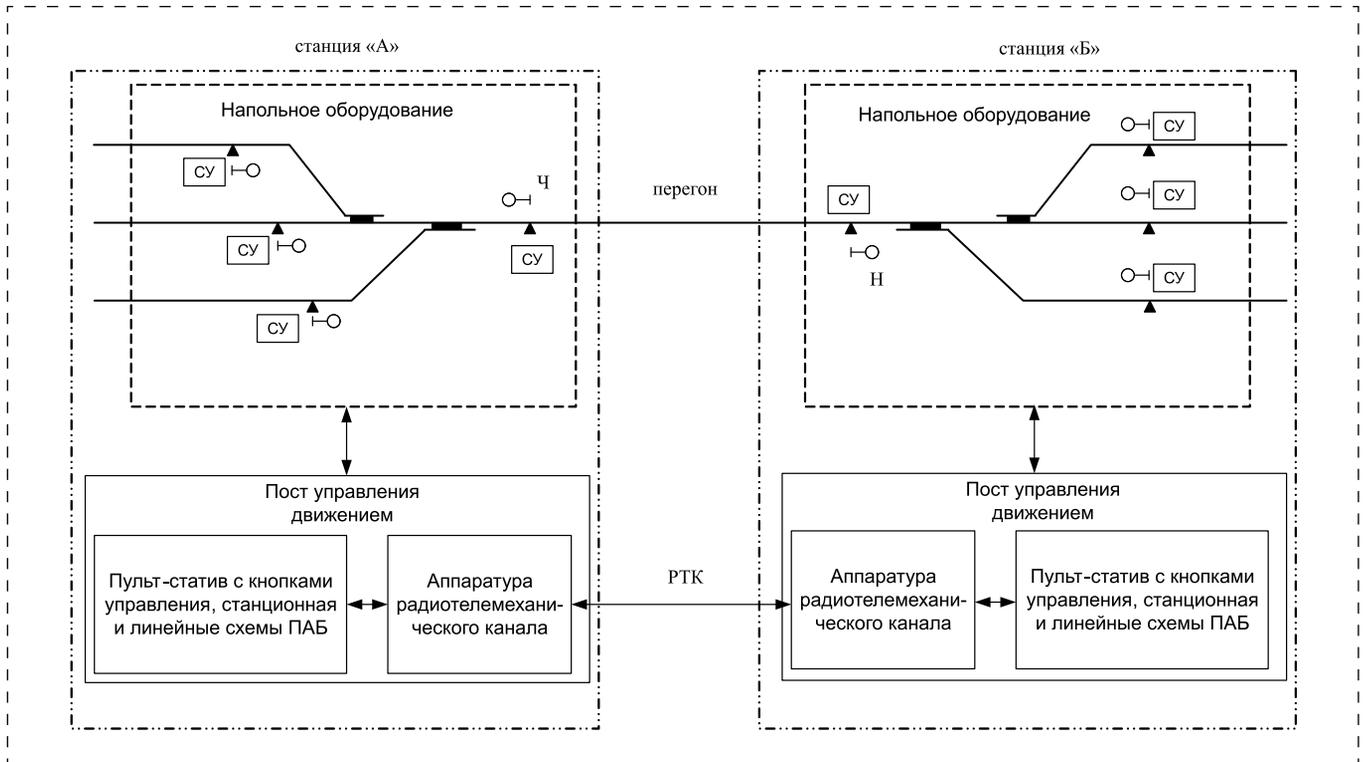


Рис. 1. Структурная схема системы ИРДП со счетом осей ПС и РТК:

- ▲ — рельсовые датчики счета осей, располагаемые непосредственно на рельсах на границах контролируемого участка пути;
- СУ — устройство счета осей подвижного состава;
- Ч, Н — светофоры (входные и выходные);
- Ч, Н — входные светофоры на станции (соответственно четный и нечетный);
- РТК — радиотелемеханический канал для передачи сигналов управления

ситуациях при возникновении препятствий движению поезда на перегоне, возможно его возвращение с межстанционного перегона и отправка на данный перегон специализированного поезда, либо других специализированных подвижных единиц для проведения восстановительных работ.

Структурная схема системы ИРДП со счетом осей ПС и РТК представлена на рис. 1.

3. Варианты применения системы интервального регулирования движения поездов со счетом осей подвижного состава на железных дорогах

Переходя к описанию практических рекомендаций, отметим, что предлагаемая автоматизированная система интервального регулирования движения поездов может применяться в различных вариантах. Основные из них показаны на рис. 2—4.

Первый вариант использования системы ИРДП со счетом осей (см. рис. 2) применим при ПАБ в качестве устройства контроля прибытия поезда в полном составе. Это позволяет автоматически формировать блок-сигнал прибытия поезда, а следовательно, сокращать станционные интервалы

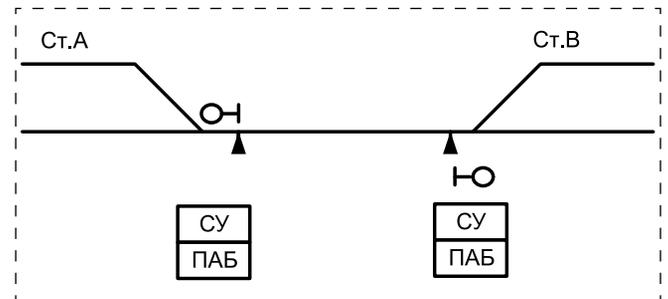


Рис. 2. Вариант применения системы ИРДП со счетом осей ПС при полуавтоматической блокировке

- Ст. А, Ст. В — станции А и В соответственно;
- ▲ — рельсовые датчики счета осей, располагаемые непосредственно на рельсах на границах контролируемого участка пути;
- Ч — светофоры (входные);
- СУ/ПАБ — счетное устройство полуавтоматической блокировки

поезда, что увеличивает пропускную способность станций.

Второй вариант — организация в рамках ИРДП со счетом осей автоматического блокпоста на перегоне (см. рис. 3), который используется в качестве контроля состояния участков между станциями, позволяет увеличить пропускную

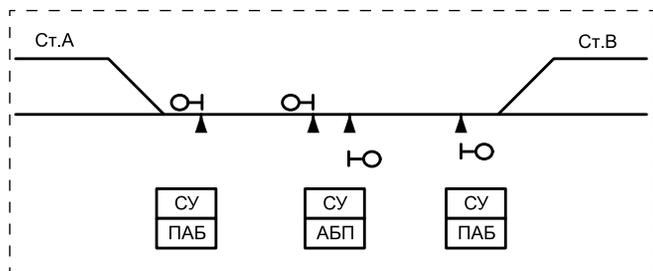


Рис. 3. Вариант применения системы ИРДП со счетом осей ПС при полуавтоматической блокировке и с автоматическим блокпостом на перегоне, для увеличения его пропускной способности:

ст. А, ст. В — станции А и В соответственно;
 ▲ — рельсовые датчики счета осей, располагаемые непосредственно на рельсах на границах контролируемого участка пути;
 ○ — светофоры;
 — счетное устройство полуавтоматической блокировки
 — счетное устройство автоматического блок-поста полуавтоматической блокировки

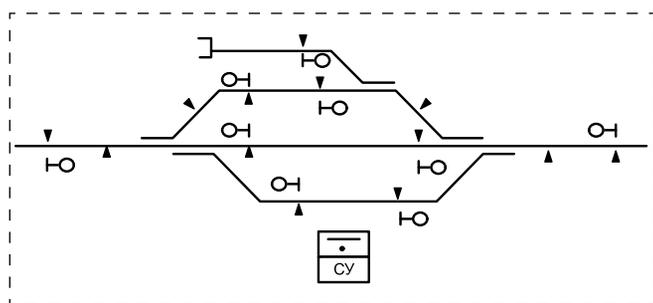


Рис. 4. Вариант применения системы ИРДП со счетом осей ПС на станции

▲ — рельсовые датчики счета осей, располагаемые непосредственно на рельсах на границах контролируемого участка пути;
 ○ — светофоры (станционные);
 — пост электрической централизации станции с расположенным на нем счетным устройством

способность перегонov. При наличии длинных перегонov (длина которых превышает 7 км) появляется возможность довести пропускную способность до требуемой, равной 18...20 пар поездов в сутки.

Третий вариант — использование предлагаемой системы ИРДП со счетом осей ПС на станции также возможно при восстановлении отдельных пунктов (разъездов, платформ, станций и т. д.) (см. рис. 4)).

Выводы

Применение системы интервального регулирования движения поездов со счетом осей подвижного состава позволит организовывать грузо-разгрузочные районы в местах ликвидации

чрезвычайных ситуаций, в которых отсутствуют какие-либо отдельные пункты (станции, платформы). В данном случае автоматизированный блокпост будет выступать в качестве отдельного пункта, а его оборудование будет работать как окончательное, что позволит руководить поездной обстановкой на участке между станцией и районом выгрузки.

Для увеличения мобильности предлагаемого автоматизированного блокпоста его оборудование необходимо разместить на базе автомобиля высокой проходимости (типа Урал) с комбинированным ходом (железнодорожный с автомобильным). Данный автомобиль должен быть оборудован аппаратурой автоматического блокпоста ПАБ и несколькими комплектами датчиков счета осей для организации его устойчивой работы.

Предлагаемую систему интервального регулирования движения поездов со счетом осей подвижного состава необходимо ввести в восстановительные поезда в качестве инвентарного устройства.

Список литературы

1. <http://industrial-disasters.ru/disasters/bhopal> (дата обращения 20.02.2017).
2. **Сычев Я. В.** Опасности техногенных катастроф современности // Технологии техносферной безопасности: электронный интернет-журнал. 2012. № 1 (41). URL.: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения 11.02.2017).
3. <http://mognovse.ru/kzu-yurij-karyakin.html> (дата обращения 20.02.2017).
4. **Низов А. С., Попов Д. И., Ложечников Г. А.** Организация восстановления железных дорог: учебник. — СПб.: ВАМТО, 2014. — 304 с.
5. **Малыгин И. Г., Трудов О. Г.** Метод директивной оптимизации в системах поддержки принятия решений в области пожарной безопасности железнодорожного транспорта // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2015. — № 4 (36). — С. 86—94.
6. **Нефедьев С. А.** Современные инструменты управления риском чрезвычайных ситуаций на транспорте // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25. — № 9. — С. 60—69. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.60-69.
7. **Цыганов В. В., Малыгин И. Г., Еналиев А. К., Савушкин С. А.** Большие транспортные системы: теория, методология, разработка и экспертиза: Монография. — СПб.: Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2016. — 216 с.
8. **Черных А. К., Вилков В. Б.** Управление безопасностью транспортных перевозок при организации материального обеспечения сил и средств МЧС России в условиях чрезвычайной ситуации // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25. — № 9. — С. 52—59. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59.
9. **Черных А. К., Скопцов А. А.** Концепция использования информационной системы при управлении ликвидацией последствий чрезвычайной ситуации на транспорте // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2015. — № 4. — С. 94—100.



10. Романов Н. Н., Ковалева Н. Г., Быстрова Т. А. Обеспечение надежности восстанавливаемых участков железных дорог. Отчет по НИР. — СПб.: ВТУ ЖДВ, 2006. — 117 с.
11. Маслаков М. Д., Черных А. К. Об оценке срока выполнения одного класса комплексных работ на связных множествах объектов на основе математического моделирования // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2014. — № 1 (29). С. 73—80.
12. Артамонов В. С., Черных А. К., Клыков П. Н. Подход к оценке эффективности систем управления организа-

- ционных системами, функционирующими в реальном масштабе времени // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2014. — № 4 (32).— С. 60—68.
13. Яшин М. Г., Пантелеев Р. А. Восстановление регулирования движения поездов по участкам железнодорожных направлений в условиях военных действий // Транспорт Урала. — 2016. — № 2 (49). — С. 99—104.
14. http://studme.org/1596122724531/menedzhment/otsenka_nadezhnosti_zhivuchesti_tehnicheskikh_sistem_uchetom_spetsifiki (дата обращения 20.02.2017).

Yu. D. Motorygin, Professor of Chair, **A. K. Chernykh**, Professor of Chair, Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, **M. G. Yashin**, Associate Professor, Doctoral Candidate, e-mail: maikl771@rambler.ru, General of the Army A. V. Khrulev Military Academy for Logistics, Saint-Petersburg

About one Method of Reconstitution of Regulation of the Railway Transport in Emergency Situations

The purpose of this paper is to develop a method for restoring a train collision avoidance traffic control in terms of emergency response. The method we offer for restoring a train collision avoidance traffic control on railways applies the method of rolling stock axle counting. Employing the proposed method will make it possible to minimize the time required for restoration of traffic control on railways. The paper also gives the analysis of possible damage to the transport infrastructure from the effects of different natural disasters. Based on the analysis of current engineering systems recommended for traffic restoration on railways, we identify their most vulnerable spots and propose advanced ways to avoid and replace them, which meet the requirements of reliability and survivability under various conditions of the evolving environment. The method we propose for restoration of an interrupted train traffic rests upon a rational composition and structure of the traffic control engineering system to be applied. The result of the study is practical recommendations how to implement the proposed engineering solutions to the best advantage. As a conclusion, we can note that these recommendations can be put to practical use in the transport control bodies.

Keywords: emergency situation, railway transport, emergency response, train traffic restoration, train traffic interruptions, control of available rolling stock, train traffic control, train collision avoidance traffic control, semi-automatic blocking system, rolling stock axel counting, application scenarios of the collision avoidance control system

References

1. <http://industrial-disasters.ru/disasters/bhopal> (date of access 20.02.2017).
2. Sychev Ya. V. Opasnosti tekhnogennykh katastrof sovremenosti. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti: elektronnyy internet-zhurnal*. 2012. No. 1 (41). URL.: <http://ipb.mos.ru/ttb> (date of access 11.02.2017).
3. <http://mognovse.ru/kzu-yurij-karyakin.html> (date of access 20.02.2017).
4. Nizov A. S., Popov D. I., Lozhechnikov G. A. Organizatsiya vosstanovleniya zheleznykh dorog: uchebnik. Saint-Petersburg: VAMTO, 2014. 304 p.
5. Malugin I. G., Trudov O. G. Metod direktivnoy optimizatsii v sistemah podderzhki prinyatiya resheniy v oblasti pozhar-noy bezopasnosti zheleznodorozhnogo transporta. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2015. No. 4 (36). P. 86—94.
6. Nefed'ev S. A. Sovremennye instrumenty upravleniya riskami chrezvychajnykh situatsiy na transporte. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2016. V. 25. No. 9. P. 60—69. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.60-69.
7. Cyganov V. V., Malugin I. G., Enaliev A. K., Savushkin S. A. Bol'shie transportnye sistemy: teoriya, metodologiya, razrabotka i ekspertiza: Monografiya. Saint-Petersburg: Institut problem transporta im. N. S. Solomenko RAN, 2016. 216 p.
8. Chernykh A. K., Vilkov V. B. Upravlenie bezopasnost'yu transportnykh perevozok pri organizatsii material'nogo obespecheniya sil i sredstv MCHS Rossii v usloviyakh chrezvychajnoy situatsii. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2016. V. 25. No. 9. P. 52—59. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59.
9. Chernykh A. K., Skopcov A. A. Konceptsiya ispol'zovaniya informatsionnoy sistemy pri upravlenii likvidatsii posledstviy chrezvychajnoy situatsii na transporte. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii*. 2015. No. 4. P. 94—100.
10. Romanov N. N., Kovaleva N. G., Bystrova T. A. Obespechenie nadezhnosti vosstanavlivaemykh uchastkov zheleznykh dorog. Otchet po NIR. Saint-Petersburg: VТУ ZHDV, 2006. 117 p.
11. Maslakov M. D., Chernykh A. K. Ob ocenke sroka vypolneniya odnogo klassa kompleksnykh rabot na svyaznykh mnozhestvakh ob'ektov na osnove matematicheskogo modelirovaniya. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2014. No. 1 (29). P. 73—80.
12. Artaimonov V. S., Chernykh A. K., Klykov P. N. Podhod k ocenke effektivnosti sistem upravleniya organizatsionnymi sistemami, funkcioniruyushchimi v real'nom mashtabe vremeni. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2014. No. 4 (32). P. 60—68.
13. Yashin M. G., Panteleev R. A. Vosstanovlenie regulirovaniya dvizheniya poezdov po uchastkam zheleznodorozhnykh napravleniy v usloviyakh voennykh dejstviy. *Transport Urala*. 2016. No. 2 (49). P. 99—104.
14. http://studme.org/1596122724531/menedzhment/otsenka_nadezhnosti_zhivuchesti_tehnicheskikh_sistem_uchetom_spetsifiki (date of access 20.02.2017).

УДК 614.841

С. С. Тимофеева, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, e-mail: timofeeva@istu.edu,
В. В. Гармышев, канд. техн. наук, докторант, Иркутский национальный
исследовательский технический университет

Современное состояние пожарной безопасности в Российской Федерации в показателях риска

Отмечено, что объектом исследования являются чрезвычайные ситуации, связанные с пожарами в Российской Федерации. Представлен анализ показателей последствий пожаров: по количеству, прямому ущербу, гибели и травмированию людей за 2000—2015 гг. На основании существующих методик приведены расчетные значения пожарных рисков: риск для человека столкнуться с пожаром, погибнуть, травмироваться при пожаре. Полученные значения пожарных рисков показывают, что уровень безопасности людей, проживающих на территории Российской Федерации, не соответствует требованиям пожарной безопасности.

Ключевые слова: Российская Федерация, последствия пожаров, пожарный риск, риск гибели и травмирования людей

Введение

Ускорение темпов и расширение масштабов производственной деятельности, урбанизация в современных условиях связаны с использованием энергонасыщенных технологий и опасных веществ. В результате возрастает потенциальная угроза для здоровья и жизни людей, окружающей среды, материальной базы производства [1]. Постоянно растет число техногенных аварий и катастроф, среди которых пожары занимают лидирующие позиции [2].

В Российской Федерации (РФ) ежегодно в среднем происходит 160 тыс. пожаров с ущербом более 13 млрд руб. На пожарах погибает около 11 тыс. и травмируется свыше 12 тыс. человек. Пожарами уничтожается и повреждается более 127 тыс. строений общей площадью более 6,5 млн м² [3—5].

Анализ работ [3—6] позволил сделать вывод, что в настоящее время в РФ наблюдается самый высокий в мире уровень риска гибели и травмирования людей на пожарах. За десять лет (2006—2015 гг.) риск гибели людей в среднем составил $94,8 \cdot 10^{-6}$ 1/чел. в год и травмирования — $88,4 \cdot 10^{-6}$ 1/чел. в год. Число погибших людей на пожарах в России по абсолютному значению на 1 млн человек и на 1 тыс. пожаров превышает такие показатели во многих развитых странах мира [7, 8].

Таким образом, проблема пожарной безопасности человека является насущной, важнейшей

потребностью современности, так как речь идет о благополучном разрешении кризисной ситуации, об обеспечении выживания цивилизации и создании условий для ее дальнейшего устойчивого развития.

Целью исследования является анализ и оценка пожарной безопасности в РФ на основе статистических данных социально-экономических последствий пожаров и основных показателей пожарных рисков.

Результаты исследований и их анализ

Состояние пожарной безопасности, являясь одной из основных составляющих, характеризующих безопасность жизнедеятельности, оказывает влияние на такой интегральный показатель, как уровень жизни в нашей стране.

На сегодня обстановка с пожарами в РФ остается напряженной. В представленной работе были проанализированы основные показатели последствий пожаров: по количеству, прямому ущербу, гибели и травмированию людей с учетом численности населения в РФ в период 2000—2015 гг. (табл. 1) [3—5].

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод, что несмотря на достигнутые с 2000 по 2015 г. успехи по сокращению числа пожаров в среднем в 1,6 раза и гибели людей в 2 раза, пожары в РФ продолжают наносить ущерб экономике страны, угрожая жизни и здоровью людей.

В настоящее время в России все большее внимание уделяется оценке пожарных рисков на



Таблица 1

Анализ основных показателей последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами в РФ за 2000—2015 гг. с учетом числа жителей

Год	Число пожаров, тыс. ед.	Прямой ущерб, млрд руб.	Число погибших при пожаре, тыс. чел.	Число травмированных при пожаре, тыс. чел.	Число жителей, млн чел.
В РФ					
2000	246,7	1,8	16,3	14,2	146,5
2001	246,3	4,5	18,3	14,2	145,3
2002	259,8	5,9	19,9	14,1	145,1
2003	239,2	4,1	19,2	14,0	146,6
2004	231,4	5,8	18,3	13,6	144,1
2005	226,9	6,7	18,1	13,1	143,5
2006	218,5	7,9	17,0	13,3	142,7
2007	211,1	8,5	15,9	13,6	142,9
2008	200,3	12,1	15,1	12,8	142,0
2009	187,2	10,7	13,8	13,1	141,9
2010	179,0	14,1	12,9	13,0	142,8
2011	168,2	16,8	11,9	12,4	142,8
2012	162,9	15,6	11,6	12,1	143,0
2013	152,9	13,2	10,5	11,1	143,3
2014	150,4	16,0	10,0	11,0	143,6
2015	145,6	18,8	9,3	10,9	146,2
В городах					
2000	153,4	1,0	8,5	10,0	107,1
2001	153,5	2,9	9,6	10,1	106,9
2002	161,4	3,6	10,4	9,8	106,5
2003	160,8	2,5	10,8	9,9	106,2
2004	155,2	3,9	10,5	9,7	105,8
2005	149,6	4,5	10,2	9,1	105,2
2006	142,8	5,2	9,6	9,5	104,9
2007	138,1	5,1	8,7	9,6	104,5
2008	129,2	8,1	8,4	8,7	104,6
2009	116,4	6,9	7,3	9,1	104,7
2010	109,5	6,8	6,7	8,9	105,3
2011	103,4	11,6	6,1	8,5	105,4
2012	99,0	9,5	5,7	8,3	105,5
2013	92,2	8,4	5,2	7,5	105,9
2014	89,3	10,6	4,9	7,4	106,8
2015	86,4	11,4	4,5	7,0	106,5
В сельской местности					
2000	93,3	0,8	7,8	4,2	39,7
2001	92,8	1,6	8,7	4,1	39,4
2002	98,4	2,3	9,5	4,3	38,6
2003	78,4	1,6	8,4	4,1	38,7
2004	76,2	1,9	7,8	3,9	38,3
2005	77,3	2,2	7,9	4,0	38,2
2006	75,7	2,7	7,4	3,7	37,8
2007	73,0	3,4	7,2	4,0	37,7
2008	71,1	4,0	6,7	4,0	37,4
2009	70,8	3,5	6,5	4,0	37,2
2010	69,5	7,3	6,2	4,1	37,5
2011	64,7	5,2	5,8	3,9	37,4
2012	63,4	6,1	5,9	3,8	37,5
2013	60,1	4,8	5,3	3,5	37,4
2014	61,0	5,4	5,1	3,5	36,8
2015	59,2	7,4	4,8	3,9	39,7

основе всестороннего исследования последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами [3, 6, 8–10].

Одной из наиболее часто применяемых характеристик опасности пожаров является индивидуальный пожарный риск (ИПР), который характеризует вероятность гибели человека в результате воздействия на него опасных факторов пожара, таких как: пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму [10]. По показателю ИПР судят о состоянии пожарной безопасности объекта защиты.

Принимая во внимание выводы работ [2, 8, 9, 11, 12], в которых определены основные направления развития пожарных рисков, а также разработана теория интегральных (территориальных) пожарных рисков для регионов и страны в целом, в представленной работе были определены значения следующих пожарных рисков:

- риск для человека столкнуться с пожаром (его опасными факторами), пожар \times человек⁻¹ \times год⁻¹;
- риск для человека погибнуть в результате пожара (количество погибших от числа проживающих), жертва \times человек⁻¹ \times год⁻¹;
- риск для человека получить травму при пожаре (количество травмированных от числа проживающих), жертва \times человек⁻¹ \times год⁻¹.

Динамика расчетных значений пожарных рисков для РФ, городов и сельской местности за период с 2000 по 2015 г. приведена на рис. 1–3.

Расчетные значения интегральных пожарных рисков позволяют констатировать общую тенденцию их снижения, однако они по-прежнему остаются высокими. Наибольшие значения пожарных рисков за период с 2000 по 2015 г. наблюдались в сельской местности. Так, риск столкнуться с пожаром в сельской местности выше в среднем в 1,3 раза, чем по стране, а также в 1,8 по гибели и в 1,1 по травмированию людей.

Важно отметить, что по данным работы [13], при использовании статистических методов анализа и оценки риска период наблюдений может быть принят равным от 3 до 5 лет. В представленной работе период наблюдений составляет 16 лет, что может считаться достаточно объективным для формирования обоснованных выводов в оценке пожарной безопасности в РФ на основании расчетных значений пожарных рисков.

В соответствии со ст. 79 Технического регламента "О требованиях пожарной безопасности" [10], нормативное значение индивидуального пожарного риска регламентируется на уровне не выше 10^{-6} в год. Это значит, что в течение года от воздействия опасных факторов пожара в стране может погибнуть не более 1 человека на миллион жителей.

В настоящее время в нашей стране сложился своеобразный феномен: с одной стороны, уровень индивидуального пожарного риска в России является самым высоким в мире [6, 7], с другой стороны — Технический регламент устанавливает нормативное значение индивидуального пожарного риска на уровне, который намного ниже наблюдаемого на практике. Подтверждением

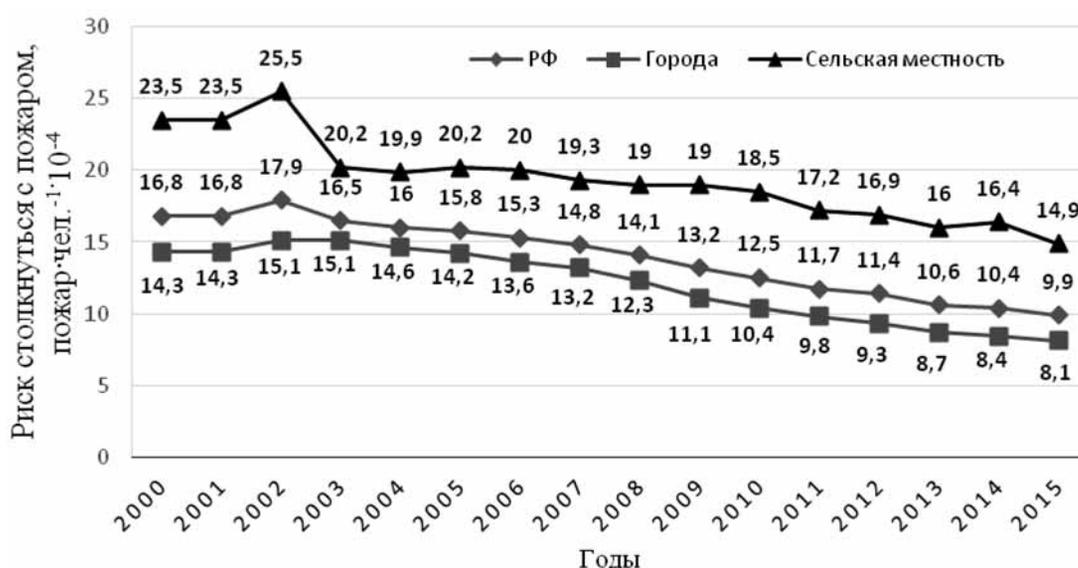


Рис. 1. Динамика значений риска для человека столкнуться с пожаром

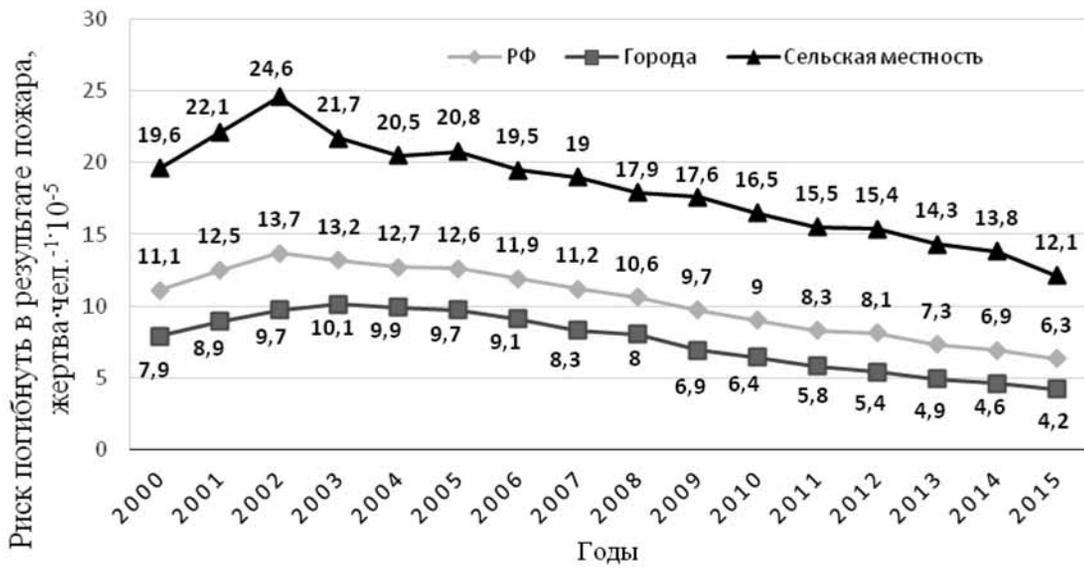


Рис. 2. Динамика значений риска для человека погибнуть в результате пожара

этому являются данные исследований, которые представлены в табл. 2, где N_f — фактическое, а N_n — нормативное (допустимое) значение числа погибших людей при пожарах в РФ за 2000—2015 гг.

Представленные в таблице данные позволяют сделать вывод, что на протяжении 16 лет индивидуальный пожарный риск в нашей стране не

снижался до нормативного, хотя наблюдается тенденция его снижения.

Значение нормативного риска 10^{-6} , к сожалению, не может быть достигнуто в России с учетом ее социально-экономических, климатических, географических и других факторов [6, 9]. Такой показатель риска как 10^{-6} , причем показатель очень высокого порядка, необъективно завышен [9].

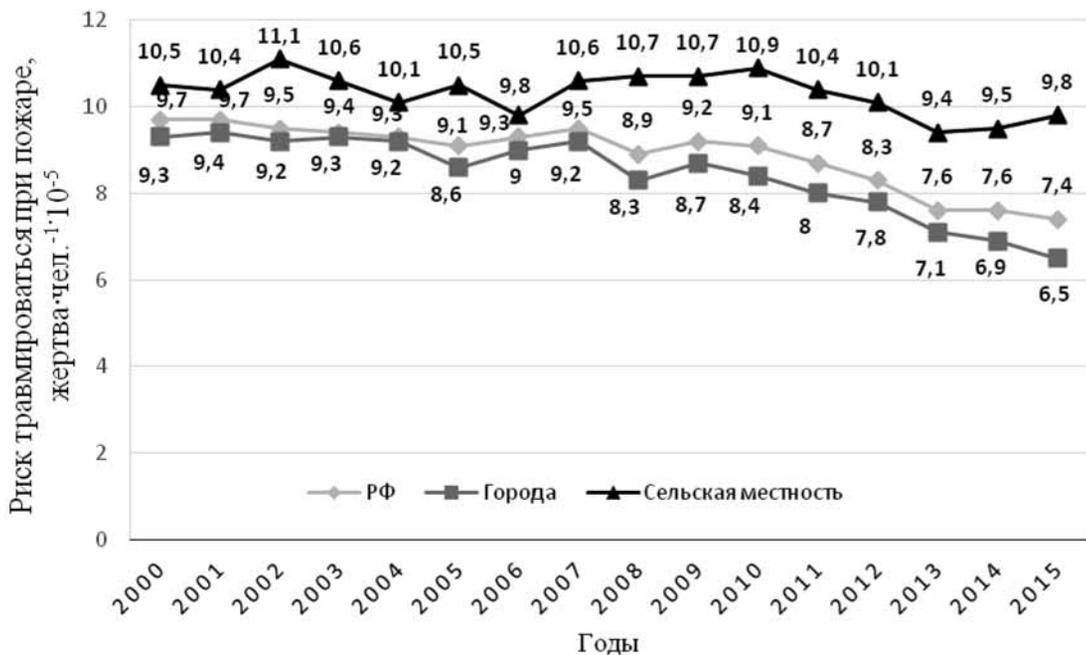


Рис. 3. Динамика значений риска получить травму при пожаре

Сравнение фактических и нормативных значений числа погибших людей в результате чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами в РФ за 2000 — 2015 гг.

Год	РФ		В городах		В сельской местности	
	$N_{\text{ф}}$, тыс. чел.	$N_{\text{н}}$, чел.	$N_{\text{ф}}$, тыс. чел.	$N_{\text{н}}$, чел.	$N_{\text{ф}}$, тыс. чел.	$N_{\text{н}}$, чел.
2000	16,8	147	8,5	107	7,8	40
2001	18,2	145	9,6	107	8,7	40
2002	19,9	145	10,4	107	9,5	39
2003	18,8	147	10,8	106	8,4	39
2004	18,3	144	10,5	106	7,8	38
2005	18,1	143	10,2	105	7,9	38
2006	17,1	143	9,6	105	7,4	38
2007	15,9	143	8,7	105	7,2	38
2008	15,1	143	8,4	105	6,7	37
2009	13,8	143	7,3	105	6,5	37
2010	12,9	143	6,7	105	6,2	38
2011	11,9	143	6,1	105	5,8	37
2012	11,6	143	5,7	105	5,9	38
2013	10,6	144	5,2	106	5,3	37
2014	10,0	143	4,9	107	5,1	37
2015	9,3	147	4,5	107	4,8	40

Таким образом, полученные результаты проведенного исследования свидетельствуют о недостаточной эффективности функционирования системы пожарной безопасности в России.

Выводы

1. Выполненные исследования показали, что риск чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами, — неизбежная реальность. Пожары можно рассматривать как одну из серьезных причин рисков преждевременной смертности населения.

2. Установлено, что на территории РФ на каждые 10 тыс. жителей в среднем приходится до 14 пожаров, а на каждые 100 тыс. жителей страны приходится более 10 человек погибших и около 9 травмированных. Наибольшие значения пожарных рисков наблюдаются в сельской местности.

3. Выполненные исследования показали, что уровень безопасности людей, проживающих на территории РФ, не соответствует требованиям пожарной безопасности.

4. Необходимо на государственном уровне разработать программу, направленную на повышение уровня пожарной безопасности на территории РФ.

Список литературы

1. Тимофеева С. С. Методы и технологии оценки аварийных рисков: Учеб. пособ. — Иркутск: изд. Иркут. нац. иссл. техн. ун-та. — 2015. — 152 с.
2. Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М., Клепко Е. А. Управление пожарной безопасностью субъектов Российской Федерации на основе анализа пожарных рисков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2010. — № 3. — С. 104—114.

3. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Современные проблемы обеспечения пожарной безопасности в России: Монография. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. — 178 с.
4. Лупанов С. А., Зуева Н. А. Обстановка с пожарами в Российской Федерации в 2008 году // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 128—135.
5. Анализ обстановки с пожарами и последствиями от них на территории Российской Федерации за 2015 год. — М.: Департамент надзорной деятельности МЧС России, 2016. — 21 с.
6. Харисов Г. Х., Фирсов А. В. Обоснование нормативного значения и расчетной величины индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях: Монография. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. — 225 с.
7. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World fire statistics // STIF. 2015. — No. 20. — P. 61.
8. Тимофеева С. С., Гармышев В. В. Оценка пожарной опасности субъектов Российской Федерации Сибирского федерального округа на основе комплексного показателя пожарных рисков // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 2 (14) — С. 3059—3064.
9. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Роль статистики пожаров в оценке пожарных рисков // Проблемы безопасности в ЧС. — 2012. — № 1. — С. 112—124.
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон РФ от 22 июля 2008 г. № 123 — ФЗ // Собрание законодательства РФ. — 2008. — № 30. Ч. 1.
11. Брушлинский Н. Н. Пожарные риски. Вып. 1. Основные понятия. — М.: ВНИИПО МЧС России, 2004. — 57 с.
12. Брушлинский Н. Н. [и др.] Основы теории пожарных рисков и ее приложения. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. — 192 с.
13. Порядок учета пожаров и их последствий. Приложение к приказу МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714.



S. S. Timofeeva, Professor, Head of Chair, e-mail: timofeeva@istu.edu,
V. V. Garmyshev, Doctoral Candidate, National Research Irkutsk Technical University

The Current State of Fire Safety in the Russian Federation in Terms of Risk

The object of the study are emergencies associated with fires in the Russian Federation. The analysis of indicators of the effects of fires: on the amount of direct damage, loss and injury to people for years 2000–2015. On the basis of existing methods shows the calculated values of fire risks: risks to human encounter with the fire, die, be injured in the fire. The values obtained for fire risks indicate that the level of safety of people living in the territory of the Russian Federation does not comply with fire safety requirements.

Keywords: Russian Federation, the consequences of fires, fire risk, the risk of death and injuries

References

1. **Timofeev S. S.** Methods and emergency risk assessment technology: Proc. Collec. Irkutsk: National Research Irkutsk Technical University, 2015. 152 p.
2. **Brushlinsky N. N., Gluhovenko Y. M., Klepko E. A.** Fire Safety Management of the Russian Federation on the basis of the analysis of fire risks. *Problems of safety and emergencies*. 2010. No. 3. P. 104–114.
3. **Brushlinsky N. N., Sokolov S. V.** Modern problems of ensuring fire safety in Russia: Monograph. Moscow: Russian Academy of EMERCOM, 2014. 178 p.
4. **Lupanov S. A., Zueva N. A.** The situation with fires in the Russian Federation in 2008. *Fire safety*. 2009. No. 1. P. 128–135.
5. **Analysis** of the situation with the fires and the effects of them on the territory of the Russian Federation for 2015. Moscow: the Supervisory Activities Department EMERCOM of Russia, 2016. 21 p.
6. **Kharisov G. H., Firsov A. V.** Justification of the normative value and the estimated value of individual fire risk in buildings: Monograph. Moscow: Russian Academy of EMERCOM, 2014. 225 p.
7. **Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P.** World fire statistics. *CTIF*. 2015. No. 20. P. 61.
8. **Timofeev S. S., Garmyshev V. V.** Assessment of fire hazard of the Russian Federation in the Siberian Federal District on the basis of a comprehensive indicator of fire risks. *Basic Research*. 2015. No. 2 (14). P. 3059–3064.
9. **Brushlinsky N. N., Sokolov S. V.** The role of fire statistics in the assessment of fire risks. *Problems of safety in emergency situations*. 2012. No. 1. P. 112–124.
10. **Technical regulations** for fire safety requirements: fader. RF Law of 22 July 2008. № 123-FZ. *Meeting of the legislation of the Russian Federation*. 2008. No. 30. Part 1. P. 3579.
11. **Brushlinsky N. N.** Fire risks. N. 1. Basic concepts. — Moscow: EMERCOM Russia, 2004. 57 p.
12. **Brushlinsky N. N.** [Et al.] Fundamentals of the theory of fire risk and its application. — Moscow: Russian Academy of EMERCOM, 2012. 192 p.
13. **Procedure** for registration of fires and their consequences. Annex to the order of EMERCOM of Russia on November 21, 2008. No. 714.

Информация

**XXI Международная специализированная выставка
"Безопасность и Охрана Труда — 2017" (БиОТ-2017)
и IV Всероссийский конгресс организаций и специалистов по охране труда
12–15 декабря 2017, Москва, ВДНХ, павильон № 75**

Организаторы выставки — Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации, саморегулируемая организация Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты (Ассоциация "СИЗ") и Всероссийское объединение специалистов по охране труда (ВОСОТ).

Подробнее: <http://www.biot.ru.com/>

УДК 72:699.8(083.7)

В. Н. Громов¹, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры,
М. В. Сильников², д-р техн. наук, проф., проф. кафедры,
А. А. Печурин², канд. техн. наук, доц. кафедры, e-mail: pechurinas@mail.ru,
О. Г. Пивоваров¹, соискатель

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

² Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Методика синтеза оптимального варианта модернизации системы технологического пожаротушения автодорожных тоннелей

Рассмотрена методика решения вопросов наиболее предпочтительных вариантов выбора и модернизации систем технологического пожаротушения автодорожных тоннелей. Приведены результаты сравнительного анализа частных тактико-технических показателей вариантов пожаротушения; сравнительного анализа частных показателей безотказности и долговечности вариантов построения систем пожаротушения; сравнительного анализа частных экономических показателей вариантов развития систем пожаротушения; анализа частных тактико-технических, надежностных и экономических показателей вариантов управления развитием системы пожаротушения с выбором наиболее предпочтительного варианта.

Ключевые слова: системы пожаротушения, варианты систем пожаротушения, результаты исследований, методика сравнительного анализа и выбора варианта решения

Введение

Развитие современной транспортной инфраструктуры крупных городов приводит к необходимости строительства большого количества автодорожных тоннелей. Опыт эксплуатации транспортных тоннелей, особенно расположенных в пределах города, указывает на высокую вероятность аварий и дорожно-транспортных происшествий, сопровождающихся пожарами.

Повышенная пожарная опасность городских автодорожных тоннелей обуславливается следующими факторами:

— высокой скоростью развития пожара и интенсивностью задымления в тоннельных сооружениях;

— ограничениями объемно-планировочного характера, связанными с размещением в автодорожных тоннелях противопожарного оборудования;

— ограничениями экономического, информационного и ресурсного характера (наличие необходимого количества воды для целей пожаротушения, мощностные характеристики электросетей), вызванными проведением работ в условиях сложившейся городской застройки.

При этом часто ввиду уникальности сооружений требуется искать технически новые решения с учетом многовариантности, опыта эксплуатации противопожарной защиты автодорожных

тоннелей, эффективности применения предполагаемых решений при модернизации системы технологического пожаротушения (СТП) и выбора наиболее оптимальной совокупности оборудования.

Характерной особенностью обоснования вариантов модернизации системы технологического пожаротушения в современных условиях является наличие существенной неопределенности, обусловленной сложностью решаемой задачи и ограниченным объемом доступных исходных данных.

Эта неопределенность, с одной стороны, затрудняет оценку степени влияния модернизации на показатели надежности и эксплуатационных затрат. С другой стороны, она влияет и на сложность выбора наиболее предпочтительных вариантов модернизации из-за наличия многокритериальности и недетерминированности целевых функций выбора.

С научной точки зрения задача модернизации системы технологического пожаротушения может рассматриваться в двух аспектах: в широком — как задача оптимального управления развитием сложных систем в условиях неопределенности; в узком — как задача управления состоянием СТП на стадии эксплуатации.

В связи с этим можно говорить об актуальности решения задач по обоснованию вариантов



модернизации системы технологического пожаротушения с учетом показателей надежности и эксплуатационных затрат в условиях ресурсных и информационных ограничений.

Количество и номенклатура основных видов пожарной техники и схема ее размещения в автомобильных и железнодорожных тоннелях для каждого конкретного сооружения устанавливается с учетом обеспечения уровня противопожарной защиты, а также в зависимости от особенностей развития возможного пожара на данном объекте.

В настоящее время наибольшее применение находят установки газового и водяного (дренчерного и спринклерного типа) пожаротушения. Установки газового пожаротушения в основном предназначены для тушения возможных пожаров в наиболее энергонасыщенных и ответственных помещениях (пункты распределения электроэнергии, пультовые, электрощитовые, каналы кабельных трасс и т. п.).

В качестве огнетушащего средства в установках газового пожаротушения чаще всего применяются хладоны, которые:

— с одной стороны, обладают высокой огнетушащей эффективностью, проникаемостью в пламя и удержания паров у очага пожара, хорошей смачивающей способностью, не электропроводны, почти не растворяются в воде, имеют низкую температуру замерзания паров;

— с другой стороны, создают условия удушья и способны обжигать кожный покров людей, находящихся в зоне их применения при пожаротушении, обладают наркотическим эффектом и коррозионной агрессивностью, имеют высокую стоимость.

Газовые системы пожаротушения включают в свой состав множество различных накопительных, распределительных, запорных и контрольно-измерительных устройств, а также средств автоматики, предназначенных для оповещения обслуживающего персонала о возможном их применении с целью эвакуации людей из зон тушения, что влечет за собой значительную стоимость разработки, производства и эксплуатации данных систем. Перечисленные недостатки ограничивают эффективность применения систем (установок) газового пожаротушения.

Установки пожаротушения тонкодисперсной водой являются перспективными средствами пожаротушения. Они обладают явным преимуществом перед установками газового пожаротушения по показателям массы, габаритов, энергопотребления, надежности, быстродействия и стоимости при равном показателе огнетушащей способности по площади и локально по объему.

Высокая эффективность пожаротушения модульными установками пожаротушения обуславливается:

— универсальностью огнетушащего вещества (тонкодисперсная вода с добавками) при тушении пожаров различных классов (А, В1—В3 и С);

— малым удельным расходом огнетушащего вещества (удельный расход не более 2 л/м²);

— высокой степенью использования огнетушащего состава в процессе тушения, что позволяет снизить время работы установки пожаротушения (для тушения пожаров класса А до 1 мин, для пожаров класса В1—В3 до 20...30 с);

— высокой дымоосаждающей способностью;

— экологической чистотой;

— безопасностью для человека и защитой человека от воздействия отравляющих факторов пожара.

Для решения задач по обоснованию вариантов модернизации системы технологического пожаротушения с учетом показателей надежности и эксплуатационных затрат в условиях ресурсных и информационных ограничений были выполнены четыре этапа исследований.

1. Проведение сравнительного анализа частных тактико-технических показателей вариантов развития систем пожаротушения.

2. Проведение сравнительного анализа частных показателей безотказности и долговечности вариантов построения систем пожаротушения.

3. Проведение сравнительного анализа частных экономических показателей вариантов развития систем пожаротушения.

4. Комплексный анализ частных тактико-технических, надежностных и экономических показателей вариантов управления развитием системы пожаротушения с выбором наиболее предпочтительного варианта.

Взаимосвязь частных задач и этапность их решения поясняются рис. 1. Выполненные численные исследования функционирования систем пожаротушения позволяют наполнить численным содержанием выражение для частного показателя эффективности $W_{(V)}$ для различных вариантов систем пожаротушения.

Частный показатель эффективности $W_{(V)}$ для различных вариантов систем пожаротушения определялся по следующей зависимости:

$$W_{(V)} = \frac{QF}{tЭ},$$

где Q — максимальный расход рабочего тела при тушении пожара (запас рабочего тела); F — время очага потенциального пожара (покрываемая

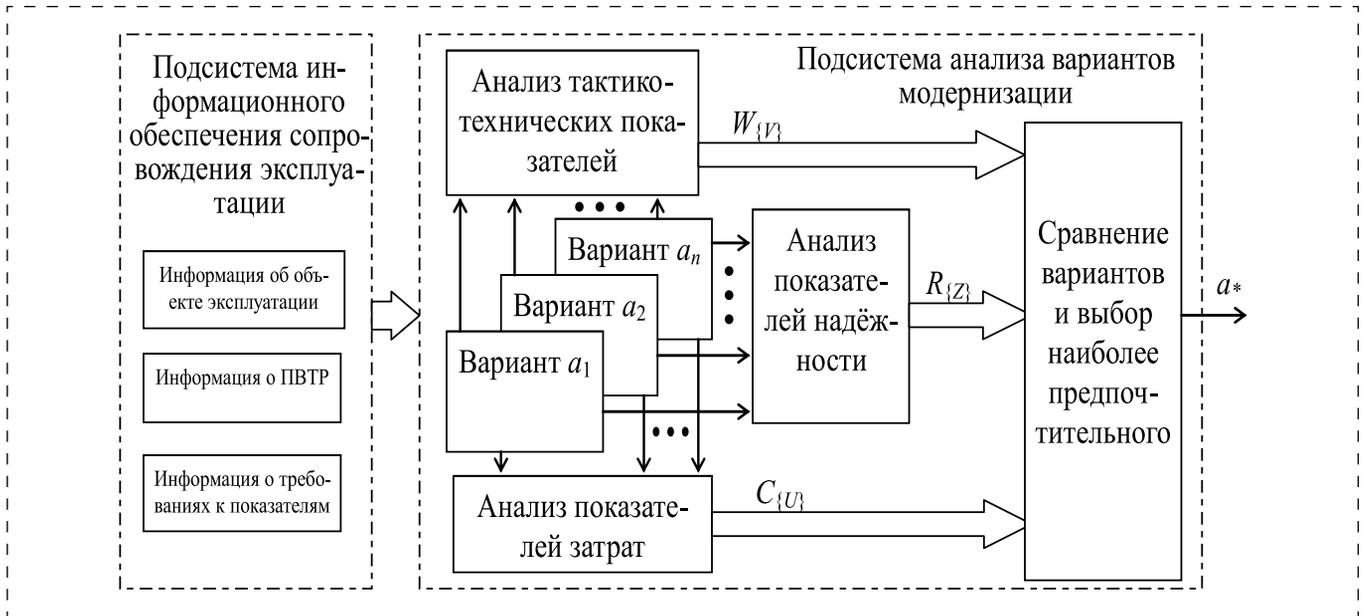


Рис. 1. Взаимосвязь частных задач исследования вариантов развития систем пожаротушения и этапность их решения:
 $a_1...a_n$ — тактико-технические показатели вариантов построения систем пожаротушения; $W_{\{V\}}$ — результаты сравнительного анализа тактико-технических показателей вариантов построения систем пожаротушения (показатель эффективности); $R_{\{Z\}}$ — результаты сравнительного анализа показателей надёжности вариантов построения систем пожаротушения; $C_{\{U\}}$ — результаты сравнительного анализа экономических показателей (затрат) вариантов построения систем пожаротушения; a^* — максимальный критерий

площадь очага пожара); t — время срабатывания системы; \mathcal{E} — энергоёмкость системы.

Формирование частного тактико-технического показателя эффективности на множестве выявленных определяющих параметров (Q, F, t, \mathcal{E}) основано на применении теории размерности. Полученное выражение безразмерно и имеет прозрачный физический смысл. Результат работы системы тем лучше, чем большим расходом рабочего тела она обладает и большую площадь очага пожара может накрыть. В то же время, чем выше оперативность системы (меньше время срабатывания) и чем она менее энергоёмка, тем выше результат ее функционирования.

Максимальное значение $W_{\{V\}}$ достигается при максимизации Q, F и минимизации t, \mathcal{E} . С этих позиций, рассматривая варианты систем пожаротушения газовой и тонкораспыленной водой, можно утверждать следующее.

1. Максимальные значения безразмерных расходов рабочего тела (тушащего вещества), исходя из его теплофизических свойств, достигаются для газовых систем пожаротушения, однако особенность их функционирования приводит к неоправданно большим расходам при локальных возгораниях. Этот недостаток может быть устранен применением модульного принципа построения

систем пожаротушения, благодаря чему можно повысить значение F и снизить значение \mathcal{E} .

2. Как показывает опыт применения газовых систем пожаротушения, для них в значение показателя оперативности необходимо включить время на эвакуацию персонала из зоны пожара. Таким образом, при равной технической оперативности срабатывания сравниваемых систем модульная установка пожаротушения тонкодисперсной водой (МУП ТДВ) обладает лучшим показателем оперативности.

3. Низкая экологичность газовых систем пожаротушения неизбежно приводит к дополнительным ресурсопотреблениям, характеризуемым показателем \mathcal{E} .

В наиболее общей постановке задачу выбора наилучшей альтернативы предложено осуществлять поэтапно (рис. 2) по максиминному критерию (выражение a^* в блоке "Шаг 9" на рисунке).

Задача выбора наиболее предпочтительной альтернативы сводится к задаче поиска минимальной нечеткой оценки удаления каждой альтернативы от критического значения по всем частным показателям и затем выбора среди таких альтернатив наилучшей по максимальному удалению.

Были рассмотрены три основных варианта решений: 1) восстановление существующей системы

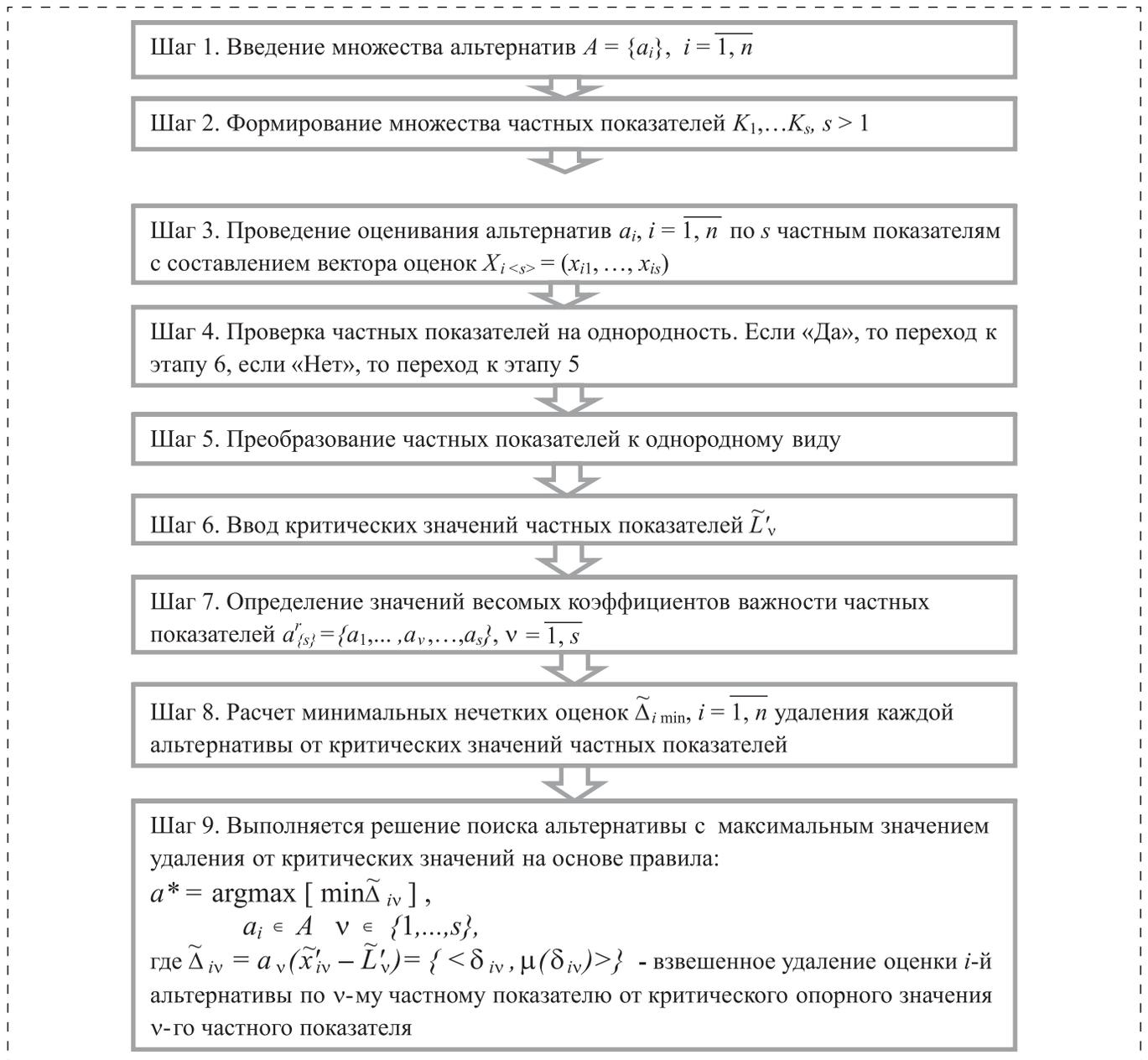


Рис. 2 Основные этапы алгоритма обоснования рационального варианта модернизации СТП при неаддитивных откликах показателей на модернизацию элементов системы

газового пожаротушения; 2) поставка и монтаж новой системы газового пожаротушения; 3) поставка и монтаж новой системы пожаротушения тонкодисперсной водой. При этом были выполнены расчеты значений частных показателей эффективности пожаротушения, показателей надежности и затрат для базовых вариантов решений [1, 2]. Исходя из проведенного анализа и на основе моделирования функционирования систем пожаротушения, сертификационных испытаний, опыта их эксплуатации получены диапазоны значений относительных частных

Таблица 1
Диапазоны и средние значения относительных частных показателей эффективности систем пожаротушения

Показатели	Газовая система	МУП ТДВ
Диапазон значений (W_i)	0,04...0,1	0,30,5
Среднее значение (W_{cp})	0,07	0,4

Таблица 2
Значения нижних доверительных границ гамма-процентного срока службы трех вариантов систем пожаротушения

Срок службы	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
K_d (лет)	7,2	16,8	14,2

Результаты оценивания частных показателей вариантов модернизации автоматической системы пожаротушения (АСП)

Вариант АСП	Эффективность пожаротушения при АСП	Надежность АСП		Экономичность АСП	
		Коэффициент оперативной готовности	Технический ресурс, лет	Затраты на создание, млн руб.	Затраты на эксплуатацию, млн руб/год
1	10,3	0,95	10,5	1,5	0,36
2	7,8	0,998	15,3	0,35	0,25
3	8,4	0,98	10,4	0,75	0,45

Вариант 1 — газовая АСП; Вариант 2 — АСП с ТДВ; Вариант 3 — водяная дренчерная АСП.

показателей систем пожаротушения, представленных в табл. 1.

Сравнительный анализ показателей долговечности вариантов систем пожаротушения проводился по значениям гамма-процентного срока службы трех вариантов решений по системам пожаротушения.

1. Восстановление существующей системы газового пожаротушения и ее дальнейшая эксплуатация.

2. Поставка новой системы газового пожаротушения, ее монтаж и дальнейшая эксплуатация.

3. Поставка, монтаж и дальнейшая эксплуатация системы пожаротушения тонкодисперсной водой.

Оценки приращения показателя долговечности приведены в табл. 2.

Комплексный анализ частных показателей вариантов модернизации систем пожаротушения выполнялся на основе анализа результатов, полученных на предыдущих этапах расчетов значений частных показателей, характеризующих варианты развития системы пожаротушения (табл. 3). Анализ результатов показывает, что наиболее предпочтительным вариантом системы технологического пожаротушения является вариант модернизации системы пожаротушения путем применения варианта пожаротушения тонкодисперсной водой [3, 4].

Выводы

Комплексный анализ частных показателей вариантов развития системы пожаротушения позволил выбрать в качестве наиболее предпочтительного варианта "Поставка и монтаж новой системы пожаротушения тонкодисперсной водой".

Применение разработанной модели и алгоритма для решения конкретной практической задачи по обоснованию вариантов развития системы технологического пожаротушения показало, что с ее помощью можно успешно решать достаточно актуальные задачи по оцениванию и выбору управляющих решений с учетом реальной неопределенности процесса принятия решений.

Список литературы

1. **Можаев А. С., Громов В. Н.** Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем: Учебное пособие. — СПб.: ВИТУ, 2000. — 145 с.
2. **Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П.** Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. — Рига: Зинатне, 1990. — 184 с.
3. **Противопожарная система** / В. Н. Громов, А. В. Логунов, Д. Ю. Мячин, О. Г. Пивоваров, С. В. Сирота, О. Л. Шестопалова // Патент РФ на полезную модель № 90695, приор. 24.11.2010, публ. 20.05.2011, МПК А62С37/00 (2006.01).
4. **Система автоматического пожаротушения** / В. Н. Громов, А. В. Логунов, Д. Ю. Мячин, О. Г. Пивоваров, С. В. Сирота, О. Л. Шестопалова // Патент РФ на полезную модель № 105714, приор. 20.01.2011, публ. 20.06.2011, МПК А62С37/00 (2006.01).



V. N. Gromov¹, Professor of Chair, M. V. Silnikov², Professor of Chair,
A. A. Pechurin², Associate Professor, e-mail: pechurinas@mail.ru,
O. G. Pivovarov¹, Applicant

¹ Saint-Petersburg Polytechnic University Peter the Great

² Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia

The Technique of Synthesis of Optimal Variant of Technological Modernization of the System of Fire Extinguishing Road Tunnels

High fire danger urban road tunnels due to the following factors: high speed of fire development and intensity of the smoke in tunnel constructions; limitations of space-planning character associated with the placement of road tunnels fire-fighting equipment; economic constraints, and resource constraints (availability of the required quantity of water for fire fighting, power characteristics of power grids) due to the implementation of works in the current urban development.

Keywords: fire extinguishing systems, fire extinguishing systems, the results of the research methods of comparative analysis and selection decisions

References

1. **Mozhaev A. S., Gromov V. N.** The theoretical basis of General logical-probabilistic method of automated modeling systems. Textbook. Saint-Petersburg: VITU, 2000. 145 p.
2. **Borisov A. N., Kronberg O. A., Fedorov I. P.** Decision making based on fuzzy models: measures of use. Riga: Zinatne, 1990. 184 p.
3. **Sprinkler system** / V. N. Gromov, A. V. Logunov, D. Y. Myachin, O. G. Pivovarov, S. V. Sirota, O. L. Shestopalova. *RF Patent for useful model No. 90695, prior. 24.11.2010, publ. 20.05.2011, IPC A62C37/00* (2006.01).
4. **Automatic fire-extinguishing system** / V. N. Gromov, A. V. Logunov, D. Y. Myachin, O. G. Pivovarov, S. V. Sirota, O. L. Shestopalova. *RF Patent for useful model No. 105714, prior.20.01.2011, publ. 20.06.2011, IPC A62C37/00* (2006.01).

NDT
RUSSIA

ufi
Approved
Event

NDT Russia

17-я Международная выставка
оборудования для неразрушающего
контроля и технической диагностики

24–26
октября
2017

Москва,
Крокус Экспо

Подробнее о выставке
NDT-RUSSIA.RU



УДК 614.841.4

Л. А. Яценко, канд. хим. наук, вед. науч. сотр., **Е. В. Копкин**, д-р техн. наук, проф. кафедры, **Е. Н. Бардулин**, д-р экон. наук, проф., начальник кафедры, **М. Ю. Принцева**, канд. техн. наук, зам. начальника отдела, e-mail: printseva75@mail.ru, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Изменение состава летучих компонентов автомобильных бензинов при испарении и выгорании в ходе пожара

Приведены результаты исследования изменений состава летучих компонентов автомобильного бензина при испарении и выгорании методом газовой хроматографии в сочетании с термодесорбцией. Показано, что оценку степени испарения или выгорания автомобильных бензинов можно проводить по составу и характеру распределения групп летучих аренов в газовой фазе, а также по характеру распределения летучих алканов над объектом. Метод позволяет оценивать степень загрязненности почвы нефтепродуктами при минимальных затратах времени и решать идентификационные задачи при расследовании дел о хищении бензинов и их использовании при поджогах.

Ключевые слова: автомобильные бензины, термодесорбция, газовая хроматография, газовая фаза, летучие органические соединения, состав

Автомобильные бензины являются самой крупнотоннажной горючей жидкостью, которая производится и используется в сфере жизнедеятельности человека. Распространенность и доступность бензинов имеет, однако, свою негативную сторону. Значительная их часть теряется в ходе эксплуатации автотранспорта и входит в состав загрязнителей атмосферы, земельных и водных объектов. Как самая доступная населению легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ), автомобильные бензины, чаще, чем другие ЛВЖ, используются злоумышленниками в качестве интенсификатора горения (средства поджога).

Все эти дополнительные сферы оборота автомобильных бензинов — экологическая, расследование поджогов и др. — предполагают необходимость обнаружения и анализа компонентного состава автомобильных бензинов. Причем исследованию могут подвергаться не только исходные бензины, но и их остатки после испарения и температурного воздействия. Такие остатки обычно извлекают из объектов-носителей загрязнения путем жидкостной экстракции, но при этом параллельно извлекаются всевозможные загрязнения и экстрактивные вещества объектов-носителей, мешающих дальнейшему анализу, который обычно проводится хроматографическими методами.

Более эффективным оказывается анализ газовой фазы над объектами, загрязненными бензином. Он позволяет избежать извлечения мешающих анализу компонентов, а предел обнаружения при

определении, в частности аренов в атмосферном воздухе, оказывается выше, чем при анализе жидких проб и составляет не менее $0,005 \text{ мг/м}^3$ [1, 2]. В этом случае анализ остатков бензина возможен только по группе летучих органических соединений (ЛОС).

Существуют несколько способов отбора газовых фаз над сложными смесями, в частности над бензинами. Твердофазная микроэкстракция — это простая процедура экстракции без растворителя, в процессе которой осуществляется сорбция газовой фазы на кремнеземное волокно [3]. Устройство для твердофазной экстракции (ТФЭ) представляет собой шприц, к поршню которого прикрепляется кварцевый стержень, покрытый волокном. Сорбция при ТФЭ осуществляется на поверхности этого волокна. Основным недостатком твердофазной экстракции является ограниченная возможность сорбции из-за небольшого количества сорбента, нанесенного на поверхность нити, что затрудняет использование метода ТФЭ при отборе газовой фазы над сильно испаренными или выгоревшими составами.

При исследовании состава газовой фазы, находящейся в равновесном состоянии на границе раздела твердый объект — паровая (газовая) фаза над объектом, обязательным условием является поддержание постоянной и хорошо воспроизводимой температуры [4]. Существенным недостатком метода парофазного анализа (ПФА) является также трудность выбора оптимальной температуры



нагревания для получения равновесного пара при исследовании летучих органических соединений неизвестного состава [5]. Кроме того, невозможность концентрирования ЛОС, извлеченных из объектов-носителей (бензинов), снижает стабильность воспроизведения результатов анализа, что не дает достоверной идентификации следовых количеств бензинов.

В настоящее время для анализа летучих органических веществ методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) все чаще применяют в сочетании с газовым хроматографом специальные устройства для ввода в испаритель хроматографа проб в газообразном состоянии — термодесорберы.

Подготовка проб газовых фаз для исследования методом ГЖХ остатков нефтепродуктов, в частности автомобильных бензинов с применением термодесорбции, является наиболее перспективным способом. С использованием термодесорбера двухстадийного типа появляется возможность повторного концентрирования десорбированных из сорбента ЛОС перед их вводом в испаритель хроматографа. Это позволяет понизить предел обнаружения в воздухе ЛОС почти в 100 раз по сравнению с экстракцией растворителем и с использованием пробоподготовки методами ТФЭ и ПФА, так как для анализа берут весь десорбированный концентрат [6]. Нижний предел измерения углеводородов в анализируемом объеме пробы не менее 0,006 мкг [7].

Целью данного исследования является изучение возможности применения газовой хроматографии с термодесорбцией для обнаружения, извлечения и исследования (включая решение идентификационных задач) микроколичеств исходных и видоизмененных автомобильных бензинов.

В качестве объекта исследования был выбран бензин неэтилированный марки Супер Евро-98, вид 1, ГОСТ Р 51866—2002, производитель ООО "КИНЕФ".

Анализ летучих органических соединений проводили методом газовой хроматографии на приборе "Кристалл 5000.1", снабженном пламенно-ионизационным детектором (ПИД) и термодесорбционной приставкой ТДС-1.

Условия хроматографического анализа: температура детектора 300 °С, температура испарителя хроматографа 300 °С, начальная температура термостата колонок кварцевых капиллярных Zebtron-50 40 °С (время изотермы 5 мин), давление газа-носителя — гелия марки А 100 кПа, скорость

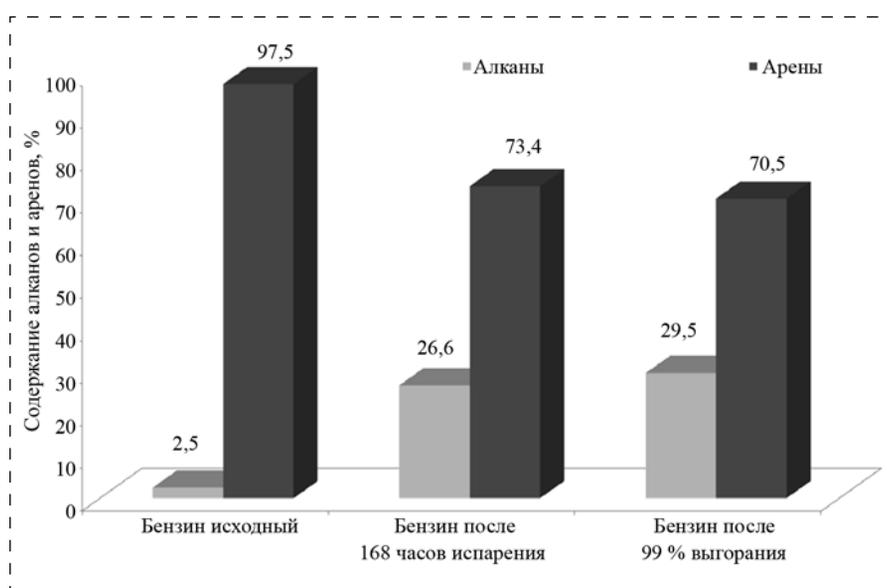


Рис. 1. Относительное содержание групп летучих алканов и аренов в газовой фазе над автомобильным бензином до и после испарения или выгорания

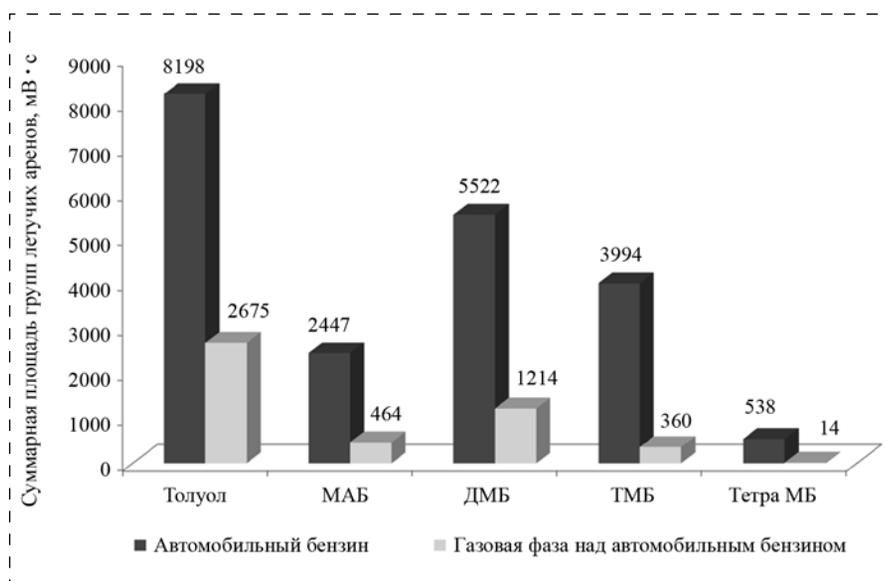


Рис. 2. Относительное содержание групп летучих аренов в газовой фазе над автомобильным бензином

подъема температуры колонки 4 °С/мин; конечная температура колонки 280 °С.

Пробоотбор газовой фазы осуществляли на сорбционную трубку Тенак ТА при помощи насоса сильфонного типа АМ-0059.

Автомобильные бензины представляют собой смесь углеводородов разной природы: парафины, изопарафины, нафтены, олефины и ароматические углеводороды, из которых преобладающими являются арены. При анализе жидких бензинов для их идентификации достаточно определять только отдельные группы ароматических углеводородов, а в качестве дополнительного критерия использовать факт присутствия в незначительных количествах алканов (C₈—C₁₈) [8]. Основным критерием при идентификации нефтепродуктов бензиновой фракции при анализе газовых фаз методом ГЖХ при пробоподготовке с использованием термодесорбции был выбран групповой состав пиков аренов на хроматограммах газовых фаз [9].

Исследование газовой фазы над бензином до и после длительного испарения или после термического воздействия (степень выгорания 99 %) показало, что в газовых фазах над бензином после его испарения или выгорания содержание аренов значительно уменьшается, а содержание алканов растет (рис. 1).

При этом в газовой фазе над бензином, как и в случае бензинов в жидком агрегатном состоянии, наибольший вклад в состав летучих аренов вносит толуол, а п-, м- и о-ксилолы (группа диметилбензолов (ДМБ)), арены из группы моноалкилбензолов (МАБ) и арены из группы триметилбензолов (ТМБ), а именно 1,3,5-, 1,2,4-, 1,2,3-триметилбензолы присутствуют в меньшем количестве. Тетраметилбензолы (тетра МБ) как менее летучие арены в газовой фазе над бензином практически отсутствуют (рис. 2).

Следует отметить, что соотношение площадей пиков летучих

алканов (C₈—C₁₄) так же, как и состав групп аренов, не зависит от агрегатного состояния бензина (рис. 3). При этом в составе алканов преобладает октан.

При испарении бензина с поверхности объекта-носителя, в частности с поверхности грунта, в газовой фазе над бензином так же, как и над бензином до начала процесса испарения, обнаруживаются все группы аренов. Однако с увеличением продолжительности испарения происходит перераспределение содержания разных групп аренов. В процессе испарения содержание толуола уменьшается, а количество ДМБ и ТМБ растет. При этом суммарное количество МАБ, а именно

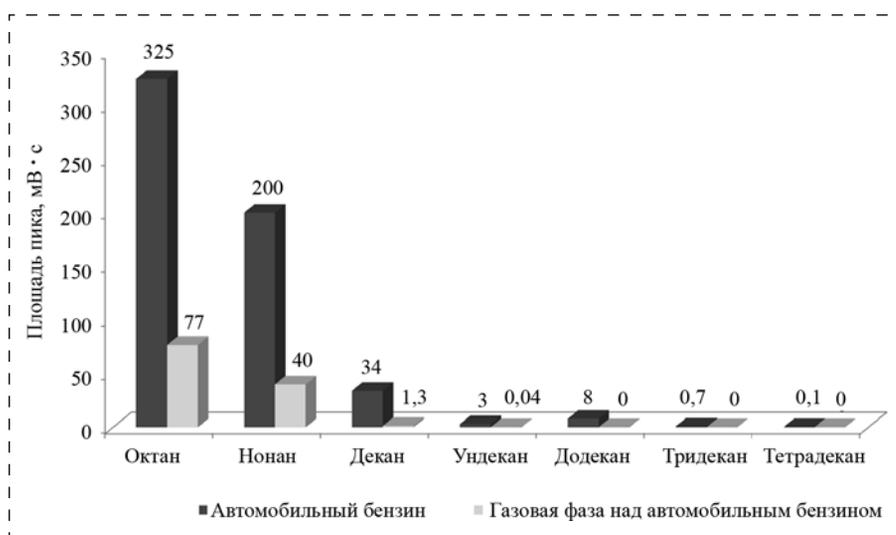


Рис. 3. Относительное содержание летучих алканов (C₈—C₁₄) в газовой фазе над автомобильным бензином

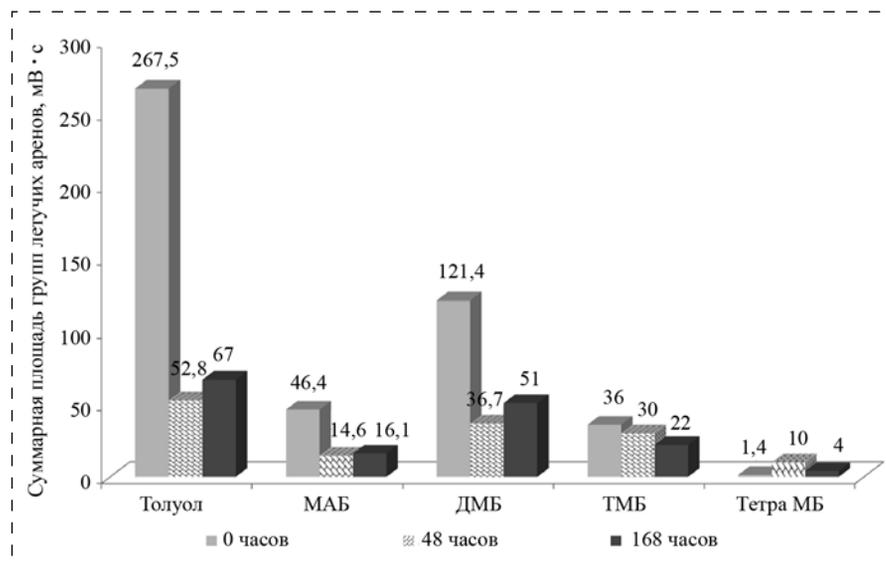


Рис. 4. Изменение содержания разных групп летучих аренов в газовых фазах над автомобильным бензином в процессе его испарения с поверхности грунта в зависимости от времени испарения

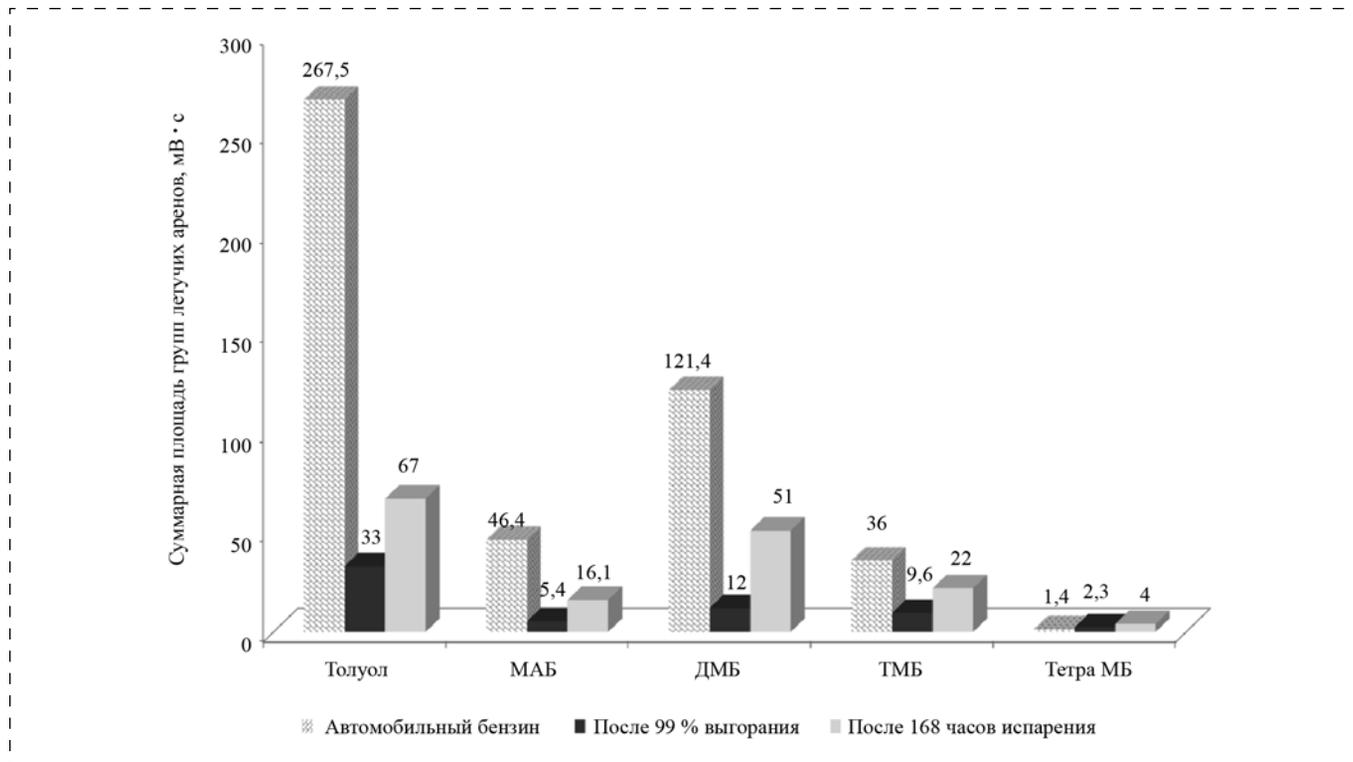


Рис. 5. Сравнение состава групп летучих ароматов в газовых фазах над автомобильным бензином до и после его испарения или выгорания с поверхности грунта

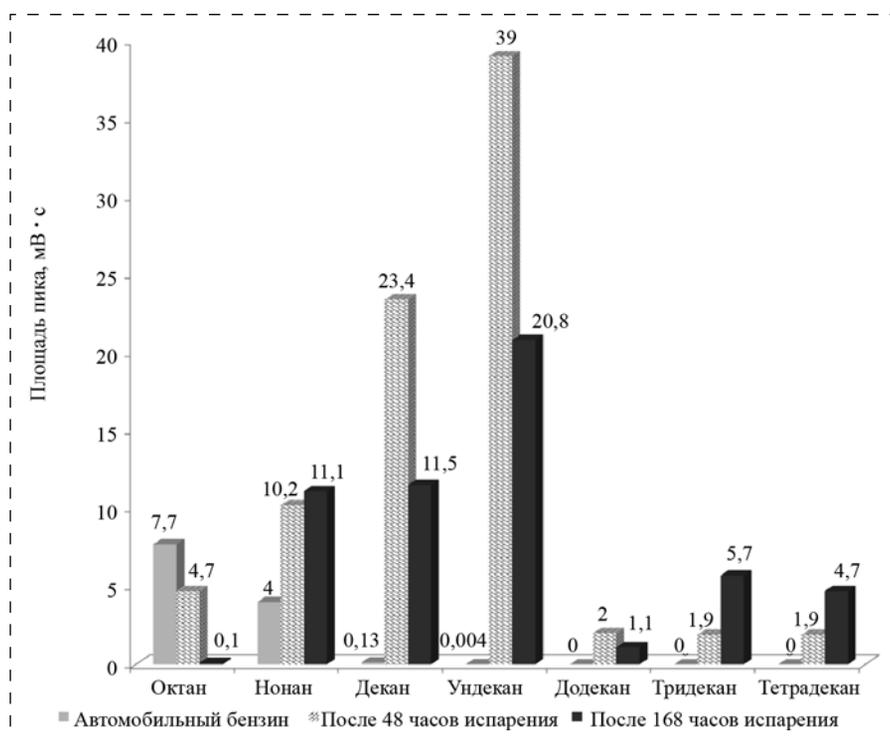


Рис. 6. Изменение относительного содержания летучих алканов (C_8-C_{14}) в газовой фазе над автомобильным бензином при его испарении с поверхности грунта

этилбензола, пропил- и изопропилбензолов значительно уменьшается (рис. 4).

Подобный характер изменения содержания разных групп ароматов наблюдается и в газовой фазе над бензином, подвергнутым термическому воздействию (рис. 5).

Процесс испарения летучих алканов (C_8-C_{14}) приводит к изменению соотношения интенсивностей (площадей) пиков алканов на хроматограммах газовых фаз, вызывая смещение максимального содержания алкана от октана к нонану (при незначительном испарении), а после длительного испарения к ундекану (рис. 6). Аналогичное перераспределение содержания алканов наблюдается и в газовой фазе над бензином после температурного воздействия на него (рис. 7).

Таким образом, использование способа термодесорбции

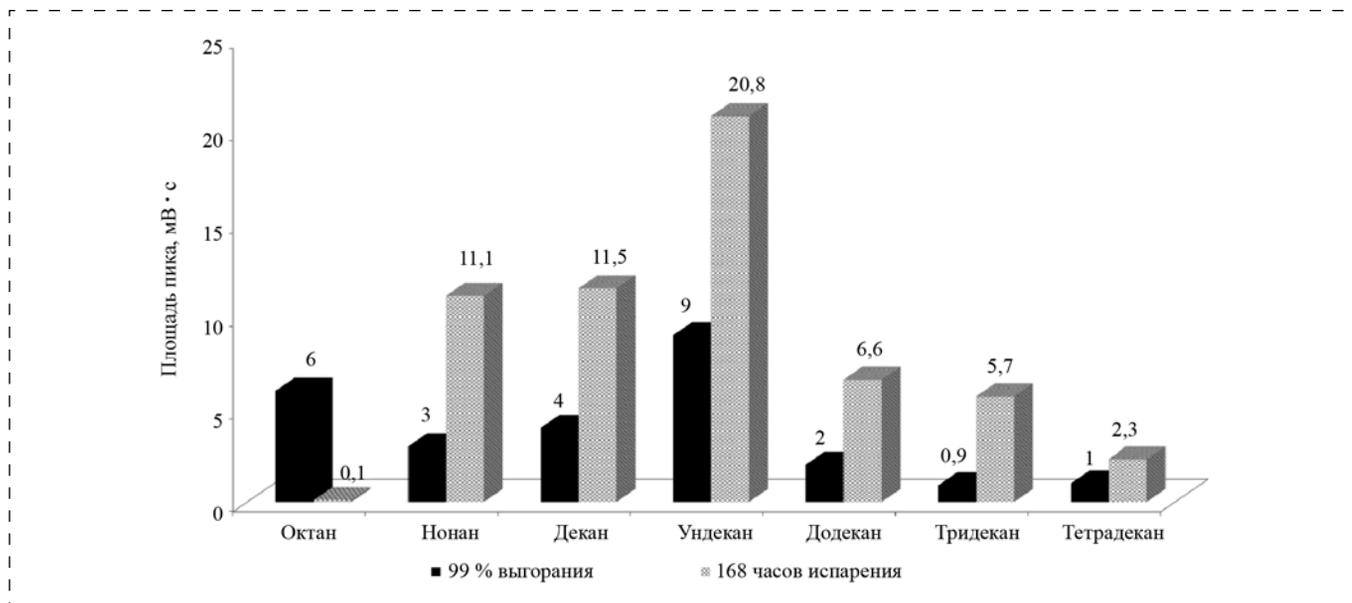


Рис. 7. Сравнение относительного содержания летучих алканов (C_8-C_{14}) в газовой фазе над грунтом, обработанным автомобильным бензином, после испарения бензина и после его выгорания с поверхности грунта

для изучения состава газовых фаз, содержащих пары автомобильного бензина, методом ГЖХ показало, что такой способ позволяет осуществлять концентрирование газовой фазы перед вводом ее в испаритель хроматографа и обеспечивает возможность идентификации бензина по составу газовых фаз над ним даже после длительного испарения или значительного выгорания. Оценку степени испарения или выгорания составов бензинов можно проводить по составу и характеру распределения групп летучих аренов в газовой фазе, а также по характеру распределения летучих алканов над объектом.

Исследование газовых фаз над объектами-носителями по предложенной методике позволяет оценивать степень загрязненности почвы нефтепродуктами (в частности нефтепродуктами бензиновой фракции нефти) при минимальных затратах времени как на подготовку проб, так и на собственно хроматографический анализ.

Таким же образом могут решаться задачи, например при расследовании дел о хищении автомобильных бензинов, а также их использовании при поджогах.

Список литературы

1. Газохроматографическое определение гексана, гептана, бензола, толуола, этилбензола, м-, о-, п-ксилолов, изо-пропилбензола, п-пропилбензола, стирола, альфа-метилстирола, бензальдегида в воздухе из замкнутого объема, содержащего материалы различного состава: Методические рекомендации. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007. — 20 с.

2. Методические указания по хромато-масс-спектрометрическому определению летучих органических веществ в атмосферном воздухе // Определение концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе: Сб. метод. рекоменд. — М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. — С. 217—229.
3. Лапко Е. Ю. Особенности методических подходов к разработке способов пробоподготовки объектов окружающей среды // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. — 2014. — № 1. — С. 14—18.
4. Витенберг А. Г. Статический парофазный газохроматографический анализ. Физико-химические основы и области применения // Российский химический журнал. — 2003. — Т. XLVII. — № 1. — С. 7—22.
5. Бродский Е. С., Лукашенко И. М., Калинин Г. А., Савчук С. А. Идентификация нефтепродуктов в объектах окружающей среды с помощью газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии // Журнал аналитической химии. — 2002. — Т. 57. — № 6. — С. 592—596.
6. Термодесорбер ТДС-1 (двухстадийный): Руководство по эксплуатации. — Йошкар-Ола: ЗАО СКБ "Хроматэк", 2010. — 66 с.
7. Методические указания по газохроматографическому определению пропилбензола, этилтолуола, псевдокумола и нафталина в атмосферном воздухе // Определение концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе: Сб. метод. рекоменд. — М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. — С. 321—330.
8. Яценко Л. А. Критерии дифференциации светлых нефтепродуктов методом газожидкостной хроматографии // Расследование пожаров: Сборник статей. — М.: ВНИИПО, 2007. № 2. — С. 180—193.
9. Воронова В. Б., Яценко Л. А. Обнаружение интенсиваторов горения методом газожидкостной хроматографии по газовым фазам над объектами, изъятими с мест пожаров // Проблемы и перспективы судебной пожарно-технической экспертизы: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. — СПб., 2015. — С. 31—35.



L. A. Yatsenko, Leading Researcher, E. V. Kopkin, Professor of Chair, E. N. Bardulin, Professor, Head of Chair, M. U. Printseva, Deputy Chief of Department, e-mail: printseva75@mail.ru, Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Change of Structure of Volatile Flux of Motor Gasoline at Evaporation and Burning out During the Fire

This article describes the possibilities of application of gas chromatography with thermal desorption for detection, extraction and research of native and modified trace quantity of motor gasolines. Results of research of a gas phase over gasoline before long evaporation or after thermal influence (extent of burning out of 99 %) are given. It is shown that in gas phases over gasoline after its evaporation or burning out the concentration of arenes considerably decreases, and the concentration of alkanes grows. It is noted that the assessment of extent of evaporation or burning out of motor gasolines can be carried out on structure and nature of distribution of groups of volatile arenes in a gas phase, and also on nature of distribution of volatile alkanes over object. The method allows to estimate the degree of impurity of soil by petroleum products at the minimum expenses of time and to solve identification problems at expert support of investigation of cases of plunders and falsifications of motor gasolines and also their uses at arsons.

Keywords: motor gasolines, thermal desorption, gas chromatography, gas phase, volatile flux, arenes, alkanes, petroleum products, composition, evaporation, burning out

References

1. **Gazohromatograficheskoe** opredelenie geksana, geptana, benzola, toluola, jetilbenzola, m-, o-, p-ksilolov, izopropilbenzola, p-propilbenzola, stirola, al'fa-metilstirola, benzal'degida v vozduhe iz zamknutogo ob#ema, sodержashhego materialy razlichnogo sostava: Metodicheskie rekomendacii. — Moscow: Federal'nyj centr gigieny i jepidemiologii Rospotrebnadzora, 2007. 20 p.
2. **Metodicheskie ukazaniya** po hromato-mass-spektrometricheskomu opredeleniju letuchih organicheskikh veshhestv v atmosfernom vozduhe // Opredelenie koncentracij zagrjaznjajushhh veshhestv v atmosfernom vozduhe: Sb. metod. rekomend. Moscow: Informacionno izdatel'skij centr Minzdrava Rossii, 1997. P. 217—229.
3. **Lapko E. Ju.** Osobennosti metodicheskikh podhodov k razrabotke sposobov probopodgotovki ob#ektov okruzhajushhej sredy. *Vestnik KGU im. N. A. Nekrasova*. 2014. No. 1. P. 14—18.
4. **Vitenberg A. G.** Sticheskiy parofaznyj gazohromatograficheskij analiz. Fiziko-himicheskie osnovy i oblasti primeneniya. *Rossijskij himicheskij zhurnal*. 2003. V. XLVII. No. 1. P. 7—22.
5. **Brodskij E. S., Lukashenko I. M., Kalinkevich G. A., Savchuk S. A.** Identifikacija nefteproduktov v ob#ektah okruzhajushhej sredy s pomoshh'ju gazovoj hromatografii i hromato—mass-spektrometrii. *Zhurnal analiticheskoy himii*. 2002. V. 57. No. 6. P. 592—596.
6. **Termodesorber TDS-1** (dvehstadijnyj): Rukovodstvo po jekspluatacii. Joshkar-Ola: ZAO SKB "Hromatjek", 2010. 66 p.
7. **Metodicheskie ukazaniya** po gazohromatograficheskomu opredeleniju propilbenzola, jetiltoluola, psevdokumola i naf-talina v atmosfernom vozduhe. *Opredelenie koncentracij zagrjaznjajushhh veshhestv v atmosfernom vozduhe: Sbornik metodicheskikh rekomendacij*. Moscow: Informacionno izdatel'skij centr Minzdrava Rossii, 1997. P. 321—330.
8. **Jacenko L. A.** Kriterii differenciacii svetlyh nefteproduktov metodom gazozhidkostnoj hromatografii. *Rassledovanie pozharov: Sbornik statej*. Moscow: VNIIP, 2007. No. 2. P. 180—193.
9. **Voronova V. B., Jacenko L. A.** Obnaruzhenie intensifikatorov gorenija metodom gazozhidkostnoj hromatografii po gazovym fazam nad ob#ektami, iz#jatymi s mest pozharov. *Problemy i perspektivy sudebnoj pozharo-tehnicheskoy jeksper-tizy: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Saint-Petersburg, 2015. P. 31—35.

УДК 502.3

И. Г. Яценко¹, канд. геол.-мин. наук, зав лабораторией,
Т. О. Перемитина¹, канд. техн. наук, науч. сотр., e-mail: peremitinat@mail.ru,
В. П. Днепровская¹, мл. науч. сотр., **И. В. Русских**¹, канд. хим. наук, науч. сотр.,
Е. Б. Стрельникова¹, канд. хим. наук, науч. сотр., **Е. С. Воистинова**², науч. сотр.

¹ Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук, Томск

² Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа (СибНИИСХиТ) — филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН), Томск

Применение данных наземного и дистанционного исследований для оценки экологического состояния нефтегазоносных территорий Западной Сибири

Предложена методика оценки совокупного воздействия природных и техногенных факторов на состояние окружающей среды с использованием наземных и спутниковых данных. С использованием метода ИК-спектрометрии определен уровень регионального фонового содержания углеводов в болотных водах, удаленных на разное расстояние от источников антропогенного воздействия. По спутниковым данным с применением ГИС-технологий рассчитаны значения вегетационного индекса растительного покрова (NDVI) средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 по космическим снимкам спутника LANDSAT 8. Проведена количественная оценка реакции растительных сообществ на внешние воздействия за 2013—2016 гг.

Ключевые слова: окружающая среда, космические снимки, геоинформационные системы, месторождения нефти и газа

Введение

Исследуемая в данной статье территория Западно-Сибирской равнины занимает площадь около 3 млн км² и на ней сосредоточены огромные запасы нефти, газа и около 10 % лесных ресурсов страны. Главной отличительной особенностью равнины является ее исключительно высокая заболоченность, обусловленная климатическими и орографическими условиями. Средняя заболоченность ее территории составляет около 50 %, а в отдельных районах, таких как Сургутское Полесье и Васюганье, она достигает 70...80 % [1].

Освоение природных богатств этой территории в условиях значительной заболоченности весьма затруднительно, при этом на экологическое состояние болот оказывает влияние целый набор отрицательных факторов — уничтожение древостоев (рубки), воздействие гусеничного транспорта, разливы нефти, горюче-смазочных материалов, буровых растворов, минерализованных подземных вод, загрязнение стройматериалами, бытовым мусором, металлоломом. Интенсивно развиваются процессы водной эрозии, поскольку

нарушенный растительный покров болот восстанавливается довольно медленно.

В настоящее время эти виды природного и техногенного негативного воздействия рассматриваются как основные факторы нарушения ландшафтных комплексов болот Западно-Сибирской равнины [2]. В связи с тем, что речная сеть и болотные массивы имеют большое экологическое и хозяйственное значение, выполняя водорегулирующую функцию в ландшафтной системе [3], проведение оценки экологического состояния нефтегазоносных территорий Западной Сибири в настоящее время является одной из актуальных задач.

Согласно данным работы [4] лесные земли и болота Томской области составляют соответственно 68,2 и 32 % ее площади, что характеризует территорию области как труднодоступную, со слабой заселенностью и неразвитой инфраструктурой.

В связи с перечисленными особенностями исследуемой территории для получения оперативной оценки состояния растительного покрова нефтегазоносных территорий недостаточно применения только наземных данных о состоянии биосферы. На сегодняшний момент существуют

различные методики, обеспечивающие мониторинг экологического состояния нефтегазоносных территорий, которые различаются физическими принципами действия и чувствительностью. Наиболее эффективными по охвату территории, регулярности и оперативности мониторинга состояния окружающей среды являются методики, основанные на применении данных дистанционного зондирования Земли.

В настоящее время при изучении отклика растительности на различные воздействия все более широкое применение получают данные дистанционного зондирования Земли. В таких исследованиях на космических снимках анализируются изменения вегетационных индексов — показателей, представляющих собой комбинацию из различных спектральных каналов излучения, отраженного от изучаемого объекта.

Эмпирически установлено, что самый распространенный и наиболее часто используемый вегетационный индекс растительного покрова — NDVI (Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс) [4] имеет связь с различными характеристиками растительности на исследуемой территории — прослеживается согласованность в изменении NDVI и количества зеленой растительной биомассы. Поэтому данный индекс можно использовать для регионального картографирования и анализа различных типов ландшафтов, изучения динамики растительных сообществ. Современные системы дистанционного зондирования позволяют получать непрерывные временные ряды NDVI со всеми возможностями их статистического анализа. Значения NDVI позволяют количественно охарактеризовать отклик растительных сообществ на внешние воздействия, изучить их многолетнюю динамику.

Значения NDVI рассчитаны средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 по космическим снимкам спутника LANDSAT 8 — американского спутника наблюдения за поверхностью Земли, запущенного в феврале 2013 г. и имеющего разрешение 30 м. Спутник LANDSAT 8 получает данные, используя два различных сенсора — Operational Land Imager (OLI) и Thermal Infrared Sensor (TIRS). Вместе эти инструменты собирают данные в девяти коротковолновых диапазонах и двух длинноволновых тепловых диапазонах. Целью спутника LANDSAT 8 является предоставление доступа к данным широкой общественности — они доступны для бесплатного

скачивания. Спутник LANDSAT 8 снимает примерно 700 сцен в день с повторным покрытием Земли каждые 16 дней [5].

Целью настоящей работы является изучение возможности применения данных спутниковых наблюдений LANDSAT 8 и ГИС-технологий для оперативного мониторинга состояния объектов окружающей среды нефтедобывающих территорий и сопоставление этих данных с результатами наземных исследований.

Материалы и методы исследования

Отбор проб воды осуществляли в июне-августе 2016 г., в пределах пунктов многолетнего геоэкологического мониторинга стационара "Васюганский" СибНИИСХиТ — филиал СФНЦА РАН, а также в ходе экспедиционных исследований болот Томской и Новосибирской областей. Отбор проб проводился в соответствии с ГОСТ 31861—2012 [6]. Для отбора проб с помощью торфяного бура на каждом болоте организовывали по одной скважине глубиной около 1 м. Пробы отбирали с глубины 30...50 см в специально подготовленную стеклянную посуду. Пункты отбора проб воды приведены на рис. 1. В этих же пунктах были произведены расчеты NDVI с применением космических снимков спутника LANDSAT 8 и геоинформационной системы ArcGis 10.2.2.

Определение массовой концентрации углеродородов (УВ) как природного, так и техногенного происхождения, в болотных водах проводили на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 5700 (разрешение 4 см^{-1} , число сканов пробы — 64) в диапазоне $3100...2700 \text{ см}^{-1}$, в кюветах из NaCl с толщиной

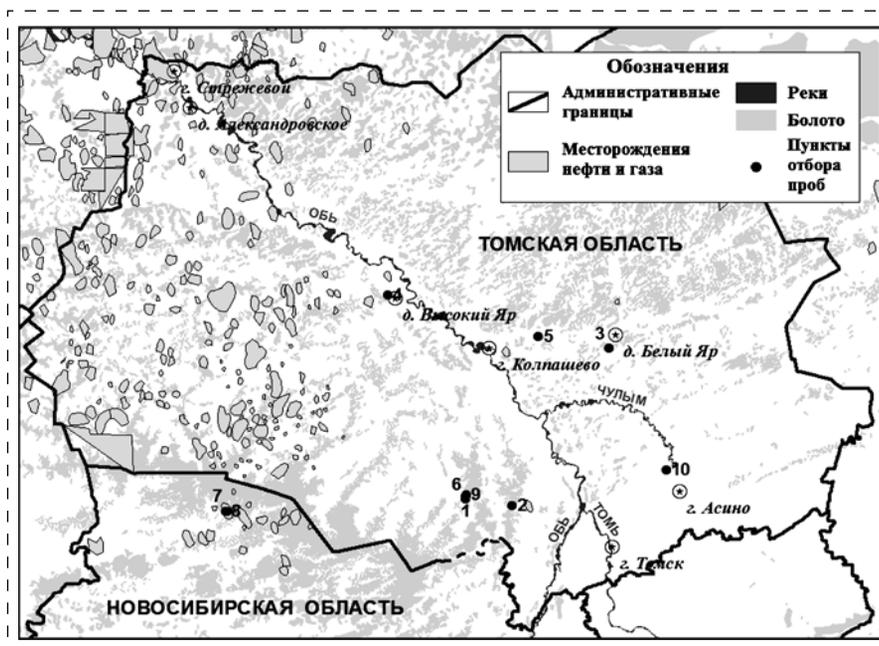


Рис.1. Пункты отбора проб воды

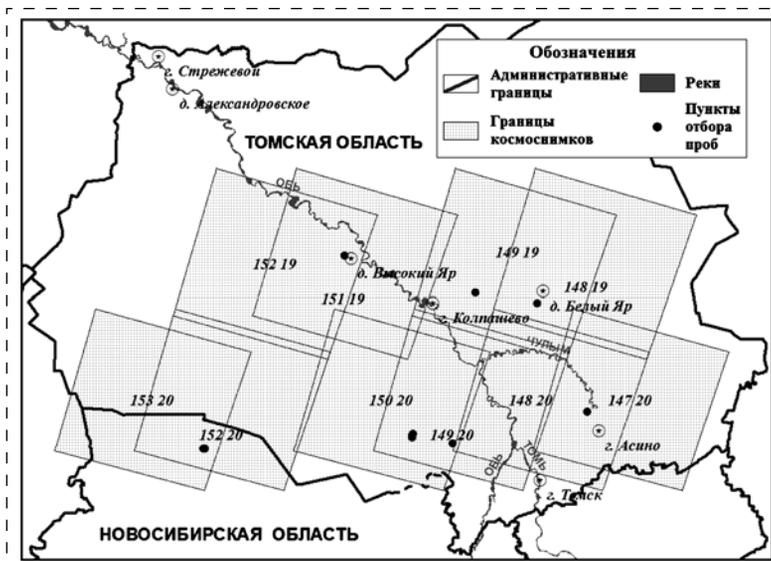


Рис. 2. Коллекция космических снимков спутника LANDSAT 8 на исследуемую территорию

поглощающего слоя 10 мм. Экстракцию УВ из воды осуществляли четыреххлористым углеродом по методике [7].

Для комплексной оценки экологического состояния нефтегазоносных территорий Томской и Новосибирской областей (Васюганское болото) сформирована коллекция разновременных космических снимков спутника LANDSAT 8 в количестве 21 снимка (рис. 2). Значения NDVI рассчитаны за период 2013–2016 гг. с датами съемки 01.06.2013–31.08.2016 гг. (рис. 2)

Известно, что индекс NDVI умеренно чувствителен к изменениям почвенного и атмосферного фона, его расчет базируется на двух

наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений: красной области спектра (длина волны 0,630...0,680 мкм) — максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом и ближней инфракрасной области (длина волны 0,845...0,885 мкм) — область максимального отражения клеточных структур листа, т. е. высокая фотосинтетическая активность ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Индекс NDVI вычисляется как отношение измеренных значений спектральной яркости в красной (RED) и ближней инфракрасной (NIR) областях спектра по формуле [8]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Рассчитанные значения индекса NDVI изменяются в диапазоне от -1 до 1. Благодаря особенностям отражения в NIR и RED областях спектра можно диагностировать состояние растительного покрова и определять природные объекты, не связанные с растительностью, так как они имеют фиксированное значение NDVI, что позволяет использовать этот параметр для их идентификации (табл. 1).

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования было отобрано десять проб воды. Шесть проб в болотах Бакчарское, Центральное, Тисанское, Самара, р. Ключ, а также на участке, прилегающем к месторождению Малоичское-фон, достаточно удаленных от зон антропогенного воздействия и отличающихся слабым развитием транспортной инфраструктуры. Остальные четыре пробы отобраны на участках, в различной степени испытывающих воздействия природных и техногенных факторов.

Результаты определения массовой концентрации углеводорода в воде, приведенные в табл. 2, показали, что в основном это воды природного генезиса по классификации А. С. Шайна [10] и соответствуют категории качества воды "чистая" (0,3...1 ПДК).

Воды Центрального болота и Большого болота, которые находятся в зоне влияния нефтегазоносного сектора Томской области и возможного аэрозольного загрязнения, характеризуются как "умеренно загрязненные" (1...3 ПДК). Вода, отобранная на Иксинском болоте, относится к "загрязненной" (3...10 ПДК). Следует отметить, что на этом болоте с 1998 г. по настоящее время регулярно возникают возгорания и пожары различного масштаба и происхождения. Вода, отобранная на территории

Таблица 1

Значения NDVI и соответствующие им типы объектов [9]

Тип объекта	Диапазон значений NDVI
Очень мощная, густая растительность (например, тропический или широколиственный здоровый лес)	0,8...1,0
Мощная, густая растительность (лес)	0,67...0,8
Скудная, разреженная растительность	0,4...0,5
Кустарники и пастбища	0,2...0,4
Открытая почва	0,09...0,2
Облака	0
Горные породы, песок, снег	-0,1...0,1
Водный объект	-0,42...-0,33
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	-0,55...-0,5

Содержание УВ в водах Томской и Новосибирской областей

Пункты отбора проб	Объект исследования	Концентрация УВ, мг/дм ³ , в воде
1	Бакчарское болото	0,26 ± 0,09
2	Иксинское болото	2,23 ± 0,54
3	Центральное болото	0,33 ± 0,09
4	Большое болото	0,34 ± 0,09
5	Тисанское болото	0,23 ± 0,09
6	Болото Самара	0,25 ± 0,07
7	Разлив нефти на заболоченной территории нефтяного месторождения Малоичское	36,20 ± 3,62
8	Березовый заболоченный лес на нефтяном месторождении Малоичское (Малоичское-фон)	0,19 ± 0,08
9	Малая река Ключ с заболоченностью водосбора 77 % (р. Ключ)	0,17 ± 0,07
10	Болото Ишколь	0,07 ± 0,03
ПДК*		0,30

* Предельно допустимые концентрации (ПДК) нефтепродуктов в воде для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [11]

нефтяного разлива на месторождении Малоичское, отличается максимальной концентрацией УВ и соответствует категории "грязная" (10...100 ПДК), что объясняется прорывом трубопровода и загрязнением близлежащих территорий в конце 2013 г.

Для получения количественной оценки воздействия различных факторов на растительность и выявления зон загрязнения исследуемых территорий была применена разработанная ранее методика, основанная на расчете значений NDVI [12, 13]. На рис. 3 показаны результаты расчетов значений NDVI в десяти пунктах отбора проб воды по спутниковым данным с датами съемки июнь-август 2013—2016 гг.

Известно, что самым опасным и наиболее часто повторяющимся антропогенным воздействием на экосистемы болот являются пожары, уничтожающие все природные комплексы болот. Так, повышенное содержание УВ (см. табл. 2) характерно для воды Иксинского болота (пункт 2)

после пожара, что подтверждается минимальными значениями индекса NDVI = 0,316 (рис. 3).

Максимальные значения индекса NDVI получены в 2014 г. для пунктов 8 — Малоичское-фон (NDVI = 0,798) и 9 — р. Ключ (NDVI = 0,796), а минимальное значение индекса в этом же году соответствует пунктам отбора проб воды 2 — Иксинское болото (NDVI = 0,316) и 7 — Малоичское нефтяное загрязнение (NDVI = 0,481).

Сопоставление результатов расчета индекса NDVI по спутниковым данным (см. рис. 3) и анализ содержания УВ в отобранных пробах воды (см. табл. 2) позволило определить максимальные флуктуации значений расчетов в пунктах 2 — Иксинское болото (NDVI от 0,316 до 0,618) и 7 — Малоичское (NDVI от 0,481 до 0,681).

В связи с этим, проведена оценка экологического состояния нарушенных заболоченных территорий на двух участках: Иксинское осушенное и частично выгоревшее болото (пункт 2) и Малоичское (нефтяной разлив) участок заболоченного леса с торфяной залежью 30 см (пункт 7). При этом на рис. 4, а в качестве объекта сравнения использовали Бакчарское болото (пункт 1), а на рис. 4, б использовали Малоичское-фон (пункт 8).

Из рис. 4, а видно, что изменяются значения индекса NDVI на Иксинском и Бакчарском болотах. Установлено резкое падение значений индекса NDVI в 2014 г., но в 2015 г. наблюдается улучшение состояния растительности, что свидетельствует о наличии процессов самовосстановления растительного покрова исследуемой территории.

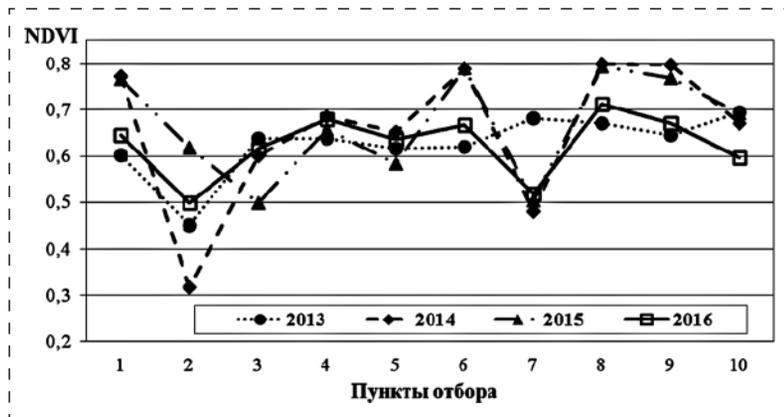


Рис. 3. Значения NDVI в пунктах отбора проб воды (2013—2016 гг.)

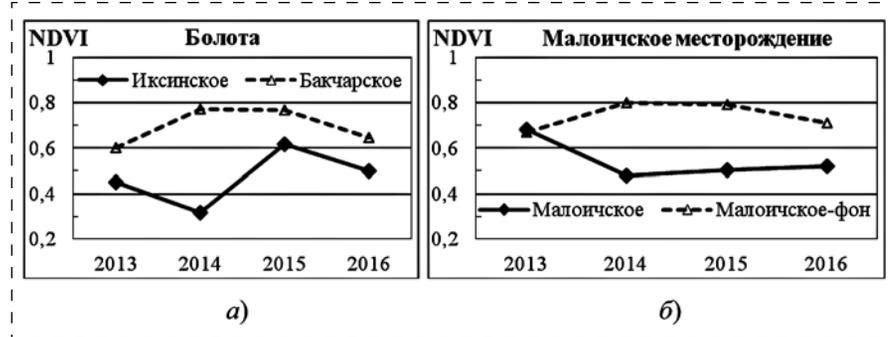


Рис. 4. Значения индекса NDVI в пунктах отбора проб воды Иксинское, Бакcharское и Малоичское за 2013–2016 гг.

Из рис. 4, б следует, что значения индекса NDVI для пунктов 7 — Малоичское, 8 — Малоичское-фон в 2013 г. до загрязнения нефтепродуктами лежат в интервале 0,67...0,68. Состояние растительного покрова для пункта 7 — Малоичское резко ухудшилось с 2014 г., индекс NDVI снизился до 0,481 и далее в течение последних лет очень медленно восстанавливается, достигая в 2016 г. значения 0,518. При этом на территории фонового участка (пункт отбора 8) значение индекса NDVI с 2013 г. увеличилось с 0,681 до 0,711–0,793, что свидетельствует о густой растительности (см. табл. 1).

Заключение

Предложена методика оценки совокупного воздействия природных и техногенных факторов на состояние окружающей среды с использованием наземных и спутниковых данных. С использованием метода ИК-спектрометрии определен уровень регионального фонового содержания углеводородов в болотных водах, удаленных на разное расстояние от источников антропогенного воздействия.

По спутниковым данным с применением ГИС-технологий рассчитаны значения NDVI. Количественно охарактеризован отклик растительных сообществ на внешние воздействия, изучена динамика изменения индекса NDVI исследуемых территорий за 2013–2016 гг. Минимальное значение NDVI установлено на территории болота Иксинское в 2014 г., максимальные значения NDVI получены для пунктов Малоичское-фон и р. Ключ в том же году.

Практическое применение предложенной методики оценки воздействия природных и техногенных факторов на окружающую среду показало, что спутниковые данные целесообразно использовать наряду с результатами наземных исследований.

Таким образом, анализ спутниковых данных позволяет получать дополнительную информацию о состоянии труднодоступных нефтегазовых территорий, что оказывает значительную помощь в своевременной оценке экологической ситуации и принятии решений в устранении и

профилактике загрязнения природных объектов.

Список литературы

1. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / Под ред. К. Е. Иванова, С. М. Новикова. — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — 447 с.
2. Савченко Н. В. Антропогенное воздействие на экосистемы Васюганья и необходимость их охраны // Охрана природы и образование. На пути к устойчивому развитию: Материалы научно-практич. конф. "Проблемы и перспективы охраны природы в Новосибирской области и сопредельных регионах", 3–4 декабря 2008 г. — Новосибирск, 2009. — С. 19–21.
3. Савченко Н. В., Земцов А. А. Современное геэкологическое состояние Васюганского болотного массива. URL: <http://e-lib.gasu.ru/konf/biodiversity/2010/48.pdf> (дата обращения 21.03.2017).
4. Перемитина Т. О., Ященко И. Г. Применение данных спутниковых наблюдений TERRA-MODIS для мониторинга состояния окружающей среды нефтедобывающих территорий Западной Сибири // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 12. — С. 42–48.
5. Как загрузить данные Landsat 8. URL: <http://www.estimote.ru/articles/Download-Landsat-8-Data> (дата обращения 21.03.2017).
6. ГОСТ 31861–2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. — М.: Стандартинформ, 2013. — 32 с.
7. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и сточных водах методом ИК-спектрометрии. ПНД Ф 14.1:2.5-95. — М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, 2004. — 15 с.
8. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геомашика. — 2009. — № 3. — С. 28–32.
9. Евдокимов С. И., Михалоп С. Г. Определение физического смысла комбинации каналов снимков LANDSAT для мониторинга состояния наземных и водных экосистем // Вестник Псковского государственного университета. Серия "Естественные и физико-математические науки". — 2015. — № 7. — С. 21–32.
10. Шайн А. С. Комплексные оценки качества поверхностных вод. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — С. 24–33.
11. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. Л. К. Исаева — СПб.: Эколого-аналитический информационный центр "Союз", 1998. — 896 с.
12. Кобзарь С. К., Перемитина Т. О., Ященко И. Г. Анализ состояния растительности нефтедобывающих территорий Томской области с применением данных дистанционного зондирования // Оптика атмосферы и океана. — 2016. — Т. 29. — № 5. — С. 414–418.
13. Отчет о научно-исследовательской работе "Химия и физикохимия нефти и нефтьсодержащих систем в процессах увеличения нефтеотдачи и транспорта нефти" (заключительный) / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (ИХН СО РАН); рук. Алтунина Л. К. — Томск, 2017. — 199 с. — № ГР 01201372473. — Регистрационный номер ИКРБС № АААА-Б17217031350185-8, дата регистрации 13.03.2017.



I. G. Yashchenko¹, Head of Laboratory, **T. O. Peremitina**¹, Research Associate, e-mail: peremitinat@mail.ru, **V. P. Dneprovskaya**¹, Junior Researcher, **I. V. Russkih**¹, Research Associate, **E. B. Strelnikova**¹, Research Associate, **E. S. Voistina**², Research Associate, ¹Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, ² Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Siberian Branch of the Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of RAS, Tomsk

Application of Land and Remote Data Studies to Assess the Environmental State Oil and Natural Gas-bearer Areas of Western Siberia

A technique for estimating the combined effect of natural and man-made factors on the state of the environment using terrestrial and satellite data is proposed. Using the method of IR-spectrometry, the level of regional background content of hydrocarbons in marsh waters remote from different sources of anthropogenic impact has been determined. According to satellite data with the use of GIS technologies, the values of the vegetation index NDVI are calculated. The values of vegetation index of vegetation cover NDVI are calculated by means of geographic information system ArcGis 10.2.2 on the base satellite images LANDSAT 8. In the work, a quantitative assessment of the response of plant communities to external influences for 2013–2016 was carried out.

Keywords: environment, satellite images, geoinformation systems, oil and natural gas areas

References

1. **Bolota** Zapadnoj Sibiri, ih stroenie i gidrologicheskij rezhim. Pod red. K. E. Ivanova, S. M. Novikova. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 447 p.
2. **Savchenko N. V.** Antropogennoe vozdejstvie na ehkosistemy Vasyugan'ya i neobhodimost' ih ohrany. *Ohrana prirody i obrazovanie. Na puti k ustojchivomu razvitiyu: Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii "Problemy i perspektivy ohrany prirody v Novosibirskoj oblasti i sopredel'nyh regionah", 3–4 dekabrya 2008 g.* Novosibirsk, 2009. P. 19–21.
3. **Savchenko N. V., Zemcov A. A.** Sovremennoe geoehkologicheskoe sostoyanie vasyuganskogo bolotnogo massiva. URL: <http://e-lib.gasu.ru/konf/biodiversity/2010/48.pdf> (date of access 21.03.2017).
4. **Peremitina T. O., Yashchenko I. G.** Primenenie dannyh sputnikovyh nablyudenij TERRA-MODIS dlya monitoringa sostoyaniya okruzhayushchej sredy nefte dobyvayushchih territorij Zapadnoj Sibiri. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2015. No. 12. P. 42–48.
5. **Kak zagruzit' dannye Landsat 8.** URL: <http://www.estimap.ru/articles/Download-Landsat-8-Data> (date of access 21.03.2017).
6. **GOST 31861–2012.** Mezhhgosudarstvennyj standart. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. Moscow: Standartinform, 2013. 32 p.
7. **Metodika** vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii nefteproduktov v prirodnyh i stochnykh vodah metodom IK spektrometrii. PND F 14.1:2.5-95. Moscow: Ministerstvo ohrany okruzhayushchej sredy i prirodnyh resursov Rossijskoj Federacii, 2004. 15 p.
8. **Cherepanov A. S., Druzhinina E. G.** Spektral'nye svoystva rastitel'nosti i vegetacionnye indeksy. *Geomatika*. 2009. No. 3. C. 28–32.
9. **Evdokimov S. I., Mihalap S. G.** Opreделение fizicheskogo smysla kombinacii kanalov snimkov LANDSAT dlya monitoringa sostoyaniya nazemnyh i vodnyh ehkosistem. *Vestnik pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i fiziko-matematicheskie nauki"*. 2015. No. 7. P. 21–32.
10. **Shajn A. S.** Kompleksnye ocenki kachestva poverhnostnyh vod. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. P. 24–33.
11. **Kontrol'** himicheskikh i biologicheskikh parametrov okruzhayushchej sredy. Pod red. L. K. Isaeva. Saint-Petersburg: Ehkologo-analiticheskij informacionnyj centr "Soyuz", 1998. 896 p.
12. **Kobzar' S. K., Peremitina T. O., Yashchenko I. G.** Analiz sostoyaniya rastitel'nosti nefte dobyvayushchih territorij Tomskoj oblasti s primeneniem dannyh distancionnogo zondirovaniya. *Optika atmosfery i okeana*. 2016. Vol. 29. No. 5. P. 414–418.
13. **Otchet** o nauchno-issledovatel'skoj rabote "Himiya i fiziko-himiya nefti i nefte soderzhashchih sistem v processah uvelicheniya nefteotdachi i transporta nefti" (zaklyuchitel'nyj). Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie nauki Institut himii nefti Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk (IHN SO RAN); ruk. Altunina L. K. Tomsk, 2017. 199 p. No. GR 01201372473. Registracionnyj nomer IKRBS No. AAAA-B17217031350185-8, data registracii 13.03.2017.

УДК 378.44+658.382.3

Ю. В. Тягунова, канд. пед. наук, доц., **Н. В. Глотова**, канд. техн. наук, доц.,
И. С. Окраинская, канд. техн. наук, доц., **Ю. В. Медведева**, канд. техн. наук, доц.,
e-mail: julyabakal@mail.ru, Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет), Челябинск

Опыт разработки самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта для направления 20.04.01 Техносферная безопасность*

В статье описан процесс подготовки самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта (СУОС) для направления 20.04.01 Техносферная безопасность в Южно-Уральском государственном университете. Приведены данные анализа основных видов профессиональной деятельности выпускника с учетом потребности работодателей. Определена структура СУОС, сформирована компетентностная модель выпускника, предложены дисциплины базовой части программы магистратуры с учетом формируемых компетенций в научно-исследовательской и производственной деятельности.

Ключевые слова: самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт, компетентностная модель выпускника, виды профессиональной деятельности

Тенденция интеграции высшего образования с различными сферами жизнедеятельности человека нашла свое практическое воплощение в развитии явления проектирования образовательного процесса в университетах в рамках широкого социального диалога. Данное явление было отражено и в нормативно-правовых документах, обеспечивающих образовательный процесс в вузах. Речь идет о Федеральном законе № 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации" и ФГОС ВПО поколения 3 и 3+, которые потребовали от университетов осуществлять разработку Основных образовательных программ (далее ООП) и других методических документов в тесном взаимодействии с представителями работодателей выпускников и самими студентами [1, 2]. Кроме того, национальным исследовательским университетам было разрешено самим разрабатывать образовательные стандарты высшего образования на уровне бакалавриата и магистратуры по различным направлениям подготовки (далее СУОС — самостоятельно устанавливаемые образовательные стандарты).

Следует отметить, что решение этой новой для вузов задачи осуществляется на фоне отсутствия стройной теории социально-педагогического проектирования методического обеспечения подобного уровня и недостаточно накопленного практического опыта. Традиция участия университетов

* Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

в проектировании ООП уже сложилась в стране. Правда, доля этого участия была небольшой: локальный уровень разработки рабочих программ дисциплин преподавателями. Современный ФГОС поднял этот уровень до разработки ООП и даже СУОС.

Поэтому разработка в Южно-Уральском государственном университете (ЮУрГУ) СУОС по направлению подготовки 20.04.01 "Техносферная безопасность", осуществлявшаяся поэтапно, потребовала предварительного создания определенных организационно-педагогических условий.

Во-первых, необходимо было определиться с составом группы разработчиков. В результате в нее вошли:

- 1) специалисты учебно-методического управления вуза;
- 2) преподаватели кафедры БЖД — специалисты в сфере безопасности жизнедеятельности, доктора и кандидаты технических наук;
- 3) преподаватели кафедры БЖД — специалисты в сфере педагогического проектирования, кандидаты педагогических наук;
- 4) выпускники прошлых лет, работающие по специальности;
- 5) представители работодателей.

Все привлеченные преподаватели имели стаж работы не менее 10 лет и занимались исследованиями в различных областях науки.

Основными субъектами образования, участвующими в проектировании образовательных



стандартов, являются государство, университеты, работодатели и другие участники образовательных отношений.

Особенность современного образования в том, что все эти субъекты рационально отстаивают свои социальные и экономические интересы в сфере образовательной деятельности и в определенной степени являются социальными партнерами. Поэтому их отношения опираются на необходимость сочетания сотрудничества и соперничества [3].

У каждого субъекта группы проектирования СУОС есть свои интересы и функции (см. таблицу).

Участие государства, институтов власти и общества в процессе проектирования СУОС обусловлено главным образом следующими, выявленными исследователями [3] обстоятельствами:

- государство выступает как гарант качества спроектированных на основе СУОС ООП;
- государство играет главную роль в регулировании рынка спроектированных коммерческих и некоммерческих ООП в соответствии со своими потребностями.

Участие государства в проектировании СУОС на практике не встречает сопротивления вузов, если предполагает переход к квалифицированному, объективному ориентированию всех заинтересованных субъектов проектирования

к взаимодействию. Свое участие государство ограничивает разработкой ФГОС, обеспечивающими и контролирующими процедурами.

Участие университета обусловлено естественной логикой привлечь к процессу проектирования СУОС тех, кто будет его реализовывать — педагогов.

Участие работодателя оправдано необходимостью своевременного включения в СУОС различных актуальных аспектов будущей профессиональной деятельности выпускников. Компетенции в практике появляются быстрее, чем университет и государство успевают отразить их в проекте СУОС и наладить процесс их формирования. Поэтому участие работодателей становится весьма полезным. Это приводит к необходимости включения в проект СУОС актуальных учебных дисциплин, межпредметных модулей, информации о последних научных достижениях, государственного заказа на содержание образования определенных категорий работников.

Такая совокупность субъектов проектирования и исполнение ими их функций целесообразны для наиболее полного отражения интересов всего социума в содержании СУОС; для ориентации проекта СУОС на потребности контактной аудитории, для обеспечения качества проектирования и его результата — ООП.

Функции субъектов проектирования СУОС

Субъект	Функции
Университет	Проектирование СУОС Оказание информационно-посреднических услуг потенциальным и реальным субъектам проектирования: студентам и работодателям, включая согласование с ними условий будущей работы, размеров, порядка и источников финансирования и др. Адаптация результатов проектирования СУОС в форме учебно-методической документации к требованиям потребителя
Государство	Инициация, поддержка и укрепление благоприятного общественного мнения, позитивного имиджа университетов Финансовая поддержка образования Предоставление гарантии для долгосрочных инвестиций других субъектов в научно-образовательную сферу Регулирование проектирования СУОС с целью обеспечения развития приоритетных специальностей и направлений подготовки, развития науки и образования в целом Организация федеральной системы подготовки и Переподготовки педагогических и управленческих кадров для проектирования СУОС вузов Предоставление гарантии единства федерального культурного и образовательного пространства в условиях многонационального общества Формирование базовых черт вариантов ООП Аттестация и государственная аккредитация университетов Информационное обеспечение вуза через формирование информационно-консультативной базы ООП университетов, ведение статистики, содействие проведению масштабных исследований
Студент, работодатель, посредник	Своевременная актуализация проекта СУОС и ООП, их практикоориентированность Содействие эффективному продвижению спроектированных СУОС университетов на рынке Накопление, обработка, анализ и предоставление информации, консультирование других субъектов проектирования Участие в процессах аккредитации ООП университета, осуществление рекламной деятельности, юридической поддержки Формирование каналов сбыта, организация заключения и содействие выполнению сделок с научно-образовательными продуктами Участие в финансировании, кредитовании и других формах материальной, ресурсной поддержки производителей и потребителей научно-образовательных продуктов

Следующими условиями стали определение допустимых границ участия всех субъектов образования в проектировании СУОС и разработка формы взаимодействия университета с другими субъектами в проектировании СУОС.

Необходимо было определиться с формой организации социально-педагогического партнерства группы разработчиков. Такой формой стал регулярно работающий методический совет. Для этого вида совместной деятельности характерны признаки высокого уровня культуры отношений субъектов проектирования: доверие между партнерами, общие цели и ценности, добровольность и долговременность партнерских отношений, а также признание взаимной ответственности субъектов проектирования за результат их совместной деятельности.

К проектированию СУОС в современном высшем профессиональном образовании наиболее применима концепция, основанная на мотивации и культуре партнерских отношений в ее инициативной, а не формально-принудительной модели (см. рисунок) [3].

В рассматриваемых организационно-педагогических условиях работа группы осуществлялась поэтапно.

На **первом этапе** группой разработчиков формировалась структура СУОС. При формировании структуры документа целесообразно взять за основу методические рекомендации учебно-методического Управления ЮУрГУ по разработке СУОС и включить в данный пакет следующие документы: ФГОС, общую характеристику ООП, учебно-методические документы, требования к организации практик и научно-исследовательских работ, документы итоговой аттестации, рекомендации к использованию образовательных технологий, регламент обновления ООП. Вместе с тем статус научный исследовательский университет предполагает право разработчиков реализовывать и свой научно-методический замысел подготовки выпускников в целях своевременного (а может и опережающего) выдвижения требований к результатам образования в университете по приоритетным направлениям подготовки, обновления содержания образования и логики его реализации. Это право должно фиксироваться в СУОС как научно-методические и организационно-методические документы. В связи с этим необходимо также включить их в структуру ООП.

На **втором этапе** разработчиками изучались существующие нормативные документы, которые могут служить правовой базой разработки СУОС. Изучение документов осуществляется на всех уровнях: от закона "Об образовании в РФ" до положений о частных методических процедурах реализации образовательного процесса на кафедральном уровне университета. В результате

анализа нормативно-правовой базы должен быть сделан вывод о ее достаточности для реализации замысла проектировщиков. В случае недостаточности или неоднозначности нормативных и правовых документов может быть принято решение о преждевременном открытии данной ООП в университете или о необходимости ее доработки на уровне вуза (если возможно). В случае успешного прохождения данного этапа СУОС обогащается полным перечнем нормативных документов — оснований его разработки и реализации.

На **третьем этапе** осмысливалась общая характеристика СУОС на уровне изучения общественных ожиданий и государственных требований к направлению подготовки, содержания и особенностей профессиональной деятельности выпускника, требований к начальному уровню личного ресурса абитуриента, возможных областей профессиональной деятельности выпускника и объектов профессиональной деятельности выпускника. Данные требования зафиксированы в СУОС в разделе 2 и 3. Поскольку вуз вправе осуществлять подготовку студентов в рамках направления к конкретным видам профессиональной деятельности на данном этапе необходимо изучить дополнительно актуальные потребности рынка труда в исполнителях предложенных видов деятельности, возможно, выявить новый вид. Для этого исследуются потребности регионального рынка труда в выпускниках по ООП и проводятся беседы с потенциальными работодателями. Решение о выборе того или иного вида деятельности фиксируется в ООП вместе с основанием принятия данного решения.

В рассматриваемом случае изучение потребностей рынка труда в области техносферной безопасности показало, что стабильным спросом на протяжении, по крайней мере, последних 20 лет пользуются специалисты по охране труда и пожарной безопасности. Человек на производстве является одним из важнейших, медленно возобновляемых ресурсов, ведение промышленного производства без которого практически невозможно. Сохранение этого ресурса является одной из важнейших задач организации производства. Важность подготовки специалистов в области охраны труда не вызывает сомнений, особенно если принять во внимание, что ежегодно в нашей стране (по данным Министерства труда и социальной защиты РФ) происходит около 3000 смертельных и около 7000 тяжелых несчастных случаев на производстве, примерно для 5500 человек впервые устанавливается диагноз "профессиональное заболевание". Суммарные экономические затраты государства и работодателей (включая затраты, возникающие вследствие производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, предоставления дополнительного отпуска и

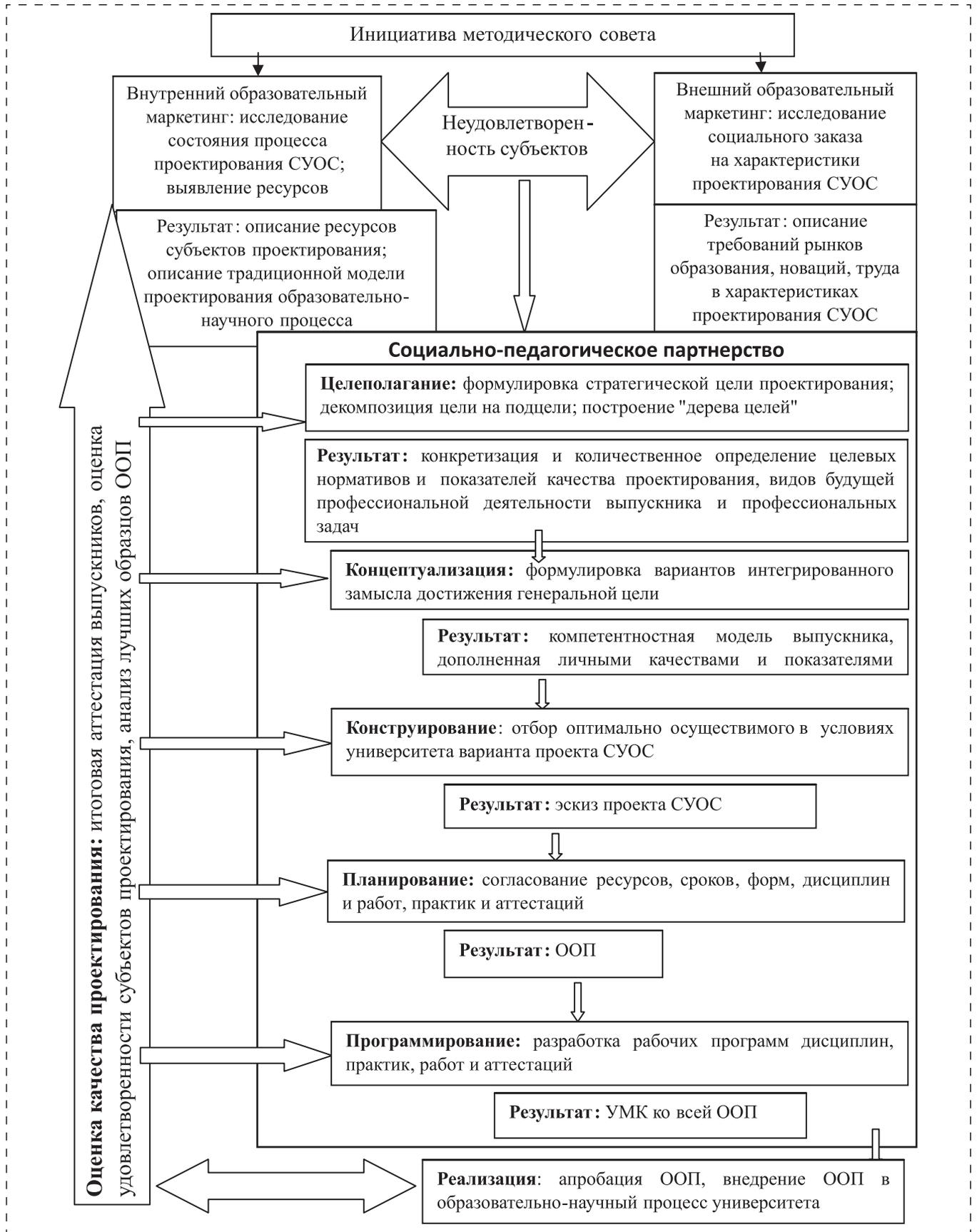


Схема взаимодействия субъектов проектирования СУОС

сокращения продолжительности рабочей недели, выплаты пособий и страховых выплат по обязательному социальному страхованию, выплаты досрочных пенсий, расходы работодателей на компенсации и средства индивидуальной защиты) достигают 1,94 трлн руб., что составляет 4,3 % от ВВП.

Актуальна эта проблема и для Уральского федерального округа, который отличается высокой насыщенностью региона промышленными предприятиями самого разнообразного профиля, перечень которых постоянно расширяется. Так, например, только в Челябинской области открывается несколько горнодобывающих предприятий, активизируется работа предприятий военно-промышленного комплекса. Не менее остро стоит на производстве и проблема обеспечения пожарной безопасности. Ежегодно в стране происходит порядка 140 000 пожаров, прямой материальный ущерб от которых составляет 18...20 млрд руб. в год, погибает около 10 000 человек.

Произошедшее в последние годы (с 2009 г.) укрупнение групп направлений подготовки привело к объединению в направлении 20.00.00 "Техносферная безопасность и природообустройство" нескольких разнородных специальностей ("Безопасность жизнедеятельности в техносфере", "Безопасность технологических процессов и производств", "Защита в чрезвычайных ситуациях", "Пожарная безопасность", "Защита окружающей среды", "Инженерная защита окружающей среды"), каждая из которых требует формирования у выпускника своего набора компетенций (общих, учебно-исследовательских, профессиональных, профильных), требующихся для успешной деятельности в дальнейшем. Все это приводит, по мнению авторов, к некоторому "размыванию" подготовки, формированию у выпускников более широкого кругозора, но одновременно к снижению профессиональной подготовленности к будущей деятельности.

Исправить эту ситуацию возможно, если при разработке СУОС учесть требования профессиональных стандартов по наиболее популярным на рынке труда направлениям профессиональной деятельности, к которым относятся специалист по охране труда (профессиональный стандарт утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 04.08.2014 г. № 524н), а также специалист по противопожарной профилактике (профессиональный стандарт утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 28.10.2014 года № 814н).

Введение системы профессиональных стандартов предъявляет дополнительные требования к организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования.

При разработке СУОС были проанализированы требования профессиональных стандартов "Специалист в области охраны труда" [4] и "Специалист по противопожарной профилактике" [5]. Было выявлено, что в обоих стандартах присутствует трудовая функция, касающаяся вопросов обучения.

Так, в профессиональном стандарте "Специалист в области охраны труда" эта функция сформулирована следующим образом: "Обеспечение подготовки работников в области охраны труда". Данная трудовая функция предполагает знание технологий, форм, средств и методов проведения инструктажей по охране труда, обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда, методов выявления потребностей в обучении работников по вопросам охраны труда, основ психологии, педагогики, информационных технологий [4].

В профессиональном стандарте "Специалист по противопожарной профилактике" предусмотрена трудовая функция "Инструктирование и организация обучения персонала объекта по вопросам пожарной безопасности", которая предполагает умение разрабатывать темы по пожарнотехническому минимуму в соответствии с профессиональной ориентацией обучаемых, обучать работников навыкам оказания первой помощи пострадавшим от опасных факторов пожара, обучать персонал методам правильного применения средств пожаротушения и средств индивидуальной защиты от опасных факторов пожара [5].

Однако проведенный анализ показал, что в ФГОС по направлению 20.04.01 "Техносферная безопасность" отсутствуют требования к результатам освоения программы магистратуры, позволяющие сформировать компетенции в области проведения обучения вопросам безопасности.

Исходя из вышеизложенного, при разработке СУОС к видам профессиональной деятельности, установленным СУОС, был добавлен педагогический вид деятельности.

Педагогический вид деятельности предполагает готовность выпускника магистратуры решать следующие профессиональные задачи:

- управление дополнительным профессиональным образованием сотрудников в сфере техносферной безопасности, включая организацию системы профессионального обучения на производстве, контроль уровня квалификации сотрудников в техносферной безопасности, применение методов стимулирования сотрудников к самообразованию в сфере профессиональной деятельности;
- педагогическая оценка человеческого ресурса сотрудников, разработка программ развития человеческого ресурса, их методическое обеспечение.

Получив ориентировку, разработчики СУОС изучили и ресурсы (в том числе человеческие)



вуза на предмет их наличия, актуальности и достаточности для подготовки студентов к избранным видам деятельности. Анализ ресурсов осуществлялся в связи со всеми заявленными видами профессиональной деятельности по следующим направлениям: человеческие ресурсы профессорско-преподавательского состава, научно-образовательные, информационно-методические, материально-технические. В университете особое внимание следует обращать на наличие ресурсов, направленных на привлечение студентов к научно-исследовательской деятельности в ходе подготовки. Для этого необходимо было проанализировать открытые в вузе научно-образовательные центры, научно-исследовательские инкубаторы, технопарки, научно-образовательно-производственные объединения, механизмы продвижения научных новаций в производство и бизнес и др. Анализ ресурсов отражается в СУОС как доказательство правомерности открытия ООП по данному направлению подготовки в вузе.

На четвертом этапе осуществлялась научно-методическая разработка концептуального замысла образовательного процесса по избранному направлению подготовки. Ядро замысла составляет описание компетентностной модели выпускника (далее КМВ).

Под КМВ понимают научно обоснованный и детализированный образ будущего выпускника университета, результат его профессиональной подготовки в вузе, выраженный системным качеством — его личным ресурсом [3]. Являясь совокупной социально-профессиональной нормой, формализованной целью освоения ООП, компетентностная модель выпускника фиксируется в виде программного документа "КМВ вуза как совокупный ожидаемый результат", входящего в состав пакета документов ООП. Структурно она представляет собой систему документов, включающую:

1) перечень элементов КМВ (компетенций, личных качеств, показателей здоровья), по уровню развитости которых судят о степени соответствия выпускника требованиям и ожиданиям субъектов образования (работодателей, научно-педагогического сообщества, государства, самого студента, общественных организаций);

2) паспорт каждого элемента КМВ с обоснованными нормативными индикаторами (требования к уровню развитости), характеризующими минимальное пороговое значение;

3) перечень обоснованных инструментов, используемых для формирования программы развития элементов КМВ.

Как формализованное описание цели образования, КМВ является предметом и результатом договоренности ее разработчиков. Будучи продуктом широкого социального диалога всех субъектов образования, КМВ предполагает высокое качество разработки. Поскольку она должна

отвечать требованиям всех субъектов образования к результатам подготовки выпускника университета, при ее разработке должны быть соблюдены следующие принципы:

- доступность;
- однозначность и ясность формулировок компетенций для понимания всех субъектов образования;
- наличие инвариантного ядра структуры самой КМВ и компетенций ее составляющих; достижимость в период подготовки всех заявленных в КМВ уровней сформированности компетенций;
- измеримость элементов КМВ;
- актуальность элементов КМВ;
- учет прогнозируемых изменений в науке, экономике, культуре, производстве и других сферах в будущем.

Каждый субъект проектирования СУОС был вправе вносить коррективы в предложенную компетентностную модель. Содержание этих коррективов заключалось: в дополнении перечня компетенций КМВ, повышение заданного во ФГОС уровня определенных компетенций КМВ, достраивания самих компетенций элементами, отвечающими потребностям тех или иных субъектов образования.

На основе анализа требований профессиональных стандартов, проведенного выше, в требования к результатам освоения программы магистратуры в СУОС были дополнительно внесены следующие профессиональные компетенции, соответствующие педагогическому виду профессиональной деятельности:

- способность применять современные формы, методы и средства преподавания актуальных аспектов техносферной безопасности сотрудникам и руководителям организации;
- способность разрабатывать учебно-методический комплекс (УМК) и иную учебно-методическую документацию, сопровождающую образовательный процесс по техносферной безопасности в условиях дополнительного профессионального образования;
- способность оценивать качество программ дополнительного профессионального образования в сфере техносферной безопасности;
- способность к педагогическому измерению и оценке уровня развитости личного ресурса (компетентности, личных качеств, здоровья) сотрудников организации и разработке мероприятий по их развитию образовательными средствами;
- способность разрабатывать контрольно-измерительные средства оценки результатов образования.

При формировании требований к структуре программы магистратуры, в рамках прав,

предоставленных обучающим организациям по самостоятельному формированию базовой части программы магистратуры, обязательной для освоения обучающимся независимо от направленности (профиля) программы, которую он осваивает, в СУОС по техносферной безопасности группой разработчиков в соответствии с требованиями Южно-Уральского государственного университета были введены следующие дисциплины: "Иностранный язык в профессиональной деятельности", "История и методология науки", "Философия технических наук", "Суперкомпьютерное моделирование технических устройств и процессов", "Управление рисками, системный анализ и моделирование", "Экспертиза безопасности", "Организация аудита учреждений". Первые три дисциплины формируют готовность к научно-исследовательской деятельности, давая инструменты для изучения не только отечественной, но и иностранной научной литературы, понимание исторической ретроспективы, методологии и философии научной деятельности. Еще две дисциплины дают обучаемому необходимую в процессе научного познания способность идентифицировать процессы и разрабатывать их рабочие модели, интерпретировать математические модели в нематематическое содержание, определять допущения и границы применимости модели, математически описывать экспериментальные данные и определять их физическую сущность, делать качественные выводы из количественных данных, осуществлять машинное моделирование изучаемых процессов, применять современные информационные технологии при решении научных задач. Последние две дисциплины определяются потребностями профессиональной деятельности выпускников в области техносферной безопасности.

Группой разработчиков были проанализированы требования к условиям реализации программы магистратуры, установленные действующим ФГОС ВО [1]. При этом было принято решение внести изменения в п. 7.2. "Требования к кадровым условиям реализации программы магистратуры".

Подготовка специалистов по техносферной безопасности сложна, требует от преподавателей широкого кругозора и углубленных знаний в самых разнообразных областях техники, технологии, социологии, психологии, педагогики и т. д. Поэтому подготовка студентов, особенно уровня магистратуры должна вестись с привлечением, в основном, кадров высшей квалификации. При разработке СУОС была увеличена доля научно-педагогических работников (в приведенных к целочисленным значениям ставок), имеющих ученую степень (в том числе ученую степень, присвоенную за рубежом и признаваемую в Российской Федерации) и (или) ученое звание (в том числе ученое

звание, полученное за рубежом и признаваемое в Российской Федерации), в общем числе научно-педагогических работников, реализующих программу магистратуры, установив долю не менее 90 % для программы академической магистратуры и 80 % для программы прикладной магистратуры.

В действующем ФГОС ВО [1] отсутствуют требования к оценке качества основных образовательных программ магистратуры, имеющиеся в ФГОС ВПО по направлению подготовки 280700 "Техносферная безопасность" [2].

Поэтому было принято решение добавить в разрабатываемый СУОС п. 8 "Оценка качества основных образовательных программ магистратуры". Выполнение требований п. 8 позволит обеспечить:

- широкий социально-профессиональный диалог в вопросах измерения и оценки качества подготовки выпускников;
- разработку регламента обновления, соответствующего данному СУОС основных образовательных программ, их мониторинг и периодическое рецензирование;
- разработку объективных процедур оценки уровня сформированности общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций выпускников;
- учет в процедурах оценки результатов реализации образовательных программ магистратуры приращения всей целостности человеческого ресурса обучающихся (сформированности компетенций, состояния здоровья, личных качеств);
- обеспечения компетентности преподавательского состава;
- информирования общественности о результатах своей деятельности, планах, инновациях.

Остальное содержание СУОС было принято соответствующим требованиям ФГОС по подготовке специалистов в области техносферной безопасности [1].

Заключение

На кафедре по безопасности жизнедеятельности ЮУрГУ планируется совершенствование приобретенного опыта разработки подобных СУОС методических документов, обеспечивающих образовательный процесс на различных уровнях подготовки и направлениях. Для этого предусмотрены мероприятия, связанные с внутрикафедральным обменом опытом: повышение квалификации, семинары, дискуссии, заседания кафедры.

Данный опыт имеет очевидную практическую значимость для менеджеров образования, методистов, педагогов-исследователей. Кроме того,



статья может быть полезна работодателям, преподавателям и др.

Список литературы

1. **Федеральный государственный образовательный стандарт** высшего образования по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность (уровень магистратуры), утвержденный 06 марта 2015 года приказом № 172 Минобрнауки РФ // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения 01.04.2015).
2. **Федеральный государственный образовательный стандарт** высшего профессионального образования по направлению подготовки 280700 Техносферная безопасность (квалификация (степень) "магистр"), утвержденный 21 декабря 2009 года приказом № 758 Минобрнауки РФ // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2010. — № 12. — 14 с.
3. **Тягунова Ю. В.** Теория и технология проектирования образовательно-научного процесса в университете: Монография. — Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2014. — 194 с.
4. **Профессиональный стандарт** "Специалист в области охраны труда", утвержденный приказом № 524н Министерства труда и социальной защиты РФ от 04 августа 2014 года (с изм. от 05.04.2016) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2014. — № 51. — 19 с.
5. **Профессиональный стандарт** "Специалист по противопожарной профилактике", утвержденный приказом № 814н Министерства труда и социальной защиты РФ от 28 октября 2014 года // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2015. — № 16. — 25 с.

Yu. V. Tyagunova, Associate Professor, **N. V. Glotova**, Associate Professor, **I. S. Okrainskaya**, Associate Professor, **Yu. V. Medvedeva**, Associate Professor, e-mail: julyabakal@mail.ru, South Ural State University (National Research University), Cheljabinsk

Experience in the Development of Independently Established Educational Standard for the Direction 20.04.01 Technosphere Safety

The article describes the process of preparing the self-set educational standard for the direction 20.04.01 Technosphere safety in the South Ural State University. The analysis of the main types of graduate's professional activity, taking into account the needs of employers is provided. The structure of the self-set educational standard is determined, a competence model of the graduate is formed, disciplines of the basic part of the magistracy program are proposed taking into account the formed competences in the research and professional activities.

Keywords: self-set educational standard, competence model of graduate, professional activities

References

1. **Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart** vysshego obrazovanija po napravleniju podgotovki 20.04.01 Tehnosfernaja bezopasnost' (uroven' magistratury), utverzhdenyj 06 marta 2015 goda prikazom No. 172 Minobrnauki RF. *Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii*. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (date of access 01.04.2015).
2. **Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart** vysshego professional'nogo obrazovanija po napravleniju podgotovki 280700 Tehnosfernaja bezopasnost' (kvalifikacija (stepen') "magistr"), utverzhdenyj 21 dekabnja 2009 goda prikazom No. 758 Minobrnauki RF. *Bjulleten' normativnyh aktov federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti*. 2010. No. 12. 14 p.
3. **Tjagunova Ju. V.** Teorija i tehnologija proektirovanija obrazovatel'no-nauchnogo processa v universitete: Monografija. Cheljabinsk: Izdatel'skij Centr JuUrGU, 2014. 194 p.
4. **Professional'nyj standart** "Specialist v oblasti ohrany truda", utverzhdenyj prikazom No. 524n Ministerstva truda i social'noj zashhity RF ot 04 avgusta 2014 goda (s izm. ot 05.04.2016). *Bjulleten' normativnyh aktov federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti*. 2014. No. 51. 19 p.
5. **Professional'nyj standart** "Specialist po protivopozharnoj profilaktike", utverzhdenyj prikazom N 814n Ministerstva truda i social'noj zashhity RF ot 28 oktjabnja 2014 goda. *Bjulleten' normativnyh aktov federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti*. 2015. No. 16. 25 p.

УДК 534.322.3

А. И. Комкин, д-р техн. наук, проф., e-mail: akomkin@mail.ru,
С. Г. Смирнов, канд. техн. наук, доц., МГТУ им. Н. Э. Баумана

Нормотворчество в области шума в России. Последние результаты

Рассмотрены проблемы, связанные с нормотворчеством в области шума в Российской Федерации. Отмечается, что качество выходящей в свет в последнее время нормативной документации существенно снизилось. Этот вывод сделан на основе анализа нескольких недавно появившихся нормативных документов: ГОСТ 12.1.003—2014, СанПиН 2.2.4.3359-16, ГОСТ 7187—2010, в которых содержится целый ряд неточностей, ошибочных определений, а в первом из них еще и ничем необоснованное предложение в виде отказа от использования единиц измерения дБА и дБС. Предлагается повысить качество разработки нормативной документации путем приглашения к их разработке только имеющих авторитет в области технической акустики организаций и квалифицированных специалистов, а также обсуждать эти документы на стадии их разработки с целью своевременного устранения имеющихся неточностей и учета разумных предложений.

Ключевые слова: шум, нормирование шума, нормативные документы, анализ

В октябре 2016 г. скончался известный американский акустик Лео Беранек. За полгода до этого, в апреле 2016 г., в престижном журнале Американского акустического общества вышла его последняя научная статья. В этом, пожалуй, не было бы ничего необычного, если не принимать во внимание тот факт, что статья была написана автором на 102-м году жизни. С восхищением можно констатировать, что Л. Беранеком была прожита долгая и плодотворная жизнь и даже финальный ее отрезок был посвящен размышлениям о его любимой науке — акустике. Его последняя статья называлась "Акустика концертного зала: последние результаты". В память об этом человеке, по книгам которого училось не одно поколение акустиков, название нашей статьи отчасти перекликается с названием его последней публикации.

Как отмечалось Н. И. Ивановым [1], "Масштабы акустического загрязнения окружающей среды и тенденции его роста в Российской Федерации вызывают тревогу и требуют принятия безотлагательных мер". Одной из таких мер является совершенствование нормативных актов в области шума. Некоторые проблемы в нормировании шума и пути их разрешения обсуждались два года назад [2], а также рассмотрены в работе [3]. За последнее время вышел ряд документов, связанных с нормированием шума [4—7]. Однако общей характеристикой этих документов является их слабая проработка. В них имеется целый ряд неточностей, ошибок и непродуманных предложений. С одной стороны, это может быть обусловлено недостаточно высокой квалификацией в этом

вопросе разработчиков нормативных документов, а с другой стороны тем, что на стадии разработки эти документы не проходили широкого обсуждения специалистами профильных организаций. В результате зачастую выход в свет новых нормативных документов становится для специалистов сюрпризом, при этом далеко не всегда приятным. Рассмотрим некоторые из появившихся в последнее время нормативных документов в области шума, уделив основное внимание использованным в них терминам и определениям.

Рассмотрим ГОСТ 12.1.003—2014 [6], обзор которого представлен в работе [8]. Этот документ относится к системе стандартов безопасности труда и, судя по названию, должен заменить собой ранее действовавший ГОСТ 12.1.003—83 [9], который содержал общие требования безопасности, касающиеся шума, в частности нормы шума для различных видов трудовой деятельности. В новом документе такие нормы не устанавливаются. Более того, и сами нормируемые характеристики шума также определены неоднозначно: ими "могут быть, например, эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день, пиковый уровень звука с частотной коррекцией С". Однако вопрос о том, кто должен определять выбор этих характеристик и на какой основе, остается открытым. Вообще, представленные в этом документе общие требования безопасности без конкретизации параметров нормирования представляются чересчур общими. В нем гораздо больше внимания уделяется оценке и измерениям шума на рабочих местах, но этим вопросам посвящен

отдельный нормативный документ ГОСТ Р ИСО 9612—2013 [5]. Да и как можно было для нового документа (ГОСТ 12.1.003—2014) оставить прежние название "Шум. Общие требования безопасности", если в нем, в отличие от старой редакции, нормы шума и не приведены. Ведь основное требование к шуму с точки зрения безопасности является соответствие его значений нормативным.

В ГОСТ 12.1.003—2014 также имеется ряд неточностей и ошибочных утверждений. Например, в нем утверждается, что диапазон слышимых частот ограничивается сверху третьоктавной полосой 10 кГц, хотя в действительности он конечно гораздо выше. Весь пункт 3.1.2 сплошная путаница. В нем предлагается уровень звукового давления определять по формуле

$$L_p = 10 \lg(p^2/p_0^2), \quad (1)$$

где p — мгновенное значение звукового давления, Па; p_0 — опорное значение звукового давления, равное 20 мкПа.

Однако, во-первых, как справедливо отмечено в работе [8] в формуле (1) под логарифмом в числителе отношения стоит величина с размерностью Па, а в знаменателе опорное значение в мкПа, что конечно некорректно. Во-вторых, определение уровня звукового давления через мгновенное значение самого звукового давления не верно, так как таким образом уровни звукового давления в общем могут принимать любые значения, в том числе и отрицательные, если это мгновенное значение меньше опорного значения. Но авторов рассматриваемого документа это не смущает. Далее они отмечают, что так как звуковое давление p и его уровень L_p изменяется во времени, то "для описания шумового воздействия на некотором временном интервале T часто используют средний по этому интервалу уровень звукового давления, называемый эквивалентным уровнем звукового давления". Но такое описание процедуры получения эквивалентного уровня звукового давления ошибочно. Для получения эквивалентного уровня следует вычислять среднее на определенном временном интервале значение квадрата звукового давления, но не среднее значение уровней квадратов мгновенных значений звукового давления, так как последняя величина может в принципе оказаться очень малой величиной и даже не обязательно положительной. Впрочем, далее авторы все-таки приводят правильную формулу для эквивалентного уровня звукового давления и ее описание, взятые, по-видимому из ISO/TR 25417:2007 [10]:

$$L_{p,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{p_0^2} \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt \right]. \quad (2)$$

Следует отметить, что в ISO/TR 25417:2007 помимо формул (1) и (2) имеются также и примечания к ним. Так вот если внимательно прочитать эти примечания, то оказывается, что "под p^2 всегда подразумевают квадрат звукового давления, скорректированного по заданной частотной характеристике, в заданной полосе частот или при заданной временной характеристике". Таким образом, определение входящей в формулу (1) величины p^2 существенно расширяется, а не ограничивается только мгновенным значением звукового давления, и тогда все встает на свои места.

Заметим, что допущенная авторами ГОСТ 12.1.003—2014 путаница с определением эквивалентного уровня звукового давления отчасти обусловливается некоторой неоднозначностью в определениях, имеющей место и в основополагающем международном стандарте [10], где величина, описываемая формулой (2), с одной стороны, определяется как "средний по времени уровень звукового давления", что неверно отражает суть формулы (2), так как туда не входят мгновенные уровни звукового давления, которые бы подвергались усреднению. С другой стороны, эта величина в стандарте [10] определяется и как "эквивалентный текущий уровень звукового давления", что представляется более подходящим определением, за исключением одного, что слово "текущий" в нем следует убрать. Оно было бы уместно, если бы в формуле (2) использовалось не линейное, а экспоненциальное усреднение.

Заметим, что эквивалентный уровень по сути определяет полученный с помощью процедуры усреднения (2) уровень непостоянного шума, равный по своему значению уровню постоянного шума. Таким образом понятие эквивалентный уровень предполагает, что шум разделяется на постоянный и непостоянный. Отметим, что, хотя в международном стандарте ISO/TR 25417:2007 [10] соответствующие пояснения даны, в рассматриваемом ГОСТ 12.1.003—2014 они, к сожалению, отсутствуют.

Формулой, аналогичной формуле (2), в стандарте [6] определяется и эквивалентный уровень звука p_A (с частотной коррекцией A)

$$L_{pA,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{p_0^2} \frac{1}{T} \int_0^T p_A^2(t) dt \right]. \quad (3)$$

При этом в документе [6] вносится предложение отказаться от использования единиц измерения уровней звука дБА и дБС, что конечно является апофеозом нормотворчества. Тут даже нет слов, чтобы достойно прокомментировать эту новацию, настолько она несуразна. Отказались бы тогда уж сразу и от термина "уровень звука", который используется широко в отечественной практике. Представляется, что такие новации

могли предложить только те, кто мало связан с практической акустикой. Сожаление вызывает и само введение в действие ГОСТ 12.1.003—2014 [6], мало что имеющего общего с ранее действовавшим одноименным стандартом [9].

Главным по степени важности из нормативных документов, вышедших в последнее время, несомненно является **СанПиН 2.2.4.3359-16** [7]. По существу, он заменил собой в части нормирования шума на рабочих местах действовавший ранее документ СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [11]. За основу документа [7] взят проект документа "Гигиенические требования к физическим факторам производственной и окружающей среды" [12], который выставлялся на обсуждение несколько лет назад. Раздел этого документа, относящийся к шуму, обсуждался в работе [2], где был высказан ряд критических замечаний. В первую очередь это относилось к общим положениям раздела, где даны основные термины и определения, которые были практически без изменений помещены в СанПиН 2.2.4.3359-16 [7]. К сожалению, эти замечания не были учтены, поэтому остановимся на них подробнее.

Первое замечание относилось к определению тонального шума, наличие которого рекомендуется устанавливать по превышению уровня в одной из 1/3-октавных полос над соседними не менее чем на 10 дБ. Однако такое определение является безусловно давно устаревшим, относящимся к тому времени, когда основным инструментом детального частотного анализа являлись 1/3-октавные фильтры. Чистый тон, являясь гармоническим колебанием на определенной частоте, сегодня достаточно просто идентифицируется с помощью БПФ-анализаторов, тем более что существенное превышение уровня в одной из 1/3-октавных полос может обуславливаться и узкополосным случайным шумом, который конечно не относится к тональному шуму. Критерий тональности шума на определенной частоте, на которой его уровень заметно превышает уровни шума на соседних частотах, состоит в том, что при изменении разрешающей способности спектрального анализа уровень шума на этой частоте остается неизменным.

Второе замечание относилось к определению постоянного шума, который считается таковым, если его уровень за время измерения отличается не более чем на 5 дБА. Собственно, такое определение не является нововведением, оно было еще в старой редакции рассмотренного выше ГОСТ 12.1.003—2014 [9]. Тем не менее его вряд ли можно считать оправданным. Покажем это на простом примере. Имеется три одинаковых источника шума, равноудаленных от точки измерения, каждый из которых работая по отдельности создает в расчетной точке шум с уровнем L_A , дБА. Если

одновременно действует два источника шума, то в измерительной точке этот уровень возрастает на величину $\Delta L_A = 10 \lg 2 \approx 3$ дБА, а при одновременной работе трех источников — на величину $\Delta L_A = 10 \lg 3 \approx 4,8$ дБА, что по-прежнему в пределах 5 дБА, определяющем постоянство шума. Но это нонсенс! Шум при работе разного числа источников шума будет существенно меняться, а согласно приведенному выше определению его следует считать постоянным. Возможно цифра 5 дБА в качестве критерия постоянного шума принималась исходя из субъективных особенностей человеческого восприятия звука. Однако здесь речь идет об измерении шума, поэтому более оправданно для постоянного шума считать допустимый разброс в измеряемых уровнях его звука менее 2 дБА, учитывая, что оценке достоверности получаемых результатов измерений в современных нормативных документах по шуму уделяется большое внимание.

Третье замечание относится к определению уровней шума. В документе [7] уровень звукового давления и эквивалентный уровень звукового давления определяются как десять логарифмов отношения квадрата звукового давления к квадрату опорного значения. Однако такое определение принципиально неверно. Так как квадрат звукового давления непрерывно изменяется во времени, то также непрерывно будет изменяться и логарифм этой величины, принимая в частности и отрицательные значения. Под логарифмом должна стоять усредненная на некотором временном интервале величина, что собственно и имеет место на практике при проведении измерений. С этой точки зрения целесообразно было бы привести просто формулы, определяющие соответствующие уровни шума, что как раз и делалось в действовавших ранее нормативных документах, чем использовать вместо этого словесные описания, да еще неверные. Также неверны и приведенные в СанПиН 2.2.4.3359-16 [7] определения для уровня звука и эквивалентного уровня звука. При этом для последней величины приведена и соответствующая формула, по сути совпадающая с формулой (3), но стоящая в этой формуле под логарифмом величина некорректно определена как "квадрат среднеквадратичного значения уровня звука", что вообще является бессмыслицей.

Вместе с тем положительной стороной СанПиН 2.2.4.3359-16 является современный подход к вопросам нормирования шума, согласующийся с мировыми тенденциями в этом вопросе. Во-первых, при таком подходе основным нормируемым показателем шума на рабочих местах является эквивалентный (максимальный) уровень звука, а уровни звукового давления в октавных полосах частот перестают быть нормируемыми параметрами и становятся справочными, которые могут использоваться, например, при разработке



мероприятий по защите от шума. Во-вторых, возможно некоторое послабление при нормировании уровней шума, которое состоит в допустимости увеличения нормативного значения уровня звука 80 дБА до 85 дБА при условии, что работодателем будут проведены необходимые мероприятия, направленные на минимизацию рисков здоровья работающих. Оправданность такого подхода, широко используемого в мировой практике, обосновывалась два года назад на одной из конференций [2, 3]. Такой шаг знаменует собой переход от декларативного нормирования к реальному нормированию, основанному на возможностях (технологических, технических и т. п.) сегодняшнего дня.

Еще одной положительной стороной СанПиН 2.2.4.3359-16 является то, что в нем не стали отказываться от использования при нормировании единиц измерения дБА и дБС, как это было предписано ГОСТ 12.1.003—2014. С одной стороны, это не может не вызывать удовлетворения, но, с другой стороны, отчетливо показывает небрежное отношение к вновь разрабатываемым нормативным документам.

Следует отметить, что в СанПиН 2.2.4.3359-16 [7] при интерпретации процесса получения уровня звукового давления и уровня звука, основанного на использовании временной коррекции экспоненциального вида, делается ссылка на ГОСТ 7187—2010 [4]. Этот ГОСТ разработан той же организацией, что и рассмотренный выше ГОСТ 12.1.003—2014. В нормативном документе [4] также имеется целый ряд неточностей и ошибок. Коснемся лишь некоторых из них. Так, в разделе термины и определения ГОСТ 7187—2010 введены понятия частотной и временной коррекции.

В п. 3.3 дается определение частотной коррекции для шумомера — разность между уровнем сигнала, показываемым на устройстве отображения шумомера, и соответствующим уровнем установившегося синусоидального (далее — синусоидально-го) входного сигнала с постоянной амплитудой как функция частоты [4]. Разве можно понять из этого определения не то что суть, а хотя бы вообще что-нибудь, особенно человеку, несведущему в этой области. Каждое слово этого определения вопиет о том, что его писали люди, не имеющие даже отдаленного представления о технической акустике вообще и об устройстве шумомера в частности.

В п. 3.2 [4] дается определение уровня звукового давления, дБ: двадцать десятичных логарифмов отношения среднеквадратичного значения данного звукового давления к опорному звуковому давлению.

Далее в п. 3.5 дается очень запутанное определение уровня звука, который здесь [4] называется "уровень звука с временной коррекцией", дБ. Но почему использованы такие различные подходы в определениях? Ведь отличие уровня звукового давления от уровня звука только в том, что

в первом случае исходной величиной является звуковое давление, а во втором скорректированное по частоте звуковое давление. Следовало использовать термин "временная коррекция" в обоих определениях или вообще его не использовать.

Самое интересное начинается в примечаниях к п. 3.5, которые разработчики стандарта [4] добавили так сказать от себя: заявленный в самом пункте термин "уровень звука с временной коррекцией" заменили почему-то термином "корректированный по А (или) С уровень звука". Но это в корне не верно. Можно сказать "уровень звука А", но нельзя — "скорректированный по А уровень звука". Уровень звука не корректируют, он есть сам результат коррекции. Корректируется только уровень звукового давления! Как ни печально, но все это говорит о том, что авторы документа совсем не понимают, чем отличается уровень звука от уровня звукового давления.

Заметим также, что в стандарте [4], а именно в п. 3.5 и примечании к нему, так же как и в ГОСТ 12.1.003—2014 [6] предложено отказаться от использования в обозначениях единиц измерения дБА и дБС. Однако в п. 3.8 есть определение: "пиковый скорректированный по С уровень звука, дБС". Тут уж вообще комментарии излишни.

Теперь остановимся на используемом в ГОСТ 7187—2010 термине "временная коррекция". Он вводится при математическом определении уровня звука

$$L_A(t) = 10 \lg \left[\frac{1}{p_0^2} \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t p_A^2(\xi) e^{-(t-\xi)/\tau} d\xi \right], \quad (4)$$

где ξ — переменная интегрирования; τ — постоянная времени.

Экспоненциальная функция под интегралом в формуле (4) рассматривается как функция временной коррекции. Кроме того, последовательность обработки сигнала, реализующая формулу (4), разработчики ГОСТ 7187—2010 иллюстрируют рисунком. Однако следует отметить, что представленная на нем схема соответствует фильтрации сигнала фильтром низких частот. Поэтому в действительности здесь осуществляется не временная, а частотная коррекция сигнала. Это согласуется и с формулой (4), которая по сути представляет собой свертку функций $p_A^2(\xi)$ и экспоненциальной функции, выраженной в виде интеграла Дюамеля [13]. При этом экспоненциальная функция представляет собой импульсную характеристику простейшего фильтра низких частот — RC-цепи, для которой произведение сопротивления R на емкость C будут определять постоянную времени τ . Формула (4) по сути реализует процедуру вычисления экспоненциально взвешенного текущего среднего, определяемого постоянной времени τ . При этом на практике



Последовательность обработки сигнала при формировании показаний уровня звука с временной коррекцией

используются три постоянных времени: S (медленно, $\tau = 1$ с), F (быстро, $\tau = 0,125$ с) и I (импульс, $\tau = 0,035$ с). Но конечно такую процедуру нельзя рассматривать как временную коррекцию квадрата звукового давления, каковой является, например, процедура амплитудной или частотной модуляции сигнала. Иначе с таким же основанием временной коррекцией можно считать и любую частотную коррекцию сигнала, скажем коррекцию A , ведь она также может быть описана интегралом Дюамеля (4) с соответствующей этой коррекции импульсной характеристикой. Таким образом, использование термина временная коррекция в данном случае только запутывает дело, затрудняя понимание принципов работы шумомера.

Впрочем, справедливости ради надо признать, что термин временная коррекция не является нововведением разработчиков ГОСТ 7187—2010, а имеет относительно глубокие исторические корни [14], встречаясь во многих зарубежных стандартах, в частности с IEC 61672-1:2002, на котором основывалась разработка отечественного ГОСТ 7187—2010 [4]. Вместе с тем имеющиеся недостатки в зарубежных нормативных документах, с которыми проводится гармонизация при разработке отечественных стандартов, умноженные на ошибки в переводе исходных текстов, которые связаны, как правило, с низкой квалификацией и некомпетентностью переводчиков и редакторов, приводят, как в данном случае, к появлению нормативных документов удручающе низкого качества. Эта появившаяся в последнее время негативная тенденция отмечена в работе [15] при анализе одного из введенных в действие стандартов, связанного с расчетом шума на местности ГОСТ 31295.2—2005.

В данной статье рассмотрены некоторые вышедшие в последнее время нормативные документы, посвященные шуму, как правило, те разделы, которые связаны с терминами и определениями. Однако приведенный ряд замечаний является неполным.

Как показал проведенный анализ, в настоящее время нет установившихся акустических терминов и соответствующих им определений, связанных с измерениями шума. Представляется целесообразным для величины, определяемой формулой (4) и непрерывно изменяющейся по времени, ввести термин "текущий уровень звука". В то же время

для величин, определяемых формулами (2) и (3), оставить термины "эквивалентный уровень звукового давления" и "эквивалентный уровень звука".

В заключение следует отметить, что выходящие в свет в последнее время нормативные документы плохо проработаны и нуждаются, по крайней мере, в серьезном научном редактировании. Для улучшения качества нормативных документов необходимо, во-первых, повышать квалификацию разработчиков документов, поручать выполнение этой работы специалистам и организациям, имеющим авторитет в данной области знаний. Во-вторых, проводить открытые обсуждения нормативных документов на стадии их разработки, что позволило бы как устранить имеющиеся погрешности и недостатки, так и учесть сделанные в результате обсуждения разумные предложения. В-третьих, добиваться того, чтобы сделанные в процессе обсуждения рациональные замечания были учтены при доработке нормативных документов. Хотелось бы, чтобы сделанные замечания были услышаны государственными организациями и лицами, отвечающими за разработку и утверждение нормативных документов, таких как Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии РФ и Главный государственный санитарный врач РФ. Без всего этого качество и авторитет выпускаемых нормативных документов будет снижаться и далее, а пренебрежительное отношение к ним только увеличиваться.

Список литературы

1. Иванов Н. И. Концепция снижения шума в РФ // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции, 18—20 марта 2015 г., СПб. / Под ред. Н. И. Иванова. — СПб., 2015. — С. 14—26.
2. Комкин А. И., Готлиб Я. Г., Алимов Н. П. Нормирование шума как поиск компромисса // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции, 18—20 марта 2015 г., СПб. / Под ред. Н. И. Иванова. — СПб., 2015. — С. 537—534.
3. Комкин А. И., Готлиб Я. Г., Смирнов С. Г. Нормирование шума. Реальный подход к проблеме // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 10. — С. 23—30.
4. ГОСТ 17187-2010. Шумомеры. Часть 1. Технические требования. — М.: Стандартинформ, 2012. — 32 с.
5. ГОСТ Р ИСО 9612—2013 Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах. — М.: Стандартинформ, 2014. — 32 с.
6. ГОСТ 12.1.003—2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. — М.: Стандартинформ, 2015. — 26 с.
7. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах:



- URL: <http://docs.cntd.ru/document/420362948> (дата обращения 01.12.2017).
8. **Ванаев В. С.** О межгосударственном стандарте ГОСТ 12.1.003—2014. "Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности" // Безопасность жизнедеятельности. — 2016. № 10. — С. 57—64.
 9. **ГОСТ 12.1.003—83.** Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. — М.: Стандартинформ, 2008. — 12 с.
 10. **ISO/TR 25417:2007.** Акустика — Определения основных терминов и величин. — М.: Стандартинформ, 2008. — 18 с.
 11. **СН 2.2.4/2.1.8.562—96.** Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. — М.: Минздрав России, 1997. — 20 с.
 12. **Ведомственное постановление** "Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил и норм СанПиН "Гигиенические требования к физическим факторам производственной и окружающей среды""; URL: <http://regulation.gov.ru/project/3242.html> (дата обращения 01.02.2015).
 13. **Баскаков С. И.** Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Высш. школа, 1983. — 536 с.
 14. **Снижение шума в зданиях и жилых районах** / Под ред. Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина. — М.: Стройиздат, 1987. — 558 с.
 15. **Комкин А. И.** ГОСТ 31295.2—2005 как руководство для акустических расчетов // Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сб. докладов IV Всероссийской научно-практической конференции. — СПб., 2013. — С. 299—305.

A. I. Komkin, Professor, e-mail: akomkin@mail.ru, **S. G. Smirnov**, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University

Rulemaking in the Field of Noise in Russia. Latest Results

The paper discusses problems associated with rulemaking in the area of noise in the Russian Federation. It is noted that the quality of the normative documentation that has been published recently has significantly decreased. This conclusion is made on the basis of the analysis of several recently appeared standards: GOST 12.1.003-2014, SanPiN 2.2.4.3359-16, GOST 7187-2010. They contain a number of inaccuracies, erroneous definitions, and in the first of them there is nothing unreasonable proposal in the form of refusal to use the units of measurement dBA and dBC. It is proposed to improve the quality of development of normative documents by inviting only organizations with an established reputation in the field of technical acoustics and qualified specialists to discuss them, as well as discussing these documents at the stage of their development with a view to timely eliminating inaccuracies and taking into account reasonable proposals.

Keywords: noise, normalization of noise, normative documentation, analysis

References

1. **Ivanov N. I.** Konceptiya snizheniya shuma v RF. *Zashchita ot povyshennogo shuma i vibracii: Sbornik dokladov V Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 18—20 marta 2015 g., Saint-Petersburg.* Pod red. N. I. Ivanova. Saint-Petersburg, 2015. P. 14—26.
2. **Komkin A. I., Gotlib YA. G., Alimov N. P.** Normirovanie shuma kak poisk kompro-missa. *Zashchita ot povyshennogo shuma i vibracii: Sbornik dokladov V Vseros-sijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 18—20 marta 2015 g., Saint-Petersburg.* Pod red. N. I. Ivanova. Saint-Petersburg, 2015. P. 537—534.
3. **Komkin A. I., Gotlib Ya. G., Smirnov S. G.** Normirovanie shuma. Real'nyj podhod k problem. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti.* 2015. No. 10. P. 23—30.
4. **GOST 17187—2010.** Shumomery. Chast' 1. Tekhnicheskie trebovaniya. Moscow: Standartinform, 2012. 32 p.
5. **GOST R ISO 9612—2013.** Akustika. Izmereniya shuma dlya ocenki ego vozdejstviya na cheloveka. Metod izmerenij na rabochih mestah. Moscow: Standartinform, 2014. 32 p.
6. **GOST 12.1.003—2014.** Sistema standartov bezopasnosti truda. Shum. Obshchie trebovaniya bezopasnosti. Moscow: Standartinform, 2015. 26 p.
7. **SanPiN 2.2.4.3359-16.** Sanitarно-ehpidemiologicheskie trebovaniya k fizicheskim faktoram na rabochih mestah: URL: <http://docs.cntd.ru/document/420362948> (date of access 01.12.2017).
8. **Vanaev V. S.** O mezhgosudarstvennom standarte GOST 12.1.003—2014. "Sistema standartov bezopasnosti truda. Shum. Obshchie trebovaniya bezopasnosti". *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti.* 2016. № 10. P. 57—64.
9. **GOST 12.1.003—83.** Sistema standartov bezopasnosti truda. Shum. Obshchie trebovaniya bezopasnosti. Moscow: Standartinform, 2008. 12 p.
10. **ISO/TR 25417:2007.** Akustika — Opredeleniya osnovnyh terminov i velichin. Moscow: Standartinform, 2008. 18 p.
11. **SN 2.2.4/2.1.8.562-96.** Shum na rabochih mestah, v pomescheniyah zhilyh, obshchestvennyh zdaniy i na territorii zhiloy zastroyki. Moscow: Minzdrav Rossii, 1997. 20 p.
12. **Vedomstvennoe postanovlenie** "Ob utverzhenii sanitarno-ehpidemiologicheskikh pravil i norm SanPiN "Gigienicheskie trebovaniya k fizicheskim faktoram proizvodstvennoj i okruzhayushchej sredy""; URL: <http://regulation.gov.ru/project/3242.html> (date of access 01.02.2015).
13. **Baskakov S. I.** Radiotekhnicheskie cepi i signaly. Moscow: Vysshaja shkola, 1983. 536 p.
14. **Snizhenie shuma v zdaniyah i zhilyh rajonah.** Pod red. G. L. Osipova, E. Ya. Yudina. Moscow: Strojizdat, 1987. 558 p.
15. **Komkin A. I.** GOST 31295.2—2005 kak rukovodstvo dlya akusticheskikh raschetov. *Zashchita naseleniya ot povyshennogo shumovogo vozdejstviya: sb. dokladov IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii.* SPb., 2013. P. 299—305.

Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"

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

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

Телефон главного редактора (812) 670-9376(55), e-mail: rusak-maneb@mail.ru

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

Сдано в набор 03.07.17. Подписано в печать 22.08.17. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ917.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания

и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Оригинал-макет ООО "Авансед солишнз".

Отпечатано в ООО "Авансед солишнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru