



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

**Редакционный совет:**

БАЛЫХИН Г. А., д.э.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)  
 КЛИМКИН В. И., к.т.н.  
 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:**

БЕЛИНСКИЙ С. О., к.т.н., доц.  
 ВАСИЛЬЕВ А. В., д.т.н., проф.  
 ИВАНОВ Н. И., д.т.н., проф.  
 КАЧУРИН Н. М., д.т.н., проф.  
 КОСУРКОВ 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.  
 ЛУЩИ С., проф. (Италия)  
 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.  
 СИМАНКИН А. Ф., к.т.н., доц.  
 ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г., д.т.н., проф.  
 ФИЛИН А. Э., д.т.н., доц.  
 ФРИДЛАНД С. В., д.х.н., проф.  
 ЦЗЯН МИНЦЮНЬ, д.т.н.,  
 проф. (Китай)  
 ШВАРЦБУРГ Л. Э., д.т.н., проф.

5(185)  
2016

СОДЕРЖАНИЕ

**ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

Михайлов В. А., Сотникова Е. В., Калпина Н. Ю. Очистка воздуха от мелкодисперсной пыли в инновационной орошаемой насадке для охладителей кабин самоходных машин . . . . . 3  
 Короткий А. А., Журавлева М. А. Риск-ориентированный подход для промышленных предприятий . . . . . 8  
 Прокошина Т. С. Влияние рабочего положения оператора универсального токарно-винторезного станка на его производительность труда и уровень соматического здоровья . . . . . 14

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ**

Романюк Е. В., Каргашилов Д. В., Некрасов А. В. Модернизация циклонов для повышения эффективности пылеулавливания . . . . . 18

**ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ**

Шаланин В. А., Федоренко С. В. Оценка влияния условий сброса на пропускную способность водосливов . . . . . 23

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Таранцев А. А., Чашин А. С., Нодь А. П. Моделирование вероятностей аварийных режимов в электросетях автотранспортных средств . . . . . 29

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ**

Ткаченко Ю. Л., Соколова А. А., Астраханцева А. Д., Алексанян А. Н., Вылегжанина Е. С., Диденко А. Ф., Меликова М. Т. Автономный модуль для обеспечения безопасности жизнедеятельности в Арктике . . . . . 33  
 Тилегенов И. С., Сейдалиев Т. О. Концептуальные проблемы экологической безопасности в Республике Казахстан . . . . . 38

**ОБРАЗОВАНИЕ**

Кирикова О. В., Бондаренко А. В., Гаполюк Н. А. Из опыта преподавания дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" бакалаврам: О проведении семинаров на тему "Расчет системы виброизоляции стационарных машин и оборудования" . . . . . 46  
 Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сенник Е. В. Обмен опытом по постановке лабораторного практикума в курсе "Безопасность жизнедеятельности": Оценка риска подтопления и затопления селитебных территорий . . . . . 51  
 Егоров Э. Н. Практическая работа для студентов вузов по теме "Вредные вещества" . . . . . 56

**ИНФОРМАЦИЯ**

О заседании редакционного совета и редакционной коллегии журнала . . . . . 64

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, и включен в систему Российского индекса научного цитирования.



# LIFE SAFETY

## BEZOPASNOST' ŽIZNEDATEL'NOSTI

The journal published since  
January 2001

### Editorial board

BALYKHIN G. A., Dr. Sci. (Econ.)  
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.)  
KLIMKIN V. I., Cand. Sci. (Tech.)  
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

BELINSKIY S. O.,  
Cand. Sci. (Tech.)  
VASILYEV A. V., Dr. Sci. (Tech.)  
IVANOV N. I., Dr. Sci. (Tech.)  
KACHURIN N. M., 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.)  
LUZZI S. (Italy), Prof.  
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. (Jurid.)  
SIMANKIN A. F., Cand. Sci. (Tech.)  
TOPOLSKIY N. G., Dr. Sci. (Tech.)  
FILIN A. E., Dr. Sci. (Tech.)  
FRIDLAND S. V., Dr. Sci. (Chem.)  
JIANG MINGJUN (China), Prof.  
SHVARTSBERG L. E.,  
Dr. Sci. (Tech.)

5(185)  
2016

## CONTENTS

### LABOUR PROTECTION AND POPULATION HEALTH

- Mikhailov V. A., Sotnikova E. V., Calpina N. Yu.** Air Cleaning from Fine-Dispersed Dust in Innovative Irrigated Attachment for Cooler Cabins of Self-Propelled Machines ..... 3  
**Korotkij A. A., Zhuravleva M. A.** The Risk-Based Approach for Industrial Enterprises ..... 8  
**Prokoshina T. S.** The Influence of Working Posture of a Machine Operator of Universal Chasing Lathe on a Labor Productivity and on Its Somatic Health Level ..... 14

### ENGINEERING SOLUTIONS

- Romanyuk E. V., Kargashilov D. V., Nekrasov A. V.** Modernization of the Cyclone to Improve the Efficiency of Dust Catching ..... 18

### SITUATION OF EMERGENCY

- Shalanin V. A., Fedorenko S. V.** The Influence Estimation of Spillage Conditions on Throughput of Spillways ..... 23

### FIRE SAFETY

- Tarantsev A. A., Chashchin A. S., Nod' A. P.** Modeling of Probabilities of Emergency Operation in Power Supply Networks of Vehicles ..... 29

### REGIONAL PROBLEMS OF SAFETY

- Tkachenko Y. L., Sokolova A. A., Astrakhanceva A. D., Aleksanyan A. N., Vylegzhanina E. S., Didenko A. F., Melikova M. T.** The Independent Module for Maintenance of Safe Abilities to Live in Arctic Regions ..... 33  
**Tilegenov I. S., Seidaliev T. O.** Conceptual Problems of Environmental Security in Kazakhstan ..... 38

### EDUCATION

- Kirikova O. V., Bondarenko A. V., Gaponyuk N. A.** From the Experience of Teaching Bachelors "Life Safety": About Seminars on the topic "Calculate the Vibration Isolation for Machines and Equipment" ..... 46  
**Ksenofontov B. S., Taranov R. A., Kozodaev A. S., Voropaeva A. A., Vinogradov M. S., Senik E. V.** The Exchange of Experiences of the Formulation of a Laboratory Practice of Course "Life Safety": Risk Assessment of Flooding of Residential Areas ..... 51  
**Yegorov E. N.** Practical Work for Students on Subject: "Destructive Substances" ..... 56

### INFORMATION

- About the Meeting of the Editorial Board and the Editorial Staff** ..... 64

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

УДК 504.5

**В. А. Михайлов**, д-р техн. наук, проф., **Е. В. Сотникова**, канд. хим. наук, проф.,  
e-mail: ev.sotnikova.ion@icloud.com, **Н. Ю. Калпина**, канд. техн. наук, доц.,  
Университет машиностроения (МАМИ)

## Очистка воздуха от мелкодисперсной пыли в инновационной орошаемой насадке для охладителей кабин самоходных машин

*Рассмотрен механизм мокрой очистки воздуха от пыли с помощью инновационной орошаемой насадки регулярной структуры, выполненной из пластин пористой пластмассы, снабженных в воздушных каналах треугольными выступами, расположенными поперек потока для его искусственной турбулизации. Выявлена функциональная связь между эффективностью очистки воздуха от пыли и степенью снижения его температуры при адиабатном увлажнении.*

**Ключевые слова:** орошаемая насадка регулярной структуры, мокрая очистка воздуха от пыли, эффективность очистки, степень снижения температуры, искусственная турбулизация воздушного потока, интенсификация тепло-массообмена

### Введение

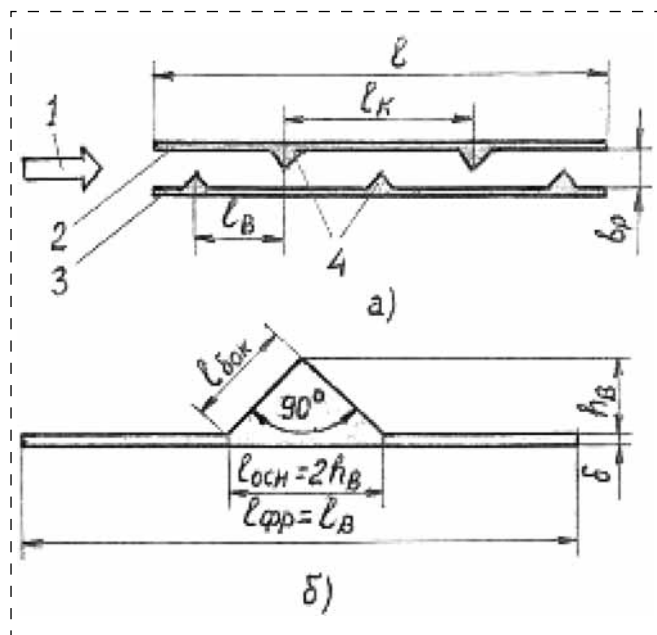
Кабины машин (тракторов, комбайнов и т.п.), работающих летом в запыленных условиях, должны оснащаться необходимыми аппаратами для обработки приточного воздуха, в том числе фильтрами для его очистки, поскольку содержание пыли в наружном воздухе существенно превышает предельно допустимую концентрацию в зоне дыхания водителя. При этом в ней присутствуют наряду с крупно- и среднелдисперсными фракциями с диаметром частиц  $d_{\text{ч}} = 140 \dots 10$  мкм и мелкодисперсные частицы —  $d_{\text{ч}} = 10 \dots 1$  мкм), представляющие наибольшую опасность для человека. Как показали исследования [1], в данном случае целесообразна двухступенчатая очистка воздуха: первая ступень — контактный сухой или иной фильтр для отделения крупно- и среднелдисперсной пыли; вторая ступень — мокрый фильтр для улавливания мелкодисперсной пыли с эффективностью очистки не менее  $\eta = 0,89$  (т. е. 89 %). В этом плане практический интерес представляют аппараты в виде орошаемой насадки регулярной структуры, с помощью которых при выполнении функции адиабатного увлажнителя — охладителя воздуха можно осуществлять и его мокрую очистку от мелкодисперсной пыли. Известные конструкции подобных насадок изучены [1—4].

### Механизм мокрой очистки воздуха в насадке

Рассмотрим механизм осаждения пылевых частиц на смоченных поверхностях пластин из пористой пластмассы на примере предлагаемой насадки [5, 6], схема формирования воздушных каналов в которой показана на рис. 1. Особенностью такой насадки является наличие на двух противоположных стенках воздушных каналов расположенных поперечно воздушному потоку треугольных выступов 4, обуславливающих искусственную турбулизацию потока.

Прежде всего отметим, что частицы пыли размером  $d_{\text{ч}}$  менее 10 мкм и в особенности меньше 5 мкм относятся к несмачиваемым и плохо смачиваемым независимо от их состава [7]. Вследствие этого они могут быть задержаны водой при одном условии — их кинетическая энергия должна быть достаточной, чтобы пробить пленку поверхностного натяжения слоя воды на пластинах аппарата. Это условие может быть выполнено только при динамической скорости  $u_{\text{д}}$  столкновения частицы пыли с указанной пленкой.

Поскольку рассматривается адиабатная насадка с искусственной турбулизацией воздушного потока с помощью расположенных поперечно ему треугольных выступов, то процессы осаждения пыли в ней обусловлены следующим. Согласно информации [8, 9] высокой эффективностью по



**Рис. 1. Формирование воздушного канала в инновационной насадке:**

1 — поток воздуха; 2 и 3 — пластины; 4 — выступы; а — общая схема (вид сверху); б — фрагмент пластины с треугольным выступом (увеличено)

очистке воздуха от мелкодисперсной пыли обладают трубчатые и пластинчатые насадки с гладкими смоченными каналами, в которых обеспечивается турбулентный характер движения потока воздуха за счет его относительно высокой скорости  $v$  (более 10 м/с), что связано с повышенным аэродинамическим сопротивлением аппаратов. Поэтому такие конструкции в определенной мере являются энергозатратными.

При анализе процесса осаждения частиц пыли на влажных пластинах при турбулентном их переносе целесообразно ввести понятие — число единиц переноса вещества  $N_B$ , что согласуется с аналогичным подходом при оценке зависимости между эффективностью очистки воздуха  $\eta$  от пыли и затратами на это энергии [10]:

$$\eta = 1 - e^{-N_B}. \quad (1)$$

По данным работы [1] для насадок с гладкими каналами число переноса вещества определяется выражением:

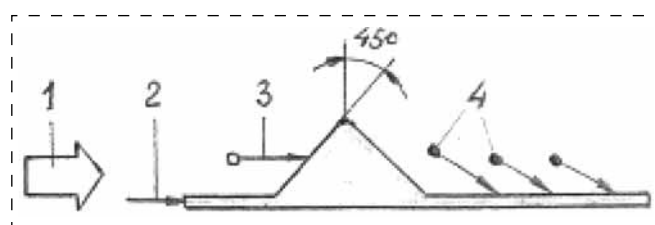
$$N_B = 0,0578l / (v^{0,125} b_p^{1,125}). \quad (2)$$

Искусственная турбулизация воздушного потока в инновационной насадке осуществляется при скорости  $v$  не более 5 м/с, что обуславливает существенное снижение ее аэродинамического сопротивления и энергозатрат по сравнению

с гладкостенными аппаратами. Кроме того, помимо турбулентного осаждения частиц пыли, в инновационной насадке осуществляется их дополнительная сепарация, что выясняется при рассмотрении соответствующей схемы на рис. 2.

Из представленной схемы следует, что единственным местом, где скорость соударения частиц пыли с влажной поверхностью пластины равняется скорости входящего воздушного потока  $l$  (лобовой удар), является фронтальный торец 2. Поэтому здесь могут оседать даже частицы размером  $d_q = 0,1$  мкм [7], но, однако, следует учитывать, что если в указанном месте не организовать удаление задерживаемой пыли, то она может накапливаться здесь многорядным слоем, который может быть сорван и увлечен воздушным потоком. Это приведет к забиванию входной части насадки влажным пылевым конгломератом [1]. Следовательно, для обеспечения надежности работы насадки путем смыва оседающей на торцах пластин пыли необходимо применить фронтальное орошение. Вместе с тем из-за относительно малой площади торцев при толщине стенки пластины  $\delta = 0,5...0,7$  мм доля задержания пыли здесь весьма невелика [1] и поэтому в дальнейшем не учитывается.

Как отмечалось выше, на гладкой стороне пластин оседание пылевых частиц обуславливается турбулентным переносом. При этом по данным работы [7] вызванная турбулентными пульсациями динамическая скорость  $v_d$  соударения их с пластиной составляет не менее 0,2 м/с, что приемлемо для эффективного улавливания пыли с фракциями 20...30 мкм. Что же касается выступов, то здесь (см. рис. 2) при контакте с их поверхностью частиц пыли (удар под углом  $45^\circ$ ) скорость соударения равняется  $v_d = v \cos 45^\circ$ . Тогда при характерных в каналах насадок  $v = 1,5...5$  м/с  $v_d$  составит не менее 1 м/с, что по данным [7] достаточно для преодоления сопротивления пленки поверхностного натяжения воды даже частицами пыли размером  $d_q = 1$  мкм.



**Рис. 2. Схема осаждения частиц пыли на пластине (фрагмент):** 1 — поток воздуха; 2 — направление динамического воздействия на торец пластины; 3 — направление динамического воздействия на выступ пластины; 4 — направление турбулентного воздействия на поверхность пластины

Таким образом по сравнению с пластинчатыми насадками с гладкими стенками инновационная насадка с треугольными выступами в воздушных каналах должна обладать более высокой эффективностью пылеочистки. В связи с этим формула (1) должна быть скорректирована в сторону некоторого увеличения значения числа единиц  $N_{\text{вы}}$  переноса вещества:

$$N_{\text{вы}} = N_{\text{в}} A_0, \quad (3)$$

где  $A_0$  — безразмерный численный коэффициент, зависящий от характера влияния выступов на процесс очистки воздуха от пыли.

Для инновационной насадки согласно формулам (1)–(3) имеем:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{0,0578 l A_0}{v^{0,125} b_p^{1,125}}}. \quad (4)$$

### Оценка влияния выступов на процесс очистки от пыли

При оценке влияния выступов на процесс очистки воздуха от пыли на основе схемы на рис. 2 в первую очередь можно предположить, что с увеличением их количества в канале эффективность аппарата повысится. Однако следует иметь в виду, что с точки зрения оптимизации тепло-массообмена в адиабатной насадке при искусственной турбулизации потока воздуха количество выступов по длине пластины  $l$  ограничится их рациональным шагом, величина которого лежит в довольно узком диапазоне  $l_{\text{в}}^{\text{опт}} - (13 \pm 1) h_{\text{в}}$  [1]. Это ограничение позволяет оценить влияние выступов следующим образом.

В формуле (4) поверхность пластин характеризуется их конструктивной длиной  $l$ . При постоянных величине  $l$  и высоте пластины выступы несколько увеличивают рабочую поверхность этой пластины, на которой собственно и происходит оседание частиц пыли.

Чтобы оценить это обстоятельство, обратимся к рис. 1, б. Полагая, что  $l_{\text{бок}} = h_{\text{в}} \sqrt{2}$ , отношение приведенной длины насадки  $l_{\text{пр}}$  к ее конструктивной длине  $l$ , характеризующейся здесь  $l_{\text{в}} = l_{\text{в}}^{\text{опт}} = 13 h_{\text{в}}$ , примет вид:

$$\frac{l_{\text{пр}}}{13 h_{\text{в}}} = \frac{13 h_{\text{в}} - 2 h_{\text{в}} + 2 h_{\text{в}} \sqrt{2}}{13 h_{\text{в}}} = 1,06. \quad (5)$$

Таким образом, в рамках  $A_0$  показатель степени в формуле (4) должен быть увеличен на такую величину. Однако это не в полной мере отражает влияние формы выступов на процесс очистки пыли, что поясняется схемой на рис. 3.

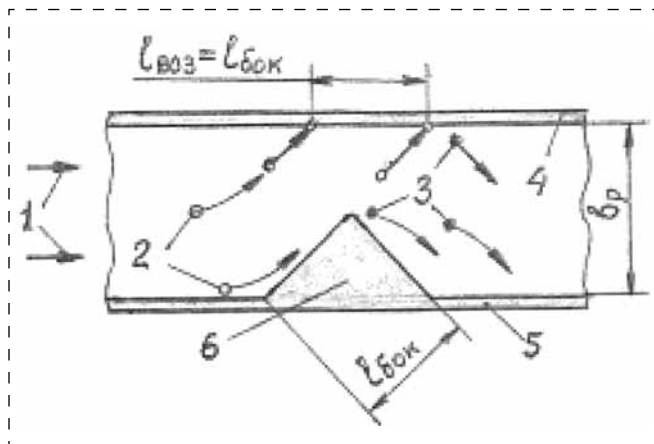


Рис. 3. Принципиальная схема взаимодействия струй воздушного потока и частиц пыли в нем с элементами поверхности пластин в канале насадки:

1 — струи входящего потока; 2 — отраженные выступом струи потока; 3 — течение струй после выступа; 4 — пластина напротив выступа; 5 — пластина с выступом; 6 — выступ

Как отмечалось, на передней (фронтальной) части выступов происходит динамическое оседание пыли. При этом в силу взаимодействия воздушного потока с наклоненной к нему под углом  $45^\circ$  поверхностью фронтальной части выступа он изменяет свое направление, и содержащиеся здесь частицы пыли ударяются под таким же углом о противоположную пластину.

Считая условно, что входящий в канал шириной  $b_p$  поток воздуха  $l$  движется двумя частями (в соответствии с высотой выступов  $h_{\text{в}}$  — см. рис. 1, б), можно предположить следующее. При обтекании выступа  $b$  струи 2 воздействуют на поверхность пластины 4 на участке  $l_{\text{воз}}$ , площадь и длина которого соизмерима с площадью и длиной  $l_{\text{бок}}$  фронтальной части выступа  $b$ . Проходя далее по каналу около пластины 4, струи потока будут взаимодействовать со следующим по его ходу выступом, расположенным на пластине 4 (здесь не показан, см. рис. 1, а). Таким образом, в канале осуществляется зигзагообразное ("змейкой") движение потока воздуха.

Отсюда следует, что коэффициент  $A_0$  должен учитывать и эту функциональную особенность выступов в части влияния на процесс осаждения пыли на поверхности пластин вследствие появления дополнительных участков динамического воздействия частиц пыли. Исходя из предположения, что в пластинах условно увеличивается площадь и длина  $l_{\text{усл}}$  осаждения частиц за счет указанного участка  $l_{\text{воз}} = l_{\text{бок}}$ , по аналогии с выводом выражения (5) можно получить следующее отношение в рамках  $A_0$ :

$$\frac{l_{\text{усл}}}{13 h_{\text{в}}} = \frac{13 h_{\text{в}} + h_{\text{в}} \sqrt{2}}{13 h_{\text{в}}} = 1,11. \quad (6)$$



Поскольку указанные явления происходят одновременно на противоположных стенках каналов, с учетом выражения (5) в итоге получим  $A_0 = 1,06 \cdot 1,11 \cdot 1,06 \cdot 1,11 = 1,38$ . Тогда выражение (4) можно представить в следующем виде:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{0,0798l}{v^{0,125}b_p^{1,125}}} \quad (7)$$

Таким образом,  $N_{\text{вы}}$  будет равняться:

$$N_{\text{вы}} = 0,0798l / (v^{0,125}b_p^{1,125}) \quad (8)$$

После преобразования этого выражения получим формулу для определения конструктивной длины пластины:

$$l = 12,53N_{\text{вы}}v^{0,125}b_p^{1,125} \quad (9)$$

#### Функциональная связь между эффективностью очистки от пыли и степенью снижения температуры воздуха

До этого момента конструктивная длина инновационной насадки  $l$  определялась с позиции очистки воздуха от пыли. Однако этот же геометрический параметр должен быть привязан и к охлаждению воздуха в ней. Отметим, что на основе проведенного исследования инновационной насадки [6] для определения  $l$  получено соответствующее выражение:

$$l = -32,68v^{0,2}b_p^{1,2} \ln(1 - E_a) \quad (10)$$

где  $E_a$  — эффективность снижения температуры воздуха при водоиспарительном охлаждении.

Приравняем правые части выражений (9) и (10):

$$12,53N_{\text{вы}}v^{0,125}b_p^{1,125} = -32,68v^{0,2}b_p^{1,2} \ln(1 - E_a) \quad (11)$$

Полагая, что  $N_{\text{вы}} = -\ln(1 - \eta)$  и преобразуя выражение (11), найдем:

$$\ln(1 - \eta) = 2,608v^{0,075}b_p^{0,075} \ln(1 - E_a) \quad (12)$$

После преобразования этого выражения получим:

$$\eta = 1 - e^{2,608v^{0,075}b_p^{0,075} \ln(1 - E_a)} \quad (13)$$

Приняв максимальную скорость  $v = 5$  м/с и значение  $b_p$  не более  $4,4 \cdot 10^{-3}$  м [1], найдем:

$$\eta = 1 - e^{1,96 \ln(1 - E_a)} \quad (14)$$

Таким образом, это выражение устанавливает функциональную связь между  $\eta$  и  $E_a$ .

#### Оценка эффективности очистки воздуха от пыли

Проверим правомерность использования полученного выражения, имея в виду, что по данным работы [1] насадка для кабин должна иметь оптимальное значение  $E_a = 0,7 \dots 0,75$ . Тогда для среднего его значения  $E_a = 0,725$  по формуле (14) определим, что  $\eta = 0,921$ . Для сравнения, по данным работы [1] у инновационной насадки, имеющей на одной стенке каналов вертикальные выступы, а на противоположной наклоненные навстречу потоку выступы, степень очистки воздуха определяется по формуле:

$$\eta_{\text{П}} = 1 - e^{1,89 \ln(1 - E_a)} \quad (15)$$

Тогда подсчет по этой формуле дает значение  $\eta_{\text{П}} = 0,914$ . Таким образом, предлагаемая насадка обладает несколько большей эффективностью очистки воздуха от пыли, что и должно быть ввиду рационального расположения выступов в ее каналах с делением потока воздуха "змейкой".

Если же будет необходимо в какой-либо системе применить насадку с более высокой эффективностью очистки воздуха, то согласно выражению (7) при сохранении значений ширины воздушных каналов  $b_p$  и скорости потока воздуха  $v$  у нее следует увеличить длину  $l$ . При этом, исходя из формулы (10), соответственно должна возрасти величина  $E_a$ , задавшись значением которой по выражению (14) можно рассчитать величину  $\eta$ . Например, при  $v = 3$  м/с и  $b_p = 3 \cdot 10^{-3}$  м, приняв в насадке допустимую с энергетической позиции  $E_a = 0,94$  [1], при полученной по формуле (10)  $l = 0,107$  м найдем  $\eta = 0,996$ , что ставит предлагаемую насадку в один ряд с лучшими современными аппаратами мокрой очистки воздуха от мелкодисперсной пыли [10].

#### Список литературы

1. Михайлов В. А. Создание системы модульных типизированных и унифицированных средств нормализации микроклимата и оздоровления воздушной среды в кбинах самоходных машин: Дис. ... д-ра техн. наук. — МАМИ, 1999. — 492 с.
2. Михайлов В. А. Орошаемые насадки воздухоохлаждителей кабин для запыленных условий эксплуатации // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1996. — № 11. — С. 21–24.
3. Михайлов В. А., Сотникова Е. В., Саидгазова Г. Ф., Трелина К. В. Улучшение состояния воздушной среды при эксплуатации тракторов // Тракторы и сельхозмашины. — 2004. — № 1. — С. 12.

4. Михайлов В. А., Карев С. В. Орошаемая насадка регулярной структуры для локального воздухоохладителя кабин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2008. — № 7. — С. 33—35.
5. Михайлов В. А., Сотникова Е. В., Карев С. В. Нормализация теплового состояния оператора транспортного средства локальным охлаждением // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 9. — С. 2—9.
6. Михайлов В. А., Шарипова Н. Н. Теоретические основы создания орошаемой насадки регулярной структуры для воздухоохладителей кабин колесных и гусеничных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2014. — № 12. — С. 29—34.
7. Пирумов А. И. Обеспыливание воздуха. — М.: Стройиздат, 1981. — 296 с.
8. Медников Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. — М.: Наука, 1981. — 174 с.
9. Ужов В. П., Вальдберг Л. Ю. Очистка газов мокрыми фильтрами. — М.: Химия, 1972. — 240 с.
10. Техника и технология защиты воздушной среды: Учебное пособие для вузов / В. В. Юшин, В. М. Попов, П. П. Кукин и др. — М.: Высшая школа, 2005. — 391 с.

V. A. Mikhailov, Professor, E. V. Sotnikova, Professor, e-mail: ev.sotnikova.ion@icloud.com, N. Yu. Calpina, Associate Professor, University of mechanical engineering (MAMI)

## Air Cleaning from Fine-Dispersed Dust in Innovative Irrigated Attachment for Cooler Cabins of Self-Propelled Machines

*The mechanism of the wet cleaning of air from dust in innovative irrigated nozzle regular structure, made of plates of porous plastic, is provided in the air ducts of triangular protrusions, that are located across the stream to artificial turbulence. The identified functional link between the efficiency of air cleaning from dust and the degree of reduction of the temperature during the hydration diabetom.*

**Keywords:** irrigated water nozzle regular structure, wet air cleaning from dust, the cleaning efficiency, the degree of temperature reduction, artificial turbulization of the air flow, heat and mass transfer

### References

1. Mihajlov V. A. Sozdanie sistemy modul'nyh tipizirovannyh i unificirovannyh sredstv normalizacii mikroklimata i ozdorovleniya vozduшной среды v kabinah samohodnyh mashin: Diss. d-ra tekhn. nauk. M.: MAMI, 1999. 492 p.
2. Mihajlov V. A. Oroschaemaya nasadki vozduhoohladitelej kabin dlya zaplyonnyh uslovij ehkspluatacii. *Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny*. 1996. No. 11. P. 21—24.
3. Mihajlov V. A., Sotnikova E. V., Saidgazova G. F., Trelina K. V. Uluchshenie sostoyaniya vozduшной среды pri ehkspluatacii traktorov. *Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny*. 2004. No. 1. P. 12.
4. Mihajlov V. A., Karev S. V. Oroschaemaya nasadka reguljarnoj struktury dlya lokal'nogo vozduhoohladitelya kabin. *Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny*. 2008. No. 7. P. 33—35.
5. Mihajlov V. A., Sotnikova E. V., Karev S. V. Normalizacija teplovogo sostoyaniya operatora transportnogo sredstva lokal'nym ohlazhdeniem. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2008. No. 9. P. 2—9.
6. Mihajlov V. A., Sharipova N. N. Teoreticheskie osnovy sozdaniya oroshaemoj nasadki reguljarnoj struktury dlya vozduhoohladitelej kabin kolesnyh i gusenichnyh mashin. *Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny*. 2014. No. 12. P. 28—34.
7. Pirumov A. I. Obespylivanie vozduha. M.: Strojizdat, 1981. 296 p.
8. Mednikov E. P. Turbulentnyj perenos i osazhdenie aehrozolej. M.: Nauka, 1981. 174 p.
9. Uzhov V. P., Val'dberg A. Yu. Ochistka gazov mokrymi fil'trami. M.: Himiya, 1972. 240 p.
10. *Tekhnika i tekhnologiya zashchity vozduшной среды: Uchebn. Posobie dlya vuzov* / V. V. Yushin, V. M. Popov, P. P. Kukin i dr. M.: Vysshaja Shkola, 2005. 391 p.



УДК 331.461

**А. А. Короткий**, д-р техн. наук, проф., **М. А. Журавлева**, асп.,  
e-mail: zhuravlevamarya@yandex.ru, Донской государственный технический  
университет, Ростов-на-Дону

## **Риск-ориентированный подход для промышленных предприятий**

*Рассмотрена методика риск-ориентированного подхода для оценки категории риска промышленных предприятий, выделен перечень опасных факторов для анализа риска по причинению вреда здоровью рабочих. Приведен перечень данных, необходимых для проведения анализа, инструментарий, позволяющий самостоятельно провести анализ системы управления охраной труда и получить рекомендации для ее улучшения и корректировки. Проведен анализ видов критериев в системе самоконтроля, используемых для присвоения категории риска предприятий и организаций, критерии динамической и статистической моделей определения основных видов риска.*

*В качестве объекта исследования принято типовое ремонтное предприятие отрасли машиностроения, проведен анализ карт аттестации рабочих мест в качестве эмпирического материала и расчет категории риска, определена частота проверок. В завершении даны выводы о целесообразности внедрения методик риск-ориентированного подхода для оценки категории риска промышленных предприятий, рассматриваются положительные моменты от реализации этого процесса.*

**Ключевые слова:** *риск-ориентированный подход, категория риска, условия труда, профессиональные заболевания, карты аттестации, анализ риска, критерии самоконтроля*

Безопасность на рабочем месте является одним из важнейших направлений организации рабочего процесса на промышленных предприятиях. Результатом небрежного отношения руководства к обеспечению нормальных условий труда является возникновение несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний у рабочих. Поэтому одним из важнейших направлений работы по повышению качества производственного процесса на промышленных предприятиях является усовершенствование системы управления охраной труда.

По данным Росстата в промышленном производстве работает более 12 млн человек, из них почти половина осуществляют свою трудовую деятельность на вредных производствах. Удельный вес работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, за 2014 г. приведен на рисунке [1].

В материалах Правительства РФ от 04.08.2015 г. "О состоянии охраны труда в РФ по состоянию на август 2015 года" в стране зарегистрировано более 48 млн рабочих мест, занятость на которых составляет около 71 млн работников. Число работников, которые заняты на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет около 10 млн человек. Трудноустраняемые вредные и опасные факторы производственной среды выявлены примерно на 3,75 млн рабочих мест. Отмечено увеличение за последние 7 лет удельного веса работников, занятых на работах с вредными

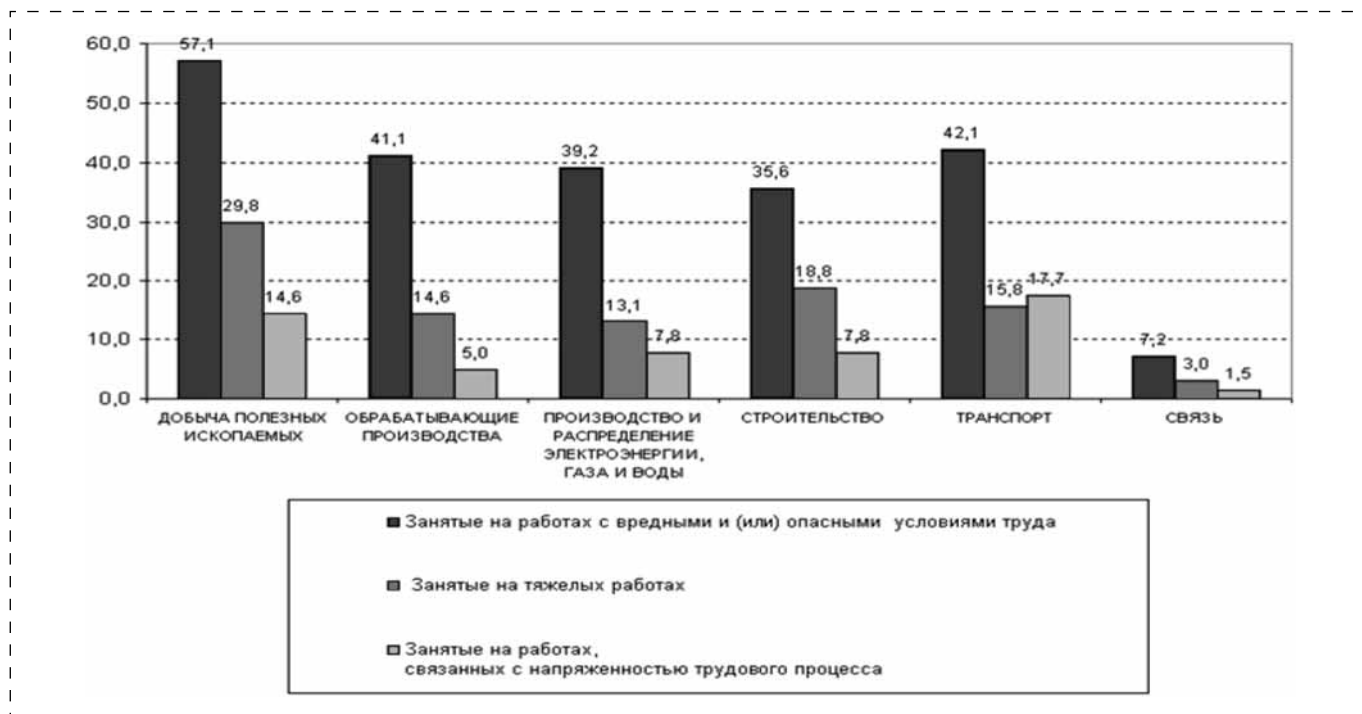
(опасными) условиями труда на 39,7 % к концу 2014 г. Реализация мероприятий в области охраны труда в 2014 г. позволила снизить число погибших в результате несчастных случаев на производстве: 2344 работника в 2014 г., 2757 работников в 2013 г. Снижение составляет 15 % [2].

В последние годы наметилась тенденция к ежегодному сокращению количества производственных травм и улучшению условий труда на промышленных предприятиях, но уровень производственного травматизма в расчете на 1000 работающих в нашей стране гораздо выше, чем в странах Европы. Кроме того, увеличивается число работников, условия труда которых не соответствуют техническим нормам (около 30 %). К основным причинам данных явлений относится изношенность основных фондов в обрабатывающих отраслях промышленности.

Для исправления сложившейся ситуации необходима корректировка действующего российского законодательства в сфере охраны труда, которое должно соответствовать нынешней экономической модели.

В настоящее время в нашей стране формируется новая концепция, которая должна будет способствовать планированию надзорной деятельности, основанной на результатах самооценки риска причинения вреда здоровью рабочих, снижению чрезмерного административного давления. Одним из ее важнейших направлений является





Удельный вес работников организаций, занятых во вредных и (или) опасных условиях труда, по отдельным видам экономической деятельности (на конец 2014 года), % от численности работников соответствующего вида экономической деятельности

применение риск-ориентированного подхода. Данный подход разрабатывался для поддержки работодателей, не являющихся равнодушными к условиям труда на их предприятиях и к состоянию здоровья своих работников, выполняющих требования трудового законодательства и согласных внедрять в систему управления охраной труда на своих предприятиях системы внутреннего контроля. Внедрение данного подхода позволит снизить количество проверок и уменьшить надзорную нагрузку со стороны органов контроля [3, 4].

Согласно решениям Правительственной комиссии по проведению административной реформы от 14 апреля 2015 г. Роструд был включен в перечень контрольно-надзорных органов, в деятельность которых, начиная с 2015 г., будет внедряться риск-ориентированный подход, положения которого распространяются на охраняемые законом ценности в сфере труда: жизнь и здоровье работников, а также их права и законные интересы.

В зависимости от того, насколько вероятно причинение вреда здоровью рабочих, определяются шесть категорий рисков и в соответствии с выявленной категорией устанавливаются графики проведения проверок предприятий надзорными органами. Основой для присвоения категории риска являются статистические и динамические факторы, приведенные в табл. 1 [4].

Для планирования мероприятий на основе риск-ориентированных подходов был сформирован

Таблица 1

Соответствие категории риска количеству плановых проверок

Вероятность риска причинения вреда здоровью	Количество плановых проверок
Чрезвычайно высокий риск	1 раз в год
Высокий риск	1 раз в два года
Значительный риск	1 раз в три года
Средний риск	1 раз в четыре года
Умеренный риск	1 раз в пять лет
Низкий риск	Освобождение от плановых проверок

перечень данных, необходимых для проведения анализа. К ним относятся: вид экономической деятельности; наличие задолженностей по заработной плате; штатная численность работников; среднесписочная численность работников; класс условий труда; число проверок; число несчастных случаев; число погибших.

Контроль промышленных предприятий со стороны административных структур должен быть разумным. Для этого необходимо различать выявленные нарушения по уровню возможных последствий. Должны быть разделены надзорные мероприятия, созданы инструменты для экономической заинтересованности организаций и предприятий.

Для самоконтроля и оценки состояния условий труда на предприятиях уже разработан



инструментарий, позволяющий самостоятельно провести анализ системы управления охраной труда и сформулировать рекомендации для ее улучшения и корректировки. Виды критериев, используемых для присвоения категории риска предприятий и организаций, делятся на две группы.

1. Условно постоянные критерии организации — это усредненные данные по видам экономической деятельности в субъектах Российской Федерации. К ним относятся условия труда на рабочем месте, средняя заработная плата в субъекте РФ, среднее количество нарушений трудового законодательства по отраслям, количество несчастных случаев с тяжелым исходом, численность погибших, задолженность по заработной плате, наличие акций протеста, среднесписочная численность работников. Эти критерии должны актуализироваться один раз в пять лет.

2. Условно переменные критерии организации. Это данные по каждой конкретной ситуации, произошедшей на предприятии за календарный год. К ним относятся: наличие подтвержденных жалоб в предыдущих периодах, реализация мероприятий по развитию системы социального партнерства, наличие системы внутреннего контроля, наличие существенных нарушений трудового законодательства в предыдущих периодах, коэффициент тяжести несчастных случаев. Эти критерии должны актуализироваться один раз в год [4, 5].

Для осуществления внутреннего трудового контроля в первую очередь необходимо определить фактическое состояние объекта, на котором проводится проверка. Выявленные фактические данные сравнивают с требованиями, установленными трудовым законодательством. При выявлении отклонений производится оценка их влияния на функционирование организации и их возможные последствия. Далее выявляются причины отклонений, разрабатывается план мероприятий по их устранению, проводится контроль реализации плана как руководством предприятия, так и поднадзорной организацией.

Итогом такой работы является формирование у Роструда специализированного банка данных с результатами самопроверок, на основании которых Рострудом принимаются решения о снижении надзорной нагрузки и других поощрениях благонадежных работодателей. Для инспекторов наличие результатов таких проверок является своего рода свидетельством выполнения работодателями требований надзорных органов.

Модель риск-ориентированного подхода, с подкритерием отнесения предприятия по категориям риска, соответствующим классу условий труда, можно рассмотреть на примере табл. 2, где знаком (•) обозначаются выявленные рабочие места,

знаком (–) — отсутствие рабочих мест с указанным классом условий труда [4, 5].

Для определения итоговой категории риска необходимо также ввести понятие индикатора масштабности, значение которого зависит от среднесписочной численности работников предприятия, для которого проводится анализ. Расчет данного индикатора представлен в табл. 3:

В зависимости от присвоенной в результате анализа категории риска предприятие включается в ежегодный план плановых проверок.

Каждое предприятие (хозяйствующий субъект), согласно методике риск-ориентированного подхода, относится к определенной категории риска на основе следующих критериев [4, 5]:

1. Уровень вероятности причинения вреда охраняемым законом ценностям в сфере труда.

2. Уровень тяжести последствий причинения вреда охраняемым законом ценностям в сфере труда.

3. Масштабность.

Исходной информацией для определения категории риска каждого предприятия являются статистические данные значений показателей по нескольким подкритериям: вид экономической деятельности предприятия; условия труда на рабочем месте; задолженность по заработной плате. Данные критерии относятся к так называемой статистической модели определения основных видов риска.

Динамическая модель определяется наличием или отсутствием следующих критериев: подтверждением жалоб в предыдущие периоды; реализованными мероприятиями для усиления социальной защищенности рабочих; системой внутреннего контроля; значительными нарушениями трудового законодательства в предыдущих периодах; уровнем травматизма на предприятии.

В настоящее время прорабатываются дополнительные факторы, которые будут оказывать влияние на повышение или снижение уровня риска для предприятий. К этим факторам планируется относить наличие коллективного договора, профсоюзной организации, комиссии по трудовым правам, эффективной системы внутреннего контроля.

Итоговая категория риска рассчитывается по условно-постоянным и условно-переменным характеристикам.

Формула расчета категории риска по условно-постоянным характеристикам предприятий выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Категория риска по условно-постоянным} \\ \text{характеристикам (Kr)} = 0,30 \cdot \text{Индикатор} \\ \text{уровня вероятности} + 0,50 \cdot \text{Индикатор уровня} \\ \text{тяжести} + 0,20 \cdot \text{Индикатор масштабности.} \end{aligned} \quad (1)$$

**Модель риск-ориентированного подхода, с подкритерием отнесения предприятия по категориям риска, соответствующим классу условий труда**

Доля рабочих мест с вредным и опасным классом условий труда		Класс условий труда							Доля рабочих мест, прошедших специальную оценку условий труда, %
		1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4	
Отсутствуют рабочие места с классом условий труда выше 2. При этом к 1 классу условий труда относится не менее 10 % рабочих мест	1 балл	•	•	—	—	—	—	—	100
Отсутствуют рабочие места с классом условий труда выше 2. При этом к 1 классу условий труда относится менее 10 % рабочих мест	2 балла	•	•	—	—	—	—	—	100
Отсутствуют рабочие места с классом условий труда 3.3, 3.4 и 4.	3 балла	•	•	•	•	—	—	—	100
Отсутствуют рабочие места с классом условий труда 3.4 и 4. При этом доля рабочих мест с классом условий труда 3.3 не превышает 75 %	4 балла	•	•	•	•	•	—	—	100
Отсутствуют рабочие места с классом условий труда 4. При этом доля рабочих мест с классом условий труда 3.3 не превышает 75 %, или имеются рабочие места с классом условий труда 3.4	5 баллов	•	•	•	•	•	•	—	100
Имеются рабочие места с классом условий труда 4 или не проведена специальная оценка условий труда для 100 % рабочих мест	6 баллов	•	•	•	•	•	•	•	Менее 100 или 100 при наличии рабочих мест 4 класса условий труда

Таблица 3

**Индикатор масштабности**

Среднесписочная численность работников	Значение индикатора масштабности
От 1 до 250 человек	1 балл
От 251 до 500 человек	2 балла
От 501 до 700 человек	3 балла
От 701 до 1350 человек	4 балла
От 1351 до 2500 человек	5 баллов
От 2501 человека и более	6 баллов

Индикатор уровня вероятности при этом рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Индикатор уровня вероятности} = 0,50 \cdot A + 0,35 \cdot B + 0,15 \cdot C, \quad (2)$$

где  $A$  — частота нарушений трудового законодательства по видам экономической деятельности;  $B$  — доля рабочих мест с вредным и опасным

классом условий труда;  $C$  — наличие задолженности по заработной плате.

Итоговая категория риска по условно-постоянным и условно-переменным характеристикам предприятий рассчитывается по следующей формуле [4,5]:

$$\text{Категория риска } (Kr) = 0,55 \cdot \text{Условно-постоянные характеристики} + (3) + 0,45 \cdot \text{Условно-переменные характеристики}.$$

Для того чтобы провести риск-анализ для каждого предприятия, необходимо, в первую очередь, оценить условия труда на его рабочих местах. основополагающими документами для анализа состояния условий труда на промышленных предприятиях до 28.12.2013 г. являлись карты аттестации рабочего места. С 01.14.2014., на основании Федерального закона от 28.12.2013 № 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда", аттестация рабочих мест заменяется специальной



оценкой условий труда, которая представляет собой своеобразный мониторинг условий труда, задачей которого является выявление и оценка опасностей на рабочих местах.

В качестве примера рассмотрим типовое ремонтное предприятие, основным видом деятельности которого является ремонт электровозов. Производственный процесс представлен электровозосборочным, электроаппаратным, электромашинным, якорным, колесно-тележечным, литейно-механическим, инструментально-ремонтным и энергосиловым цехами.

Авторами анализировалось состояние условий труда на основе изучения карт аттестации рабочих мест во всех цехах предприятия на предмет выявления наличия на них вредных и опасных факторов, оценки выявленных несоответствий установленным нормам.

Основной информацией для заполнения карт аттестации являлись данные протоколов измерений вредных и опасных производственных факторов, выявленных на каждом рабочем месте.

Анализ карт аттестации рабочих мест проводился с использованием программы [6], позволяющей быстро получить информацию о количестве так называемых проблемных рабочих мест, выбрать наиболее сложный, с точки зрения, условий труда цех.

В результате были выбраны цеха (инструментально-ремонтный, литейно-механический, энергосиловой, электроаппаратный, колесно-тележечный, электровозосборочный, электромашинный цех/электромашинное производство и электромашинный цех/якорное производство) с рабочими местами, класс условий труда на которых относится к подклассу 3.2, 3.3 и 3.4. Рабочие места с классом условий труда 4 выявлены не были. Анализ карт аттестации также показал, что наиболее часто встречающимися вредными факторами, оказывающими влияние на формирование рабочей среды в цехах, являются химические факторы и шум.

Рассмотрим применение методики риск-ориентированного подхода для расчета категории риска данного предприятия.

Определим по формуле (2) индикатор уровня вероятности. Нарушений трудового законодательства и задолженностей по заработной плате выявлено не было. Поэтому в расчете данного индикатора принимаем только долю рабочих мест с вредным и опасным классом условий труда. Индикатор уровня вероятности =  $0,35 \cdot 0,3 = 0,1$ .

Индикатор уровня тяжести и индикатор масштабности выбираем из табл. 2 и 3. Так как количество работников предприятия составляет не больше 1000 человек, индикатор уровня

масштабности равен 4 баллам (см. табл. 3). Индикатор уровня тяжести — 5 баллам (см. табл. 2), так как рабочие места с классом опасности 4 выявлены не были, а доля рабочих мест с классом условий труда 3.3 не превышает 75 % общего количества рабочих мест.

Категория риска по условно-постоянным характеристикам предприятия:

$$Kr = 0,3 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 3,33.$$

Так как условно-переменные характеристики организации включают в себя данные по каждой конкретной ситуации, произошедшей на предприятии за календарный год, а в рамках данного исследования эта информация на предприятии не запрашивалась, категория риска по условно-переменным критериям не рассчитывалась.

Соответственно, предприятие относится к третьему классу опасности, риск средний. Следовательно, проверки должны осуществляться не чаще, чем один раз в четыре года.

## Выводы

1. Система управления охраной труда на большинстве предприятий построена на устаревших принципах решения уже сформировавшихся и выявленных проблем, фиксации последствий, которые приводят к несчастным случаям, а не на их профилактику и анализ влияния, оказываемого неблагоприятными производственными факторами на здоровье рабочих. Основными действиями являются компенсационные мероприятия при наступлении страховых случаев.

2. Риск-ориентированный подход является механизмом, позволяющим обеспечить управление профессиональными рисками на рабочих местах, вовлечь в этот процесс как работодателей, так и работников, генерировать новые предложения по улучшению условий труда, в том числе снизить надзорную нагрузку и административное давление на предприятия, которое связано со снижением количества проверок и внедрению механизмов самоконтроля.

3. Внедрение методики самоконтроля риск-ориентированного подхода позволит разработать комплекс предупреждающих и профилактических мероприятий, усовершенствовать социальные и трудовые отношения между работодателями и рабочими, разделить ответственность государства и работодателей за сохранение здоровья работающих, усовершенствовать существующее законодательство, конкретно те его разделы, которые связаны с внедрением новых принципов управления профессиональными рисками.

## Список литературы

1. **Федеральная служба** государственной статистики [Электрон. ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/wages/working\\_conditions/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/working_conditions/) (дата обращения 02.02.2016).
2. **О состоянии** охраны труда в РФ по состоянию на август 2015 года (из материалов к заседанию Правительства 4 августа 2015 года) [Электрон. ресурс]. URL: [http://ohranatruda.ru/upload/medialibrary/3e5/ot\\_rf\\_2015.pdf](http://ohranatruda.ru/upload/medialibrary/3e5/ot_rf_2015.pdf) (дата обращения 02.02.2016).
3. **Федеральный закон** от 26.12.2008 N 294-ФЗ (ред. от 28.11.2015) "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля" Статья 8.1. Применение риск-ориентированного подхода при организации государственного контроля (надзора).
4. **Риск-ориентированный подход** в промышленной безопасности [Электрон. ресурс]. URL: <http://prominf.ru/article/risk-orientirovannyu-podhod-v-promyshlennoy-bezopasnosti/> Промышленная экологическая безопасность и охрана труда. — 2015. — № 2 (99) март (дата обращения 02.02.2016).
5. **О риск-ориентированном подходе** в обеспечении промышленной безопасности / А. И. Гражданкин [Электрон. ресурс]. URL: [//riskprom.ru/TemaKtlg/RiskAvar/pon\\_oprd/RiskOrient\\_2012.pdf](http://riskprom.ru/TemaKtlg/RiskAvar/pon_oprd/RiskOrient_2012.pdf) (дата обращения 02.02.2016).
6. **Свидетельство** о государственной регистрации программного средства "Электронная карта-схема помещений цехов ремонтного предприятия с визуальным отображением вредных и опасных факторов производственной среды в зависимости от их типа" № 2015613552 от 18 марта 2015 года.

**A. A. Korotkij**, Professor, **M. A. Zhuravleva**, Postgraduate,  
e-mail: zhuravlevamarya@yandex.ru, Don State Technical University,  
Rostov-on-Don

## The Risk-Based Approach for Industrial Enterprises

*Discusses the main aspects of the methodology of risk-based approach, to assess the risk category of industrial enterprises selected list of hazards for risk analysis of risk of injury to workers. Provides a list of data required for analysis, also it discusses the tools to independently perform analysis of the system of occupational safety management and get recommendations for its improvement and adjustments. The authors examine the types of criteria in the self-control system used to assign risk categories of enterprises and organizations, criteria of dynamic and statistical models determine the main types of risk. As the object of study is the typical repair company industry engineering. As the empirical material in this article authors analyze of card certification of workplaces, they also carry out the calculation of risk category and determine the frequency of inspections. In the end, the authors conclusions on the feasibility of implementing methods risk-based approach to assess the risk category of industrial enterprises, discusses the positive aspects of this process.*

**Keywords:** the risk-based approach, risk category, conditions of work, occupational disease, card certification, risk analysis, criteria of self-control

## References

1. **Federal'naja sluzhba** gosudarstvennoj statistiki. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/wages/working\\_conditions/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/working_conditions/) (date of accessed 02.02.2016).
2. **O sostojanii** ohrany truda v RF po sostojaniju n avgust 2015 goda (iz materialov k zasedaniju Pravitel'stva 4 avgusta 2015 goda). URL: [http://ohranatruda.ru/upload/medialibrary/3e5/ot\\_rf\\_2015.pdf](http://ohranatruda.ru/upload/medialibrary/3e5/ot_rf_2015.pdf) (date of accessed 02.02.2016).
3. **Federal'nyj zakon** ot 26.12.2008 N 294-FZ (red. ot 28.11.2015) "O zashhite prav juridicheskikh lic i individual'nyh predprinimatelej pri osushhestvlenii gosudarstvennogo kontrolja (nadzora) i municipal'nogo kontrolja" Stat'ja 8.1. Primenenie risk-orientirovannogo podhoda pri organizacii gosudarstvennogo kontrolja (nadzora).
4. **Risk-orientirovanyj podhod** v promyshlennoj bezopasnosti. URL: <http://prominf.ru/article/risk-orientirovannyu-podhod-v-promyshlennoy-bezopasnosti/> — Promyshlennaja j ekologicheskaja bezopasnost' i ohrana truda № 2 (99) mart 2015 (date of accessed 02.02.2016).
5. **O risk-orientirovannom podhode** v obespechenii promyshlenno jbezopasnosti / A. I. Grazhdankin. URL: [http://riskprom.ru/TemaKtlg/RiskAvar/pon\\_oprd/RiskOrient\\_2012.pdf](http://riskprom.ru/TemaKtlg/RiskAvar/pon_oprd/RiskOrient_2012.pdf) (date of accessed 02.02.2016).
6. **Svidetel'stvo** o gosudarstvennoj registracii programmnogo sredstva "Elektronnaya karta-skema pomeshchenij cekhov remontnogo predpriyatiya s vizual'ny m otobrazheniem vrednyh i opasnyh faktorov proizvodstvennoj sredy v zavisimosti ot ih tipa" № 2015613552 ot 18 marta 2015 goda.



Т. С. Прокошина, ст. преп., e-mail: proka@rambler.ru, Орловский государственный аграрный университет

## Влияние рабочего положения оператора универсального токарно-винторезного станка на его производительность труда и уровень соматического здоровья

*Приведены результаты экспериментальных исследований по выявлению влияния параметров взаиморасположения плечевого сустава и центра вращения рукоятки, определяющих рабочее положение оператора универсального токарно-винторезного станка относительно часто используемой рукоятки перемещения пиноли задней бабки, на производительность труда и уровень соматического здоровья человека (индекс Робинсона).*

**Ключевые слова:** рабочее положение, оператор-станочник, универсальный токарно-винторезный станок, рукоятка, соматическое здоровье, индекс Робинсона, производительность труда

### Введение

Снижение у работающего человека физиологических возможностей и работоспособности, возникающее в результате трудовой деятельности, обуславливается его рабочим положением. Последнее подтверждается многочисленными исследованиями [1—4]. Утомляемость операторов-станочников, работающих в неудобном положении, может повыситься на 30...50 %. Неудобство рабочего положения зачастую определяется пространственно-антропометрической несовместимостью человека и рабочего оборудования, а также нерациональным размещением органов управления.

Ухудшение физиологического состояния и утомляемость отражаются на соматическом здоровье человека, которое характеризует текущее состояние органов и систем человеческого организма и оценивается с помощью гемодинамического показателя — индекса Робинсона (двойного произведения ДП) [5]. Снижение работоспособности также существенно сказывается и на производительности труда.

Проведение исследований влияния рабочего положения на производительность труда и уровень соматического здоровья операторов-станочников обусловлено тем, что в настоящее время на предприятиях современного производства указанная профессия является распространенной в силу того, что обработка резанием широко используется в производственных процессах. Кроме того, отметим, что самым востребованным способом обработки заготовок является токарная обработка, при этом 70...80 % токарных работ производится на универсальных токарно-винторезных станках.

Эргономическими исследованиями рабочего места оператора универсального токарно-винторезного

станка [6] было установлено, что к числу органов управления частого использования относится вращательный орган управления станка — рукоятка перемещения пиноли задней бабки. На работу с ней затрачивается большая часть вспомогательного времени (26,6 %) при обработке детали типа "вал". Для изучения работы оператора-станочника, управляющего металлообрабатывающим станком посредством указанного органа управления, с позиций биомеханики проведены теоретические исследования [7], в которых рабочее положение оператора определялось параметрами ( $H$  и  $L$ ) взаиморасположения плечевого сустава и центра вращения рукоятки. Параметр  $H$  — есть расстояние от плечевого сустава до центра вращения рукоятки в вертикальной плоскости, параметр  $L$  — расстояние от плечевого сустава до центра вращения рукоятки в горизонтальной плоскости.

Так, целью рассматриваемого экспериментального исследования является выявление характера влияния параметров ( $H$  и  $L$ ), определяющих взаимное расположение плечевого сустава оператора-станочника и центра вращения рукоятки, которой он работает, на производительность труда и уровень соматического здоровья человека (индекс Робинсона).

### Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились для выявления характера влияния параметров  $H$  и  $L$ , определяющих положение плечевого сустава оператора-станочника относительно центра вращения рукоятки перемещения пиноли задней бабки, на производительность труда станочника и уровень его соматического здоровья (индекс Робинсона). Значения исследуемых показателей изменялись и фиксировались при различных сочетаниях

значений параметров  $H$  и  $L$ . Пределы изменения параметра  $H$  устанавливали от 10 до 40 см, параметра  $L$  — от 30 до 60 см. Производительность труда определяли подсчетом количества изготавливаемых деталей за 1 ч работы оператора-станочника.

Исследования проводили при работе станочника на универсальном токарно-винторезном станке (модели 1В62Г), установленном на высоту 25 см над полом. Антропометрические параметры оператора-станочника соответствовали значениям параметров 50-го перцентиля [8]. Оператор-станочник изготавливал детали типа "вал". При работе им использовалась регулируемая по высоте подставка для ног [9].

Для оценки уровня соматического здоровья оператора-станочника применяли индекс Робинсона. Средние величины этого параметра за измеряемый период дают представление об уровне соматического здоровья конкретного человека во время работы. Определение показателей индекса Робинсона проводили с помощью системы бифункционального мониторинга Cardio Tens (рис. 1). Измерения проводились с 8-00 до 17-00, интервал между замера — 15 мин. Во время замера рука с пневмоманжетой была вытянута вдоль туловища и расслаблена. По окончании периода измерения полученные результаты обрабатывали с помощью компьютерной программы Medibase 1.40, поставляемой в комплекте с регистратором.

Регрессионный анализ экспериментальных данных проводили с помощью программного комплекса Mathcad и встроенных в него функций "polyfit" и "polyfitc". Производительность труда ( $P_{тр}$ ) и индекс Робинсона ( $ДП$ ) приняты параметрами оптимизации, а параметры  $H$  и  $L$ , определяющие положение



Рис. 1. Размещение прибора Cardio Tens на теле испытуемого

плечевого сустава относительно рукоятки перемещения пиноли задней бабки универсального токарно-винторезного станка, — факторами. Для описания модели, устанавливающей зависимость между параметрами оптимизации и факторами, выбрали полиномиальную модель 2-й степени.

### Результаты и их обсуждения

Экспериментальные среднесуточные значения индекса Робинсона получены и обработаны системой мониторинга Cardio Tens. Производительность труда определялась количеством деталей, изготовленных станочником за 1 ч работы.

Регрессионным анализом экспериментальных данных с помощью функции "polyfitc" определены значения коэффициентов регрессии, а также стандартная ошибка  $S$ , нижние и верхние границы 95 %-ного доверительного интервала и критерии значимости  $t$  каждого коэффициента. Получены регрессионные модели (1) и (2).

$$P_{тр}(H, L) = 0,529 + 0,161 \cdot H + 0,157 \cdot L + 0,00000168 \cdot H \cdot L - 0,003162 \cdot H^2 - 0,001578 \cdot L^2; \quad (1)$$

$$ДП(H, L) = 348,61 - 5,796 \cdot H - 7,324 \cdot L + 0,001538 \cdot H \cdot L + 0,113 \cdot H^2 + 0,073 \cdot L^2. \quad (2)$$

Используя полученные данные, построены столбчатые диаграммы (рис. 2) с указанием значений коэффициентов регрессионных моделей и ширины 95 %-ного доверительного интервала  $\Delta$ . Также на рис. 2 приведены стандартные ошибки  $S$  и критерии значимости  $t$  коэффициентов регрессии. На диаграммах коэффициенты при факторах  $H$  и  $L$  обозначены — А и В соответственно; АВ — коэффициент регрессионной модели, показывающий эффект влияния двух этих факторов — парный эффект; АА и ВВ — коэффициент квадратичного эффекта факторов  $H$  и  $L$ . Коэффициент парного эффекта АВ на диаграммах не отражен из-за малого значения.

Из рис. 2 видно, что определенные коэффициенты регрессионной модели имеют небольшие по ширине доверительные интервалы с вероятностью их выхода за доверительные границы 5 %. Подсчетом установлено, что величина стандартной ошибки  $S$  составляет не более 5 % от значений коэффициентов регрессии. Определенные значения критерия значимости  $t$ , при сравнении с их критическими значениями, свидетельствуют о значимости коэффициентов уравнения и существенности связи между параметрами оптимизации и факторами.

Числовое значение коэффициентов уравнения регрессии позволяет говорить о большем влиянии фактора  $H$  на производительность труда оператора-станочника  $P_{тр}$  и большем влиянии фактора  $L$  на индекс Робинсона  $ДП$ . В обоих случаях парный

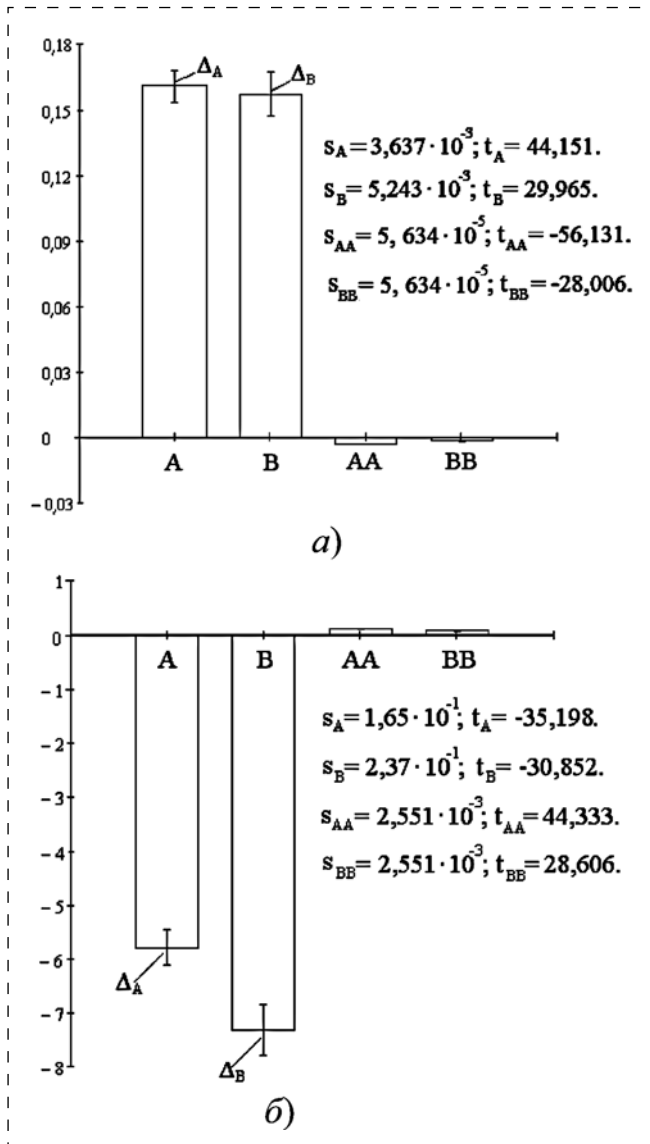


Рис. 2. Значения коэффициентов регрессии, ширина доверительного интервала  $\Delta$ , стандартная ошибка  $S$  и критерии значимости  $t$  коэффициентов регрессионных моделей: а — производительность труда; б — индекс Робинсона

эффект АВ намного меньше квадратичных эффектов факторов АА, ВВ. Само по себе появление значимых квадратичных эффектов указывает на нелинейное изменение параметров оптимизации.

С помощью функции "polyfit" построены поверхности функции отклика (рис. 3).

Из рисунка видно, что между параметром оптимизации  $P_{тр}$  и факторами  $H$  и  $L$  имеется прямая связь, а между факторами  $H$  и  $L$  и ДП — обратная. Очевидно, что поверхности отклика имеют по одному выраженному экстремуму. Значения факторов  $H$  и  $L$ , при которых наблюдается экстремум, можно считать оптимальными для выполняющего работу оператора-станочника. Для их определения использовали встроенные в Mathcad

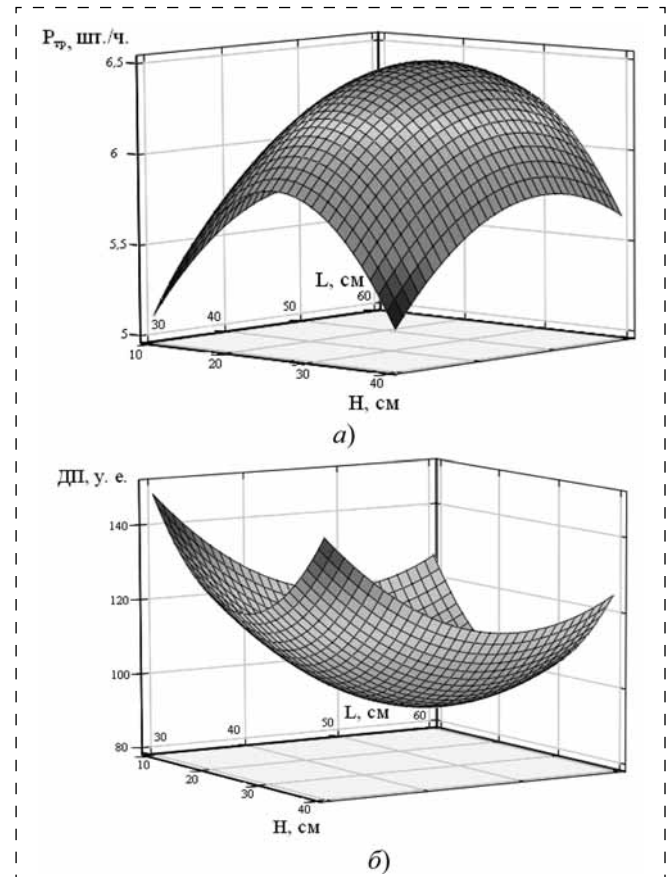


Рис. 3. Поверхность функции отклика: а — производительность труда  $P_{тр}$ ; б — индекс Робинсона ДП

функции *Maximize* и *Minimize*. В результате были получены оптимальные значения:  $H = 25,306$  см и  $L = 49,898$  см, при которых значение производительности труда  $P_{тр}$  максимально и значения  $H = 25,472$  см и  $L = 49,760$  см, при которых индекс Робинсона минимален. При полученных оптимальных значениях параметров  $H$  и  $L$  отмечено снижение индекса Робинсона в 1,26 раза и увеличение производительности труда в 1,12 раза, что позволяет говорить о возможности повышения эффективности труда станочника.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что на утомление оператора-станочника существенное влияние оказывает рабочее положение, в котором человек выполняет технологические операции. Неудобство рабочей позы обуславливает снижение работоспособности и ухудшение физиологических функций работника. Последнее позволяет говорить о необходимости учета и внедрения принципов эргономики в процессе конструирования рабочего оборудования и проектирования рабочих мест.

### Выводы

1. С помощью полученной регрессионной модели (1) связи производительности труда и параметров  $H$  и  $L$ , определяющих положение плечевого



сустава для оператора-станочника со значениями эргономических признаков, соответствующих 50-му перцентилю, установлены оптимальные значения, при которых производительность труда максимальна:  $H = 25,472$  см;  $L = 49,76$  см. При оптимальных значениях наблюдается увеличение производительности труда в 1,12 раза.

2. С помощью полученной регрессионной модели (2) связи индекса Робинсона  $ДП$  и параметров  $H$  и  $L$ , определяющих положение плечевого сустава для оператора-станочника со значениями эргономических признаков, соответствующих 50-му перцентилю, установлены оптимальные значения, при которых индекс Робинсона минимален:  $H = 25,306$  см;  $L = 49,898$  см. При оптимальных значениях наблюдается снижение индекса Робинсона  $ДП$  в 1,26 раза.

### Список литературы

1. **Боброва-Голикова Л. П.** Эргономика. Проблемы приспособлений условий труда к человеку. — М.: Мир, 1971. — 419 с.

2. **Гончаров И. А.** Поиск путей анализа и оценки компонентов производственной эргономической системы человек — машина — среда // Гигиена и санитария. — 1993. — № 4. — С. 73—75.
3. **Kaushik V., Charpe N. A.** Effect of Body Posture on Stress Experienced by Worker // Kamla-Raj: Stud. Home Comm. Sci. — 2008. — V. 2. No. 1. — P. 1—5.
4. **Schüldt K., Ekholm J., Harms-Ringdahl K.** Effects of changes in sitting work posture on static neck and shoulder muscle activity // Ergonomics. — 1986. — V. 29. No. 12. — P. 1525—1537.
5. **Прокопьев Н. Я.** Оценка физической работоспособности и функционального состояния сердечно-сосудистой системы учащихся города Тюмени // Вестник Тюменского государственного университета. — 2011. — № 6. — С. 127—133.
6. **Прокошина Т. С.** Определение частоты использования органов управления токарно-винторезного станка методом хронометража // Агротехника и энергообеспечение. — 2015. — № 1. — С. 34—40.
7. **Прокошина Т. С., Кузнецов И. С.** Расчет сил, действующих на оператора станка, при вращении рукоятки // Труды ГОСНИТИ. — 2015. — Т. 119. — С. 65—74.
8. **Строкина А. Н., Пахомова В. А.** Антропо-эргonomический атлас. — М.: Изд-во МГУ, 1999. — 192 с.
9. **Пат. 2459563** Российская Федерация, МПК А 47 С 16/2. Подставка для ног / Т. С. Прокошина, И. В. Гальянов, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "Орл. гос. аграр. ун-т". — № 2011115788/12; заявл. 20.04.2011; опубл. 27.08.2012 // Бюл. № 24. — 6 с.

**T. S. Prokoshina**, Senior Lecturer, e-mail: proka@rambler.ru,  
Orel State Agrarian University

## The Influence of Working Posture of a Machine Operator of Universal Chasing Lathe on a Labor Productivity and on Its Somatic Health Level

*The article presents the results of experimental research of influence of working posture of a machine operator on the of its somatic health level determined by a Robinson index, and on a labor productivity. The working posture is characterized by parameters ( $H$  and  $L$ ) of mutual disposition of a shoulder joint of the machine operator and a center of rotation of a handle move the tailstock ram with which he works. The  $H$  and  $L$  parameters are determined as the distance from the shoulder joint to the center of rotation of the handle in the vertical and horizontal planes respectively. The researches were conducted on a universal chasing lathe. The dependencies the Robinson index and the labor productivity from  $H$  and  $L$  parameters received by regression analysis of experimental data. These dependencies represented by the response functions of a type of polynomial model 2-nd degree and response surfaces. As a result determined optimal values  $H$  and  $L$  parameters at which the Robinson index decreased in 1,26 times and the labor productivity increased in 1,12 times.*

**Keywords:** working posture, machine operator, universal chasing lathe, handle, somatic health, Robinson index, labor productivity

### Reference

1. **Bobrova-Golikova L. P.** Jergonomika. Problemy prispособlenij uslovij truda k cheloveku. — М.: Мир, 1971. — 419 p.
2. **Goncharov I. A.** Poisk putej analiza i ocenki komponentov proizvodstvennoj jergonomicheskoj sistemy chelovek — mashina — sreda. *Gigiena i sanitarija*. 1993. No. 4. P. 73—75.
3. **Kaushik V., Charpe N. A.** Effect of Body Posture on Stress Experienced by Worker. *Kamla-Raj: Stud. Home Comm. Sci.* 2008. Vol. 2. No. 1. P. 1—5.
4. **Schüldt K., Ekholm J., Harms-Ringdahl K.** Effects of changes in sitting work posture on static neck and shoulder muscle activity. *Ergonomics*. 1986. Vol. 29. No. 12. P. 1525—1537.
5. **Prokop'ev N. Ja.** Ocenka fizicheskoj rabotosposobnosti i funkcional'nogo sostojanija serdechnososudistoj sistemy

- uchashhihsja goroda Tjumeni. *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta*. — 2011. No. 6. P. 127—133.
6. **Prokoshina T. S.** Opredelenie chastoty ispol'zovanija organov upravlenija tokarno-vintoreznogo stanka metodom hronometrazha. *Agrotehnika i jenergoobespechenie: nauch. prakt. zhurn.* 2015. No. 1. P. 34—40.
7. **Prokoshina T. S., Kuznecov I. S.** Raschet sil, dejstvujushih na operatora stanka, pri vrashenii rukojatki. *Trudy GOSNITI*. 2015. No. 119. P. 65—74.
8. **Strokina A. N., Pahomova V. A.** Antropo-jergonomicheskij atlas. М.: Изд-во МГУ, 1999. 192 p.
9. **Patent 2459563** Rossijskaja Federacija, МПК А 47 S 16/2. Podstavka dlja nog / T. S. Prokoshina, I. V. Gal'janov. No. 2011115788/12; publ. 27.08.2012, Bulletin No. 24. P. 6.

УДК 519.8:621.928.83

**Е. В. Романюк**, канд. техн. наук, доц., e-mail: scercso@mail.ru, **Д. В. Каргашилов**, канд. техн. наук, нач. кафедры, **А. В. Некрасов**, канд. техн. наук, доц., Воронежский институт ГПС МЧС России

## Модернизация циклонов для повышения эффективности пылеулавливания

*Рассмотрена новая конструкция циклона с конической вставкой, позволяющей значительно повысить его эффективность. Приведены экспериментальные и теоретические сведения, подтверждающие целесообразность его применения.*

**Ключевые слова:** циклон, пыль, пылеулавливание, очистка, коническая вставка

Одним из опасных факторов производства является пыль. Она опасна для здоровья людей и окружающей среды. Наличие горючей пыли на производстве может спровоцировать мощные взрывы и пожары, поэтому одним из мероприятий по снижению уровня опасности предприятия является обустройство систем аспирации и вентиляции. В аспирационных системах циклоны являются широко распространенными пылеуловителями благодаря простоте конструкции и относительно низкой стоимости эксплуатации. Циклоны встречаются во всех отраслях промышленности, связанных с образованием пыли. Основным недостатком данных аппаратов является их низкая эффективность по отношению к высокодисперсным частицам. Вышесказанное стало предпосылкой для поиска решений по оптимизации конструкции циклона с целью повышения его эффективности.

На базе устройства для пылеулавливания [1] (рис. 1, а) разработан и апробирован циклон с конической вставкой (рис. 1, б).

Предложенный модернизированный циклон (см. рис. 1, б) работает следующим образом. Запыленный газ, поступающий в устройство для пылеулавливания, благодаря взаимному расположению корпуса 2 и входного патрубка 1 движется по спирали по направлению к нижнему концу разгрузочного патрубка 5.

Под действием возникающей при этом центробежной силы частицы пыли, находящиеся в газовом потоке, движутся к стенке корпуса пылеулавливателя. При этом частицы пыли большего размера касаются стенки пылеулавливателя и движутся по ней вниз в коническую часть к разгрузочному патрубку 5. Частицы меньшего размера, имеющие меньшую радиальную составляющую скорости, движутся в нисходящем газовом потоке

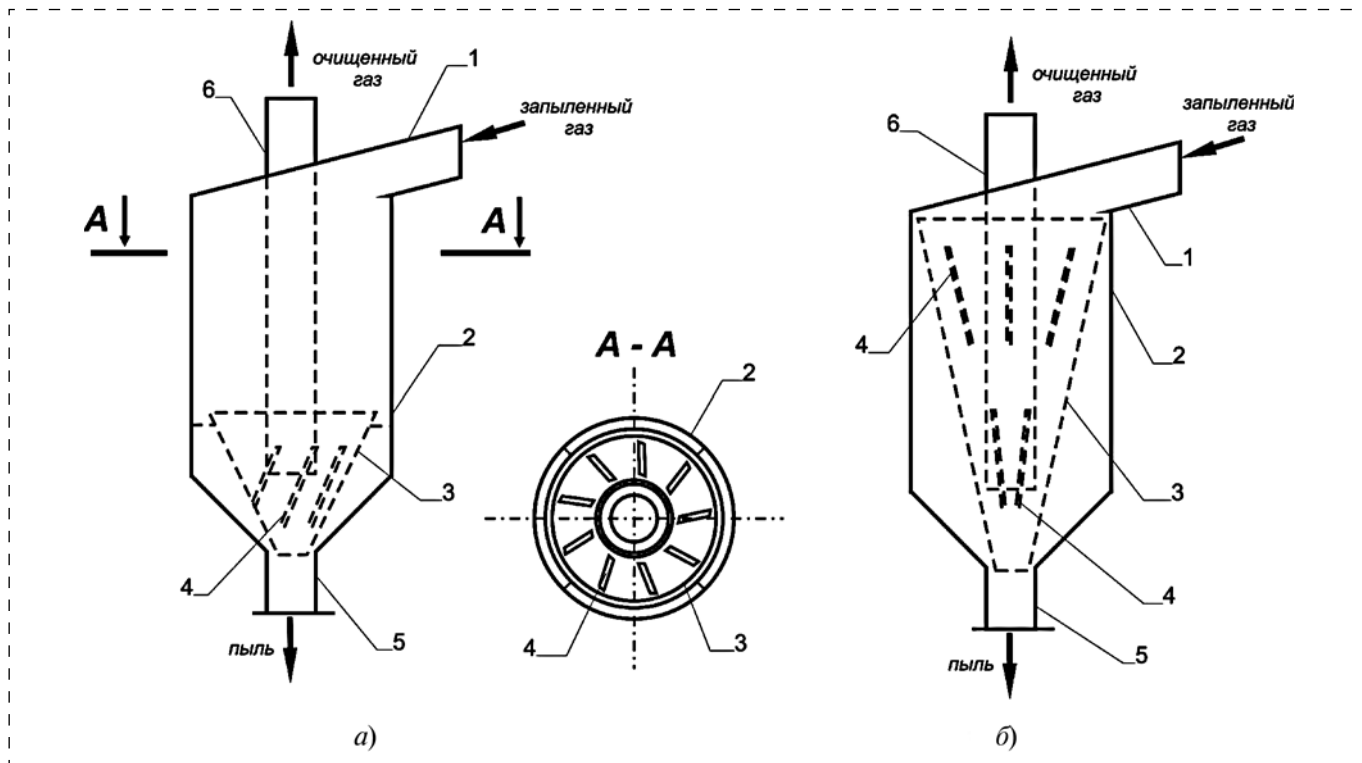
дольше крупных частиц и достигают внутреннюю поверхность конической вставки со щелевыми улавливающими отверстиями 4, прикрепленной к стенке пылеулавливателя соответствующими креплениями (размещение конической вставки по высоте пылеулавливателя определяется в зависимости от предполагаемого места достижения мелкими частицами пыли внутренней поверхности конической вставки). Продолжая движение по внутренней поверхности конической вставки 3, мелкие частицы пыли попадают в щелевые улавливающие отверстия 4 и опускаются вниз к разгрузочному патрубку 5 в пространстве, образованном стенкой корпуса пылеулавливателя и внешней стенкой конической вставки 3, что предотвращает их взвихривание и вынос из аппарата с выходящим газовым потоком через выходной патрубок 6.

С целью определения оптимального режима работы и усовершенствования конструкции циклона [1] были проведены теоретические и экспериментальные исследования.

Известно, что дисперсная фаза в общем случае находится в циклоне в трех состояниях (или если проводить разграничение по месту расположения и характеру движения — в трех потоках) [2].

При высокой концентрации пыли в разделяемом двухфазном потоке она собирается на внутренней поверхности циклона в так называемый "жгут" — первое состояние, представляющее собой поток с высокой плотностью частиц, движущийся спиралевидно по внутренней стенке циклона.

Однако теоретические и опытные данные свидетельствуют о том, что часть осажденных частиц перемещается вне "жгута" по своим отличающимся траекториям. Их движение неустойчиво и характеризуется сочетанием скольжения, качения и верчения. Они перемещаются



**Рис. 1. Схемы циклонов:**

*a* — устройство для пылеулавливания [1]; *б* — модернизированный циклон: 1 — входной патрубок; 2 — корпус; 3 — коническая вставка; 4 — шелевые улавливающие отверстия; 5 — патрубок для удаления пыли; 6 — патрубок для выхода очищенного воздуха

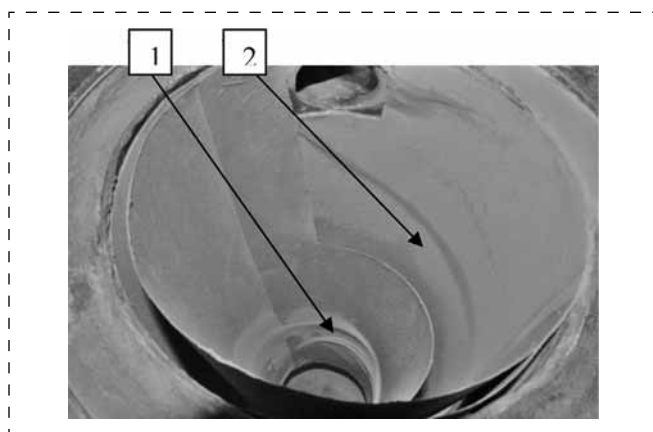
с отрывом от поверхности (среди прочих причин в силу возникновения эффекта Магнуса [3]), могут образовывать циклические круговые течения в непосредственной близости от верхней крышки циклона — второе состояние. Третье состояние — мелкодисперсные частицы, движущиеся в закрученном воздушном потоке. Эта часть дисперсной фазы может не достичь внутренней поверхности циклона из-за низкой скорости осаждения и будет унесена обратным газовым потоком.

Эта особенность аэродинамики пылегазового потока позволяет оптимизировать конструкцию циклона путем создания элементов конструкции, осаждающих каждую область движения частиц отдельно. С этой целью циклон был снабжен конической вставкой. Были получены экспериментальные данные по общему виду треков движения частиц в циклоне с конической вставкой (рис. 2).

Как видно на рис. 2, при движении поток разделяется на два "жгута": поток 2 по стенке корпуса циклона — "большой жгут" — более крупные частицы; поток 1 по стенке конуса — "малый жгут" — высокодисперсные частицы, перемещающиеся между стенкой циклона и выхлопной трубой. В силу специфики движения такие частицы могут оставаться в циклоне продолжительное время, а при неблагоприятных условиях быть захваченными потоком и вынесенными в выхлопную трубу.

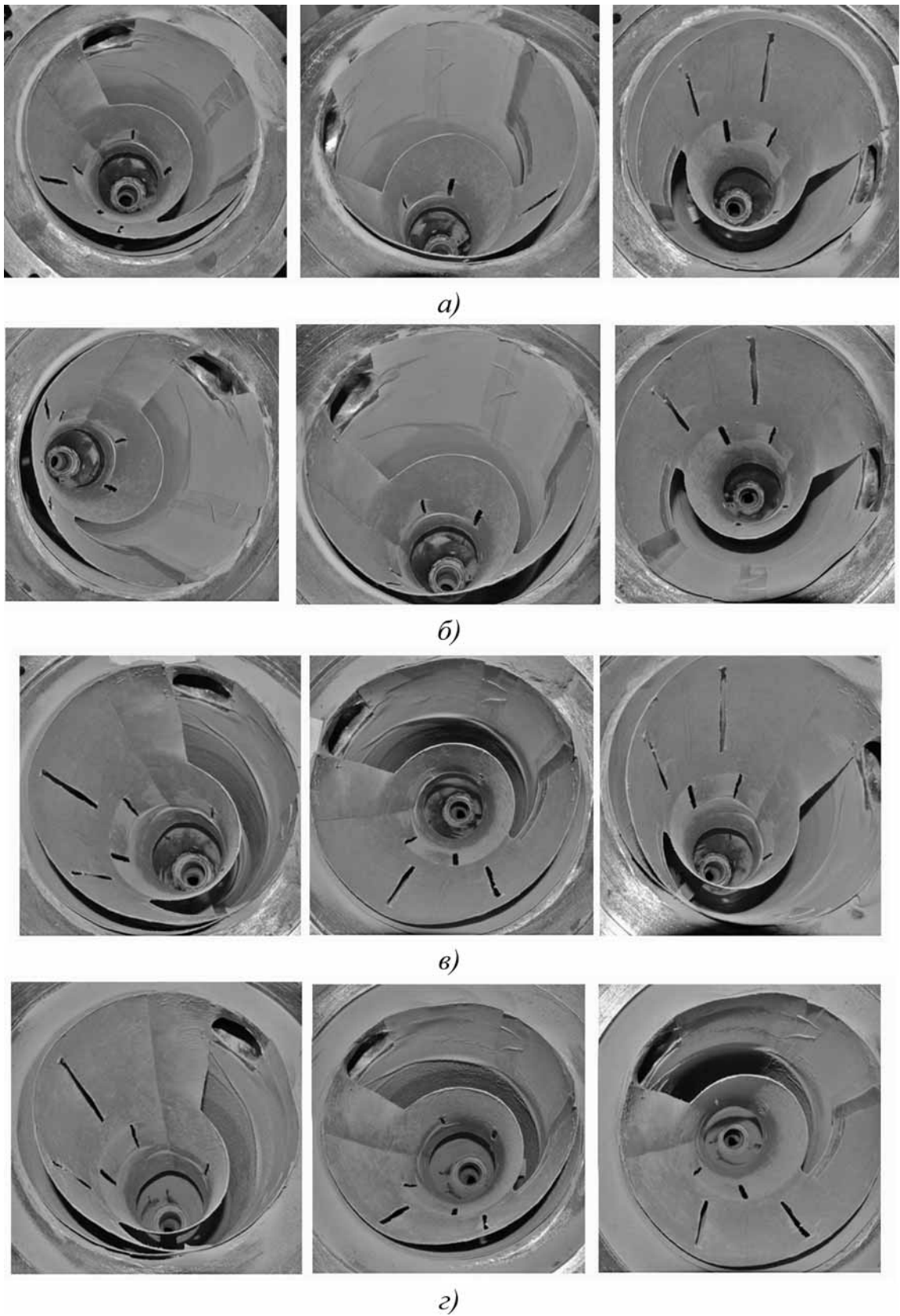
Из-за высокой дисперсности и концентрации частицы в "малом жгуте" могут быть унесены в выхлопную трубу, поэтому было предложено расположить по ходу "малого жгута" поперечные шелевые отверстия, куда будут проваливаться частицы, и это удержит их в пространстве между цилиндрическим корпусом и конусовидной вставкой.

Частицы, осевшие в верхней части циклона, но не попавшие в "жгут", перемещаются на



**Рис. 2. Картина треков в экспериментальном циклоне с конической вставкой:**

1 — жгут на внутренней поверхности конусной вставки — "малый жгут"; 2 — жгут на внутренней поверхности корпуса — "большой жгут"



**Рис. 3. Вид трекров пыли внутри циклона при разных скоростях на входе в циклон:**  
*a* — скорость 20 м/с; *б* — 18 м/с; *в* — 13 м/с; *г* — 10 м/с

коническую поверхность. Двигаясь по вставке, они удаляются через щелевые отверстия, расположенные в верхней части, и попадают в пространство между корпусом и конической вставкой. Достижимый эффект сопоставим с наблюдаемым в циклоне Ван-Тонгерена [2] — предотвращается явление кругового движения осажденной пыли в верхней части аппарата.

Коническая форма вставки создает благоприятные условия для улавливания мелких частиц, составляющих третий поток. Их осаждение происходит в средней части конической вставки, снабженной еще одним рядом улавливающих отверстий. Частицы, отведенные через отверстия в пространство между корпусом и вставкой, не попадают в обратный восходящий газовый поток.

Если описанный механизм соблюден, то эффективность обычного циклона значительно повышается. Как показывает теория и практика пылеулавливания в циклонах, одним из ключевых параметров эффективной работы является скорость, с которой войдет пылегазовый поток в циклон, поэтому проведены эксперименты, целью которых была визуальная оценка картины треков и подбор оптимальной скорости потока на входе в аппарат. Результаты представлены на рис. 3.

Как видно на рис. 3 щелевые вставки позволяют уловить жгут, состоящий из мельчайших частиц и оседающий на конической вставке. Представленные на рис. 3 данные свидетельствуют, что наиболее эффективно циклон работает при входной скорости 13...18 м/с, что соответствует диапазону скоростей, в котором работают традиционные промышленные циклоны. Для оценки работы модернизированного циклона по сравнению с обычным циклоном измеряли общую эффективность пылеулавливания для частиц пыли дисперсностью ниже 10 мкм и общий перепад давлений в циклоне в зависимости от скорости потока на входе в аппарат. Для перехода к безразмерным критериям использовали критерий Эйлера  $Eu$  и критерий Рейнольдса  $Re$  [4]. Критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu},$$

где  $w$  — скорость пылегазового потока на входе в аппарат, м/с;  $d$  — диаметр входного патрубка, м;  $\rho$  — плотность пылегазового потока, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — динамическая вязкость пылегазового потока, Па·с.

Критерий Эйлера выражали как

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho w^2},$$

где  $\Delta P$  — общий перепад давлений на циклоне, Па.

В рассматриваемом случае плотность  $\rho$  и вязкость  $\mu$  пылегазового потока приблизительно равны плотности и вязкости воздуха ( $\rho = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu = 18,27$  мкПа·с), так как содержание пылевых частиц пренебрежительно мало по отношению к объему воздуха. Средняя начальная концентрация  $C_H$  ржаной пыли в пылегазовом потоке на входе в циклон составляла  $C_H = 500$  мг/м<sup>3</sup>, основная масса частиц в потоке имеет средний медианный диаметр  $\bar{d}_m = 20$  мкм, среднее квадратичное отклонение диаметра частиц  $\sigma = 0,56$ . Результаты измерений представлены на рис. 4, 5.

Конструктивные параметры циклона с конической вставкой приведены в таблице.

В таблице представлены значения критериев-симплексов геометрического вида  $\Gamma'$  и  $\Gamma''$ , которые использовались для оценки основных параметров работы циклона в зависимости от геометрических размеров циклона и вставки и представляют собой следующие безразмерные отношения

$$\Gamma' = \frac{S_{щ}}{S_{к.вст}} \cdot 1000, \quad \Gamma'' = \frac{S_{к.вст}}{S_{ц}},$$

где  $S_{щ}$  — площадь щелевых отверстий вставки, м<sup>2</sup>;  $S_{к.вст}$  — площадь конусной вставки циклона, м<sup>2</sup>;  $S_{ц}$  — внутренняя площадь циклона, м<sup>2</sup>. Значения данных критериев были найдены эмпирическим путем.

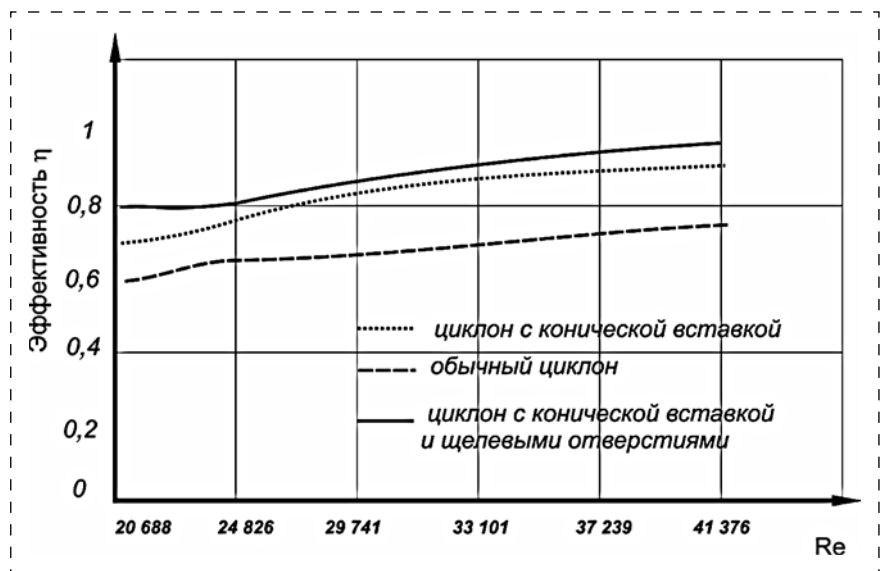
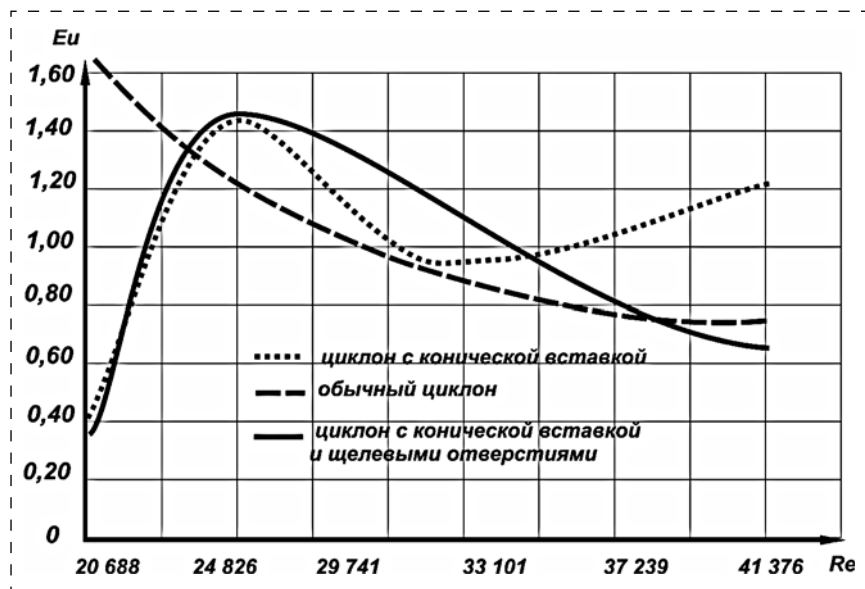


Рис. 4. Зависимость  $\eta = f(Re)$  для ржаной пыли



Применение таких циклонов в оптимальном диапазоне скоростей потока на входе в циклон 16...18 м/с позволяет повысить эффективность пылеулавливания до 99,9 % для частиц пыли мукомольного производства дисперсностью более 4 мкм, что значительно расширяет возможности применения циклонов в практике пылеулавливания. Экспериментально доказано, что в силу сложной специфики движения потоков внутри циклона коническая вставка не только не создает избыточного аэродинамического сопротивления, но и нормализует и упорядочивает потоки, о чем свидетельствует незначительное изменение общего перепада давления в системе.

Рис. 5. Зависимость  $E_u = f(Re)$  для ржаной пыли

### Список литературы

#### Конструктивные параметры циклона с конической вставкой

Вид пыли	Критерий-симплекс геометрического вида		Половина угла при вершине конуса вставки $\theta$
	$\Gamma'$	$\Gamma''$	
Ржаная	0,079	0,59	5,7

Таким образом, в результате экспериментов были получены данные о характере аэродинамики потоков в циклоне, на основании которых можно сделать вывод о целесообразности применения конструкции циклона с конической вставкой.

1. Патент № 2480294. Устройство для пылеулавливания / А. М. Гавриленков, Д. В. Каргашилов, А. В. Некрасов. 2013. Бюл. № 12.
2. Мисюля Д. И., Кузьмин В. В., Марков В. А. Сравнительный анализ технических характеристик циклонных пылеуловителей // Труды БГТУ. — 2012. — № 3. — С. 154—163.
3. Прандтль Л. Эффект Магнуса и ветряной корабль // Успехи физических наук. — 1925. — Том V. — Вып. 1—2. — С. 1—27.
4. Романюк Е. В., Каргашилов Д. В., Некрасов А. В. Циклоны высокой эффективности для очистки пылегазовых выбросов // Безопасность в техносфере. — 2014. — № 4. — С. 51—54.

**E. V. Romanyuk**, Associate Professor, E-mail: scercso@mail.ru,  
**D. V. Kargashilov**, Head of Department, **A. V. Nekrasov**, Associate Professor,  
 Voronezh Institute of the State Firefighting Service of EMERCOM of Russia

## Modernization of the Cyclone to Improve the Efficiency of Dust Catching

*The new construction of cyclone with conical insert to improve efficiency and experimental and theoretical information to confirm the expediency of its application are in the article. The authors propose theoretical explanation of dust particle movement inside of cyclone and show three types of dust particle movement: streams of superfine particles, medium particles and large particles. Every of the stream can be caught with the cyclone with conical insert of the special parameters. The experimental dependence of the dust catching efficiency on the input flow speed and the dependence of cyclone total pressure drop on the input flow speed are given in article. The experimental data allows to propose specific geometric parameters of cyclone for specific input flow. The cyclone can be used in fire dangerous production, where there is a lot of combustible dust. The conical insert of cyclone reduces volume of superfine combustible particles in air to precipitating them inside cyclone.*

**Keywords:** cyclone dust collector, dust, dust-catching, purification, conical insert

### References

1. Патент № 2480294. Устройство для пылеулавливания / А. М. Гавриленков, Д. В. Каргашилов, А. А. Некрасов. 2013. Бюл. No. 12.
2. Misjulja D. I., Kuz'min V. V., Markov V. A. Sravnitel'nye analiz tehniceskikh harakteristik ciklonnyh pylulovitelej. *Trudy BGTU*. 2012. No. 3. P. 154—163.
3. Prandtl' L. Jeffekt Magnusa i vetranjoj korabl'. *Uspеhi fizicheskikh nauk*. 1925. V. 1—2. P. 1—27.
4. Romanjuk E. V., Kargashilov D. V., Nekrasov A. V. Ciklony vysokoj jeffektivnosti dlja ochistki pylегазовых выбросов. *Bezopasnost' v tehnosfere*. 2014. No. 4. P. 51—54.

УДК 629.039.58 + 532.533.5

**В. А. Шаланин**, асп., e-mail: vic\_stro@mail.ru, **С. В. Федоренко**, асп.,  
Дальневосточный Федеральный Университет (ДФУ), Владивосток

## Оценка влияния условий сброса на пропускную способность водосливов

*Приведены примеры чрезвычайных ситуаций при эксплуатации водохранилищ для целей водоснабжения. Показано, что для идеальной жидкости параметры истечения через водосливы подчиняются вариационному принципу наименьшего действия при реализации на гребне водослива параллельно-струйного течения. Выявлено, что отклонение от теоретической пропускной способности происходит в меньшую сторону при влиянии сил гидравлического сопротивления, а в большую сторону при влиянии кривой спада. Выполнено сравнение полученных результатов с исследованиями А. П. Гурьева, П. П. Мойса, Н. П. Розанова и Ребока. Приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию затвора на коэффициент расхода.*

**Ключевые слова:** принцип наименьшего действия, водослив, водосброс, пропускная способность, коэффициент расхода

### Введение

Безопасность работы гидротехнических сооружений в мелиоративных системах, системах водоснабжения и канализации, а также при эксплуатации плотин любого назначения, во многом зависит от пропускной способности водосбросных сооружений. Особенно актуальной становится проблема при необходимости сбросов паводковых вод.

Одним из основных элементов водосбросных сооружений являются водосливы. Самый простой водослив с тонкой стенкой представляет плоскую перегородку с отверстием треугольного, круглого или прямоугольного сечения, через которое переливается вода. Такие водосливы применяются в основном для измерения расходов воды. В большинстве гидротехнических конструкций применяются водосливы практического профиля, в которых поверхность, по которой стекает вода, приближена к форме падающей струи. Такие водосливы являются наиболее устойчивыми к гидродинамическим воздействиям.

Безопасность работы водосливных сооружений связана с их пропускной способностью, определению которой посвящено достаточно большое количество работ. Однако несмотря на изученность процесса в практике эксплуатации водохранилищ, в частности, используемых для целей водоснабжения, имеют место чрезвычайные ситуации, приводящие к существенным экономическим потерям. Одна из таких ситуаций описана на

последних страницах данной статьи. Катастрофические последствия связаны, как правило, с переливом воды через гребень плотины, затоплением площадей ниже плотины, разрушением конструкций потоком воды. Как правило, все указанные последствия связаны с работой водосбросов с водосливными сооружениями. Даже недостаточная пропускная способность водоотводящих каналов связана с работой водосливов, которые определяют уровень воды в верхнем течении канала.

В классической инженерной гидравлике все типы водосливов рассчитываются по общей зависимости, полученной из уравнения сохранения энергии [1]:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{3/2}, \quad (1)$$

где  $Q$  — расход потока;  $m$  — коэффициент расхода (определяется экспериментально);  $b$  — ширина гребня водослива;  $g$  — ускорение свободного падения;  $H_0 = H' + p + \frac{v_1^2}{2g}$  — полный напор перед

водосливом;  $H'$  — глубина потока над водосливом в потоке перед ним;  $p$  — высота водослива;  $v_1$  — скорость воды в верхнем бьефе — области движения потока перед водосливом.

В практике гидротехнического и мелиоративного строительства на водосбросных сооружениях, как правило, применяют водосливы с безвакуумными оголовками, очертаниям которых

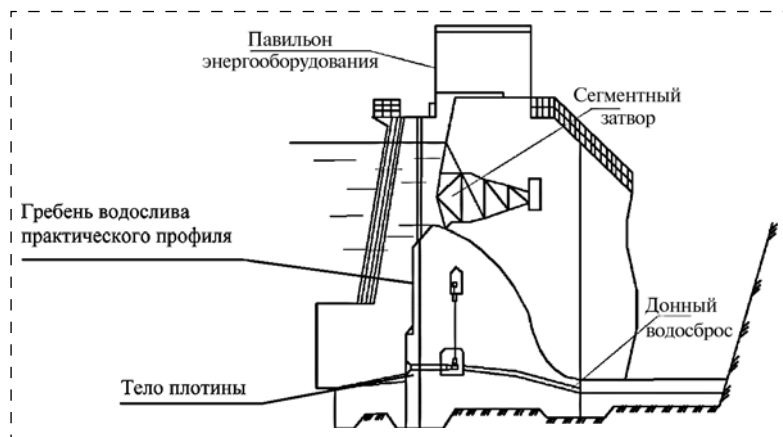


Рис. 1. Схема ливнесброса плотины Пионерского водохранилища

стараятся придать форму нижней поверхности струи, переливающейся через водослив (рис. 1). Указанные очертания исключают образование вакуума под струей. Такой же характер очертания придают оголовкам шахтных водосбросов, выполненных в виде воронки, через которую сбрасывается вода в нижний бьеф через вертикальную шахту и отводящий туннель.

В шахтных и траншейных водосбросах проектируются водосливы автоматического действия без установки затворов на их гребне. Работа таких водосливов начинается непосредственно после подъема уровня воды в водохранилище на величину, обеспечивающую преодоление сил поверхностного натяжения на гребне водослива. Увеличение напора с увеличением расхода влечет трансформацию гидрографа паводка, что в конечном счете определяет требуемую пропускную способность водослива [2]. Водосливы с затвором предполагают установку затвора над гребнем водослива — в самой высокой точке водосбросного фронта. На рис. 1 показан водослив практического профиля с сегментным затвором.

### Постановка задачи исследования

В предлагаемой работе представлен анализ влияния напора, сил гидравлического сопротивления и наличия затвора над гребнем на пропускную способность водослива. За критерий оценки степени влияния того или иного из перечисленных выше факторов приняты зависимости и коэффициенты расхода, полученные для идеальной жидкости на основе использования принципа наименьшего действия. Мотивацией такого подхода были проведенные ранее исследования истечения через водослив с широким порогом, показавшие, что применение принципа наименьшего действия является эффективным (водослив с широким порогом — водослив, на

гребне которого реализуется участок с параллельноструйным движением [3]).

Расчетные параметры, полученные теоретически, совпадали с опытными данными других исследователей и с расчетными формулами, включающими коэффициенты расхода, найденные экспериментально [4, 5].

Прежде чем перейти к оценке влияния указанных выше факторов на пропускную способность водосливов, целесообразно привести результаты исследований некоторых авторов. Выбранные для анализа исследования захватывают широкий диапазон напоров и являются, несомненно, достоверными.

Используемые методы расчета водосбросов, представленные в справочной литературе, рассматривают случаи истечения через водослив при напорах  $\frac{H}{H_{пр}} \geq 0,1 \dots 0,2$ , где  $H$  — глубина воды в

верхнем бьефе;  $H_{пр}$  — проектный напор плотины [1]. Нормативных рекомендаций по определению коэффициентов расхода при меньших значениях этих параметров не имеется.

С точки зрения задач предлагаемой работы показательными являются исследования А. П. Гурьева для оценки влияния сил гидравлического сопротивления. В работе [6] приведены данные А. П. Гурьева по анализу существующих зависимостей для определения пропускной способности водосливов практического профиля и пропускной способности шахтных водосбросов при минимальных напорах над гребнем водослива ( $H \rightarrow 0$ ). В этой работе показано, что эмпирические зависимости Базена и Эгли для определения коэффициента расхода водосливов не отражают физических процессов протекания через прямоугольный водослив при малых напорах [2]. А. П. Гурьев, решая последнюю задачу, аналитически получил предельное значение коэффициента расхода для водослива практического профиля  $m_{H \rightarrow 0} = 0,272$  [2]. Однако это значение  $m$ , как показали дальнейшие исследования, не отвечает значениям, полученным в результате экспериментальных исследований. По данным Н. П. Розанова, при  $H \rightarrow 0$  коэффициент расхода лежит в диапазоне  $m_{H \rightarrow 0} = 0,316 \dots 0,337$  [2].

Для водосброса практического профиля с круглоцилиндрическим оголовком используется формула Ребока [6], которая при  $H \rightarrow 0$  дает результат  $m_{H \rightarrow 0} = 0,357$  [2]. Экстраполяция расчетных зависимостей П. П. Мойса для шахтных водосбросов дает значение  $m_{H \rightarrow 0} = 0,29$  [2, 7]. Экспериментальные данные А. П. Гурьева дают диапазон значений  $m_{H \rightarrow 0} = 0,232 \dots 0,246$  для водоприемной воронки со



свободным входом, снабженной быком [2]. Широкий диапазон значений коэффициентов расхода, представленный в известных работах, не имеет объяснения этой разницы с точки зрения действующих сил. С точки зрения практической значимости предлагаемой работы — повышение точности гидравлических расчетов водосбросных устройств — способствует пониманию механизма действия доминирующих сил на пропускную способность водосливов, что является важной задачей.

### Теоретические исследования

В предлагаемом исследовании, как было показано выше, применен принцип наименьшего действия для установившегося потока жидкости в формулировке Гамильтона [4, 5]. Действием в этом случае является разность между потенциальной и кинетической энергиями, называемая лагранжианом. Каждое тело (в данном случае водослив) имеет набор возможных траекторий движения, однако, существует одна-единственная, по которой водослив действительно пойдет. Вариационный интегральный принцип наименьшего действия дает ответ, что водослив будет двигаться между двумя заданными точками так, чтобы действие было минимальным.

В процессе минимизации лагранжиана было получено уравнение для определения минимальной глубины потока, формирующейся на поверхности водослива:

$$h = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{2b^2g}}. \quad (2)$$

Уравнение (2) отражает глубину потока над водосливом практического профиля, при условии образования на нем ровного участка с параллельноструйным течением, и используется для замыкания системы уравнений совместно с уравнением энергии потока жидкости и уравнением неразрывности. В итоге была сформирована система уравнений, позволяющая определять глубину потока на водосливе и перед ним:

$$\begin{cases} h = \frac{v_2^2}{2g} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{2b^2g}}, \\ H + \frac{v_1^2}{2g} = h + p + \frac{v_2^2}{2g}, \\ (H' + p)bv_1 = hbv_2. \end{cases} \quad (3)$$

Подставляя уравнение минимальной глубины (2) в уравнение сохранения энергии потока (1)

и решая систему уравнений (3), получаем пропускную способность водослива:

$$Q = \frac{1}{2}b\sqrt{g} \left( H' + p + \frac{v_1^2}{2g} \right)^{1,5} = \frac{1}{2}\sqrt{g}H_0^{3/2}, \quad (4)$$

где  $H = H' + p$  — глубина воды в верхнем бьефе;  $H'$  — глубина потока над водосливом в потоке перед ним;  $p$  — высота водослива;  $b$  — ширина гребня водослива,  $v_2$  — скорость воды на водосливе,  $v_1$  — скорость воды в верхнем бьефе;  $h$  — глубина потока на водосливе.

Полный напор перед водосливом находится из соотношения

$$H_0 = H' + \frac{v_1^2}{2g} = 2h. \quad (5)$$

Метод, обозначенный в работах [4, 5] и используемый в настоящей статье, заключается в том, что при истечении жидкости через водосливы глубина на гребне определяется в соответствии с принципом наименьшего действия, а глубина в верхнем бьефе — уравнением сохранения энергии. При этом влияние потерь энергии имеет место, но оно незначительно. Классические подходы значение коэффициента расхода связывают только с потерями энергии потока, проходящего через водосбросное устройство.

### Практическое применение теоретических предположений

Проверить предлагаемый подход при истечении через водослив практического профиля можно только при условии малого напора на нем, обеспечивающего наличие участка с параллельноструйным течением. На таких участках отсутствует влияние кривых спада (кривая спада — кривая свободной поверхности потока, в котором глубина убывает в направлении движения [1]).

Для сопоставления полученной теоретической зависимости (4) с данными известных экспериментальных исследований формулы (1) и (4) были приведены к виду  $Q = MbH_0^{3/2}$ , где для уравнения (1)

$M = m\sqrt{2g}$ , а для выражения (4)  $M = \frac{1}{2}\sqrt{g}$ . Тогда для представленного исследования  $M = 1,565$ . Согласно данным различных исследователей коэффициент  $M = 1,204$  — по данным А. П. Гурьева,  $M = 1,4$  и  $M = 1,492$  — по данным Н. П. Розанова и  $M = 1,581$  — по данным Ребока.

Исходя из сопоставления этих данных можно говорить о том, что применение принципа наименьшего действия дает результаты, соответствующие

экспериментальным данным Ребока и Н. П. Розанова. Коэффициент расхода, теоретически полученный А. П. Гурьевым, существенно отличается от коэффициентов зависимостей, полученных Ребоком и Н. П. Розановым. Это отличие, очевидно, связано с тем, что А. П. Гурьев учитывает при малых напорах трение на водосливе [2].

Автор статьи [2] рассматривает истечение через водослив практического профиля как через водослив с широким порогом, тем не менее, в этой статье отсутствует сравнение результатов теоретических исследований с существующими методами расчета водосливов с широким порогом.

Теоретические исследования А. П. Гурьева основаны на предпосылке, что при малых напорах  $H_0$  и скоростях  $v$  подхода воды  $H' \approx 1,5h$ . Это предположение может быть справедливым при глубине на водосливе, стремящейся к нулю, и существенном влиянии сил трения. При других условиях по исследованиям Дорингфельда и Баркера  $H' \approx 2h$  [7]. Аналогичные данным Дорингфельда и Баркера дают теоретические расчеты по принципу наименьшего действия — см. зависимость (5).

В работе [2] рассматриваются шахтные водосбросы, имеющие кольцевые водосливы, для расчета которых используется формула (1) с заменой ширины водослива с тонкой стенкой или практического профиля на длину окружности аналогичных кольцевых профилей.

Для определения коэффициента расхода кольцевых водосливов практического профиля используется формула П. П. Мойса [8]:

$$m = \left( 0,57 - \frac{0,139H_{\text{пр}}}{R} \right) \sigma_l \sigma_p \sigma_{\text{п.в}} k_H, \quad (6)$$

где  $\sigma_l$  — поправка на размер подводящей выемки;  $\sigma_p$  — поправка на высоту водослива;  $\sigma_{\text{п.в}}$  поправка, учитывающая влияние противоводоворотных конструкций;  $k_H$  — поправка отклонения напора от проектного  $H_{\text{пр}}$ ;  $R$  — радиус кривизны водослива.

Все поправочные коэффициенты в зависимости (6) даны для отношения  $H/H_{\text{пр}} \geq 0,3$  [8]. Если из формулы (6) исключить все опытные коэффициенты, связанные с особыми условиями подхода воды, кроме  $k_H$ , и принять отношение  $H_{\text{пр}}/R$  как достаточно малую величину, то  $k_H$  будет равен  $\sim 0,7$ , а коэффициент расхода —  $0,355$ . Последнее значение соответствует величине коэффициента расхода по принципу наименьшего действия ( $m = 0,354$ ).

Для водосливов практического профиля коэффициент расхода зависит от напора и лежит в пределах от  $0,3$  до  $0,57$  [1]. Исходя из представлений авторов настоящей работы, меньшее значение коэффициента соответствует истечению через водослив с присутствием участка

параллельно-струйного течения без существенного влияния потерь энергии подходящего потока. Большее значение связано с влиянием кривой спада, увеличивающей энергию потока на гребне водослива.

Проведенный анализ и соответствие коэффициентов расхода при определенных условиях экспериментальным данным позволяет сделать вывод, что существует стремление потока реализоваться в соответствии с принципом наименьшего действия. Отклонения от параметров, заданных этим принципом, происходят за счет сил трения при малых напорах на гребне водослива. В этом случае коэффициент расхода должен уменьшаться, и за счет влияния кривой подпора при больших напорах коэффициент должен увеличиваться.

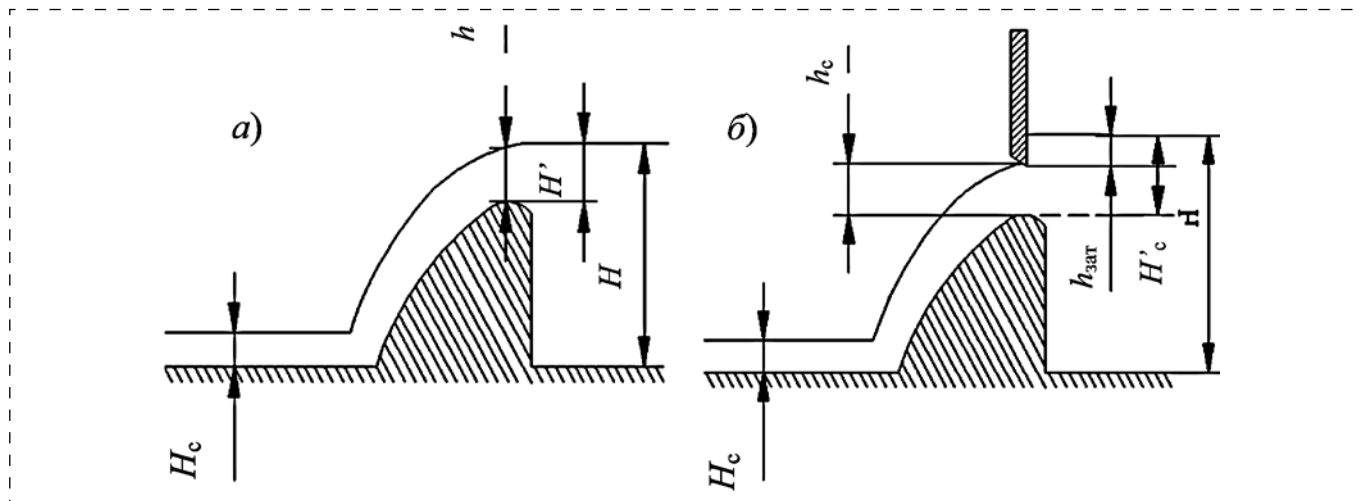
Экспериментальные данные соответствуют гипотезе предыдущего абзаца. При малых напорах для шахтных водосбросов коэффициент расхода по данным П. П. Мойса и А. П. Гурьева лежит в пределах  $0,21 \dots 0,29$ , для водосливов практического профиля по данным А. П. Гурьева —  $0,272$ . При больших напорах коэффициент расхода увеличивается до  $0,5 \dots 0,57$  [1].

В 2001 г. при сбросе воды из Пионерского водохранилища в г. Владивостоке во время тайфуна "Санба" были разрушены два моста (автомобильный и железнодорожный) и затоплены два поселка. Авария произошла потому, что эксплуатирующая организация для предотвращения перелива через гребень плотины была вынуждена выдернуть сегментный затвор из направляющих рельс и сделать водослив свободным.

Эта аварийная ситуация заставила обратиться к проблеме определения пропускной способности ливнесброса плотины. В лаборатории ДВФУ были проведены эксперименты на модели масштаба  $1:100$ , целью которых было определение влияния сегментного затвора на пропускную способность водослива практического профиля. Схема водосброса показана на рис. 1. Для установки модели ливнесброса использовался компьютеризированный гидродинамический лоток DIDACTA ITALIA H91.8D. Моделирование осуществлялось при равенстве на модели и натуре критерия Фруда и обеспечении условия автомодельности по критерию Рейнольдса. Характеристики, измеряемые в эксперименте, показаны на рис. 2.

Результаты экспериментальных исследований для открытого водослива (без затвора) показали, что средний коэффициент расхода для него составляет  $0,54$ , что совпадает с рекомендациями справочника [1]. При этом наблюдается тенденция его увеличения до  $0,57$  с ростом пропускной способности.

Влияние затвора сказывается существенным образом на величине коэффициента расхода.



**Рис.2.** Схема истечения через водослив практического профиля:  
*а* — свободное истечение; *б* — истечение из-под затвора

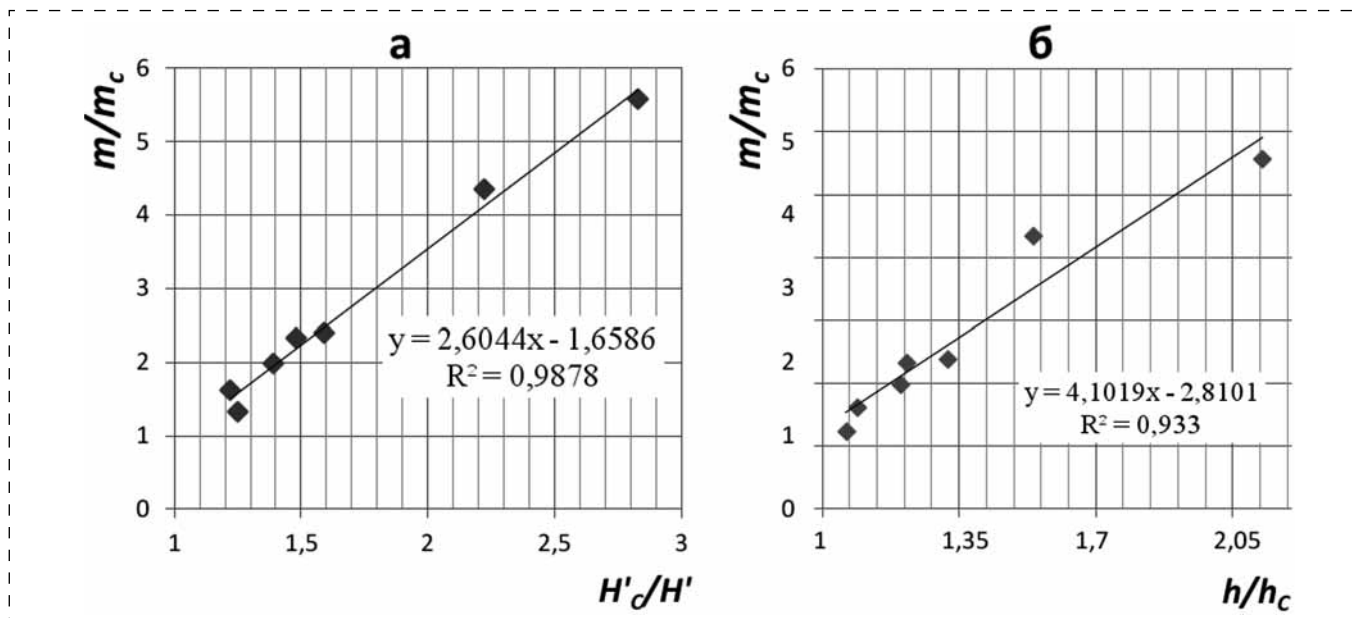
На рис. 3 показана зависимость отношения коэффициента расхода при свободном истечении через водослив  $m$  к коэффициенту расхода при истечении  $m_c$  стесненным затвором, от степеней сжатия потока  $H'_c/H'$  и  $h/h_c$ .

Степень сжатия определялась как отношение глубины потока перед водосливом при стеснении потока затвором  $H'_c$  к подобной глубине при свободном истечении  $H'$  (см. рис. 2, *а*), и как отношение глубины на водосливе при свободном истечении  $h$  к высоте отверстия между гребнем водослива и затвором  $h_c$  (см. рис. 2, *б*).

Линейные зависимости на рис. 3 были получены в диапазоне модельных расходов от 0,06 до

4,6 л/с. Как следует из анализа графических зависимостей на рис. 3, затвор существенно понижает коэффициент расхода, что приводит к повышению уровня воды перед водосливом. Так, сужение потока над водосливом по сравнению со свободным растеканием на 20 % приводит к увеличению глубины перед водосливом  $H'$  на 99 %. Тем не менее, регулирование потока затвором остается единственным эффективным методом управления уровнями воды в водохранилищах при малых притоках воды в него.

С точки зрения подхода, реализуемого в предлагаемой работе, важным является то обстоятельство, что при наличии затвора истечение не



**Рис. 3.** Зависимость отношения коэффициентов расхода  $m/m_c$  от относительного стеснения потока:  
*а* —  $m/m_c = f(H'_c/H')$ ; *б* —  $m/m_c = f(h/h_c)$



подчиняется принципу наименьшего действия. Это означает, что помехи в реализации принципа существенно повышают потери энергии потока.

### Заключение

В результате проведенных исследований можно утверждать, что применение принципа наименьшего действия позволяет рассчитывать пропускную способность водосливов без использования опытных коэффициентов при наличии участка с параллельноструйным течением над гребнем водослива, что, несомненно, повышает точность расчетов. Отклонение от параметров, определяемых принципом наименьшего действия, происходит за счет сил трения, влияния кривой спада при больших напорах и введения помех, нарушающих возможность реализации движения в соответствии с указанным вариационным принципом.

Кроме того, принцип наименьшего действия дает дополнительное условие для расчетов водосливов. Минимизация лагранжиана и уравнение постоянства энергии формируют систему, дающую возможность определять пропускную способность для истечения через водосливы жидкости, приближенной к идеальной.

Экспериментальные исследования, представленные в статье, показали, что наличие затвора

при сбросе паводковых вод существенно снижает коэффициент расхода и повышает уровень воды в верхнем бьефе. Очевидно, необходимые для поддержания нужного объема воды в водохранилище затворы целесообразно конструировать так, чтобы они не мешали сбросу воды в паводок.

### Список литературы

1. **Киселев П. Г.** Справочник по гидравлическим расчетам. Изд. 4-е, переработ. и доп. — М.: Энергия, 1972. — 312 с.
2. **Гурьев А. П.** Определение величины коэффициента расхода водослива шахтного водосброса при малых напорах на гребне водоприемной воронки. Природообустройство // Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева. — 2011. — № 1. — С. 54—60.
3. **Чугаев Р. Р.** Гидравлика. Л.: Энергия, 1975. — 600 с.
4. **Земляная Н. В., Ахромеев Н. Н.** Применение принципа наименьшего действия для решения задач истечения через водосливы // Вестник инженерной школы Дальневосточного Федерального Университета. — 2012. — № 1 (10). — С. 130—134 с.
5. **Земляная Н. В., Шаланин В. А.** Применение вариационного принципа наименьшего действия для расчета уровней воды в водохранилищах. Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. — Владивосток: Изд. ИЦПРОН, 2015. — С. 73—77.
6. **Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И.** Гидравлика. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1954. — 484 с.
7. **Чоу В. Т.** Гидравлика открытых каналов. — М.: Стройиздат, 1969. — 464 с.
8. **Слиссский С. М.** Гидравлические расчеты высоконапорных гидротехнических сооружений. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 304 с.

**V. A. Shalanin**, Postgraduate, Senior Lecturer, e-mail: vic\_stro@mail.ru,  
**S. V. Fedorenko**, Postgraduate, Far Eastern Federal University, Vladivostok

## The Influence Estimation of Spillage Conditions on Throughput of Spillways

*An outflow parameters for ideal liquids through spillways submit to a variation principle of the least action is shown in article if the current with parallel trickles is realised on a spillway crest. The deviation from theoretical throughput occurs in the smaller party at influence of forces of hydraulic resistance, and in the big party at influence of a recession curve has been revealed. Comparison of the received results with researches of A. P. Gurjev, P. P. Mojs, N. P. Rozanov and Rebok is made. Results of experimental researches on influence of a spillway gate on discharge coefficient are resulted. Ones have demonstrated the spillway gate reduced the discharge coefficient of flow.*

**Keywords:** principle of least action, weir, spillway, capacity, discharge coefficient

### References

1. **Kiselev P. G.** Spravochnik po gidravlicheskim raschetam. Izd. 4. M.: Jenergija, 1972. 312 p.
2. **Gur'ev A. P.** Opredelenie velichiny koefefficienta rashoda vodosliva shahtnogo vodosbrosa pri malyh naporah na grebne vodoprijomnoj voronki. Prirodoobustrojstvo. Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet — MSHA im. K. A. Timirjazeva. 2011. No. 1. P. 54—60.
3. **Chugaev R. R.** Gidravleka. L.: Jenergia, 1975. 600 p.
4. **Zemljanaja N. V., Ahromeev N. N.** Primenenie principa naimen'shego dejstvija dlja reshenija zadach istechenija cherez vodoslivy. Vestnik inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo Federal'nogo Universiteta. 2012. No. 1 (10). P. 130—134.
5. **Zemljanaja N. V., Shalanin V. A.** Primenenie variacionnogo principa naimen'shego dejstvija dlja rascheta urovnej vody v vodohranilishhah // Voprosy sovremennyh tehnicheskikh nauk: svezhij vzgljad i novye reshenija. Sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Izd. Innovacionnyj centr razvitija obrazovanija i nauki. 2015. P. 73—77.
6. **Agroskin I. I., Dmitriev G. T., Pikalov F. I.** Gidravlika. M.—L.: Gosjenergoizdat, 1954. 484 p.
7. **Chou V. T.** Gidravlika otkrytyh kanalov. M.: Strojizdat, 1969. 464 p.
8. **Sliisskij S. M.** Gidravlicheskie raschety vysokonapornyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij. M.: Jenergoatomizdat, 1986. 304 p.

УДК 614.84; 621.3.06

**А. А. Таранцев**, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; зав. лаб., Институт проблем транспорта РАН, Санкт-Петербург,  
**А. С. Чащин**, преп., e-mail: alexser9@mail.ru, **А. П. Нодь**, асп., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

## Моделирование вероятностей аварийных режимов в электросетях автотранспортных средств

*Построена математическая модель динамики состояний электросети автотранспортного средства. Оценены вероятности безопасных состояний и возникновения аварийных процессов. Определены времена гарантированного нахождения электросети в работоспособном состоянии и возникновения пожара*

**Ключевые слова:** автотранспортные средства, электросеть, пожар

В процессе эксплуатации автотранспортных средств в их электросети могут происходить аварийные процессы, чреватые риском возникновения пожара (согласно исследованиям Ю. Д. Моторыгина и Д. В. Косенко). При этом электросеть автомобиля может находиться в четырех характерных состояниях:  $S_0$  — рабочее состояние электросети (аварийные процессы отсутствуют);  $S_1$  — имеет место внешнее периодическое воздействие, приводящее к большим переходным сопротивлениям (БПС);  $S_2$  — невосстанавливаемое воздействие, приводящее к БПС;  $S_3$  — возникновение горения. Электросеть автомобиля может находиться в указанных состояниях с вероятностями  $p_0, p_1, p_2, p_3$ . Электросеть автомобиля в процессе эксплуатации может переходить из состояния в состояние (причем состояние  $S_3$  является поглощающим [1]). Граф переходов представлен на рис. 1.

При стандартных допущениях [2] (время перехода из состояния в состояние подчинено экспоненциальному закону [3], вследствие отсутствия изменения вероятностей состояний  $\{p_i(t)\}$  во времени может быть описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений [1, 2]:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 + \mu p_1; \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_1 p_0 - (\lambda_4 + \mu)p_1; \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_2 p_0 - \lambda_3 p_2; \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_3 p_2 + \lambda_4 p_1, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \mu$  — скорости переходов из состояния в состояние (параметры экспоненциальных законов) в соответствии с графом на рис. 1.

Поскольку состояния  $S_0, S_1, S_2$  и  $S_3$  образуют полную группу [4], имеет место соотношение вероятностей между ними:

$$\sum_{i=0}^3 p_i = 1. \quad (2)$$

Решение системы уравнений (1) при начальных условиях  $p_0 = 1, p_1 = p_2 = p_3 = 0$  имеет вид [5, 6]:

$$\begin{cases} p_0(t) = A_1 \exp(-\alpha_5 \mu t) + B_1 \exp(-\alpha_6 \mu t) \\ p_1(t) = A_2 \exp(-\alpha_5 \mu t) + B_2 \exp(-\alpha_6 \mu t) \\ p_2(t) = A_3 \exp(-\alpha_5 \mu t) + B_3 \exp(-\alpha_6 \mu t) - \\ - (A_3 + B_3) \exp(-\alpha_3 \mu t); \\ p_3(t) = 1 - A_4 \exp(-\alpha_5 \mu t) + \\ + B_4 \exp(-\alpha_6 \mu t) + (A_3 + B_3) \exp(-\alpha_3 \mu t), \end{cases} \quad (3)$$

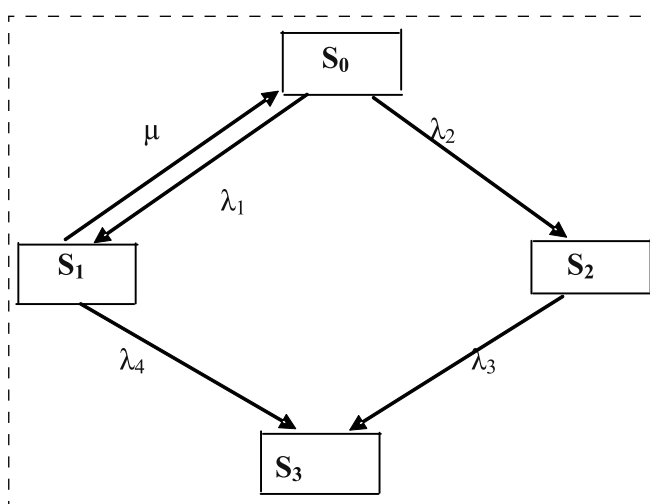


Рис. 1. Граф переходов для состояний электросети автомобиля



где  $\alpha_i = \lambda_i/\mu$ ,  $i \in [1, 4]$ ;  $\alpha_5 = 0,5a(1 - L)$ ;  $\alpha_6 = 0,5a(1 + L)$ ;  $a = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + 1$ ;  $L = (1 - 4ba^{-2})^{0,5}$ ;  $b = \alpha_2\alpha_4 + \alpha_1\alpha_4 + \alpha_2$ ;  $A_1 = \frac{1 + \alpha_4 + 0,5a(L - 1)}{L}$ ;

$$B_1 = \frac{0,5a(L + 1) - 1 - \alpha_4}{L}; A_2 = \alpha_1/L; B_2 = -\alpha_1/L;$$

$$A_3 = \frac{A_1\alpha_2}{\alpha_3 - 0,5a(1 - L)}; B_3 = \frac{B_1\alpha_2}{\alpha_3 - 0,5a(1 + L)}; A_4 = A_1 +$$

$$+ A_2 + A_3; B_4 = B_1 + B_2 + B_3.$$

Зависимость  $p_0(t)$  характеризует снижение вероятности нахождения электросети автомобиля в рабочем состоянии, зависимость  $p_3(t)$  — возрастание вероятности возникновения пожара,  $p_1(t)$  и  $p_2(t)$  — промежуточные состояния. Функция  $p_0(t)$  — убывающая, функция  $p_3(t)$  — возрастающая, функции  $p_1(t)$  и  $p_2(t)$  возрастают от нуля до максимума, а затем снова убывают до нуля — см. пример на рис. 2.

Система уравнений (3) может использоваться для определения времени нахождения электросети в рабочем состоянии  $t_p$  и времени возможного возникновения пожара  $t_{п}$ . Задавшись допустимыми вероятностями  $p_0^{доп}$  и  $p_3^{доп}$ , значения  $t_p$  и  $t_{п}$  можно найти из решения трансцендентных неравенств:  $p_0(t_p) \geq p_0^{доп}$ ,  $p_3(t_{п}) \leq p_3^{доп}$ . Например, для величин скоростей переходов:  $\lambda_1 = 0,2$ ;  $\lambda_2 = 0,4$ ;  $\lambda_3 = 0,6$ ;  $\lambda_4 = 0,8$ ;  $\mu = 1$  выражения системы (3) принимают вид:

$$\begin{cases} p_0(t) = 0,9009e^{-0,4517t} + 0,09911e^{-1,948t} \\ p_1(t) = 0,1336(e^{-0,4517t} - e^{-1,948t}) \\ p_2(t) = 2,429(e^{-0,4517t} - e^{-0,6t}) - \\ - 0,0294(e^{-1,498t} - e^{-0,6t}) \\ p_3(t) = 1 - 3,464e^{-0,4517t} - 0,06392e^{-1,498t} + \\ + 2,4e^{-0,6t}. \end{cases} \quad (4)$$

Результаты определения времени  $t_p = t_{0,95}$  при различных  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_4$

$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_4$	$\mu t_{0,95}$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_4$	$\mu t_{0,95}$		
0,1	0,1	0,1...1	0,2723	1	0,1	0,1	0,04767		
		10	0,2647			1	0,04765		
		100	0,2577			10	0,04752		
	1	1	0,1...1		0,04673	10	0,1...100	100	0,04697
			10		0,04672			1	0,02582
			100		0,04667			10	0,02581
	10	10	0,1...100		0,00508	10	0,1...100	10	0,00467
								0,1	0,00510
								1	0,00468
									0,00257

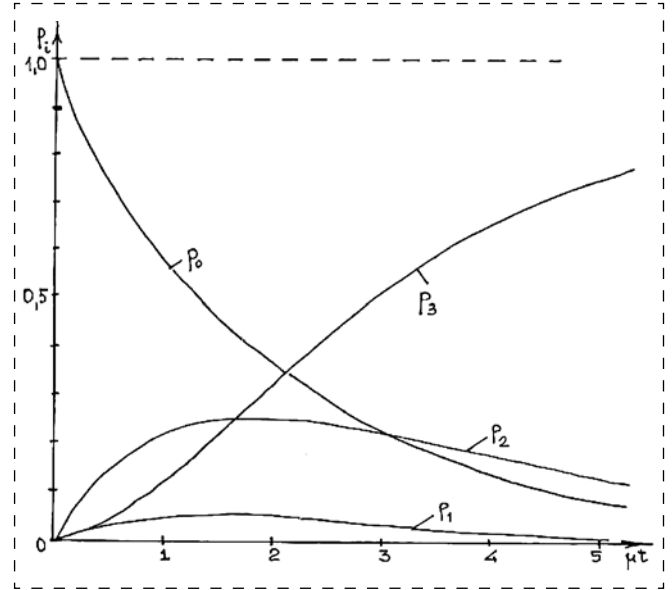


Рис. 2. Пример динамики вероятностей состояний электросети автомобиля

Зависимости  $\{p_i(t)\}$  приведены на рис. 2. Если положить  $p_0^{доп} = 0,95$  и  $p_3^{доп} = 0,01$ , то из выражений (4) получаем:  $\mu t_p = 0,086$ ,  $\mu t_{п} = 0,23$  [6].

По выражениям системы (3) было проведено моделирование и оценено время  $t_p = t_{0,95}$ , при котором вероятность нахождения электросети в рабочем состоянии  $p_0$  снижается до величины 0,95 при различных значениях  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_4$  (как следует из выражений системы (3) параметр  $\alpha_3$  на величину  $p_0$  влияния не оказывает). Результаты моделирования приведены в таблице. Как следует из результатов моделирования при  $\alpha_1 = 1$  и  $\alpha_2 = 10$ , а также при  $\alpha_1 = 10$  и  $\alpha_2 \in (0,1; 10)$  параметр  $\alpha_4$  на время  $t_{0,95}$  уже влияния не оказывает.

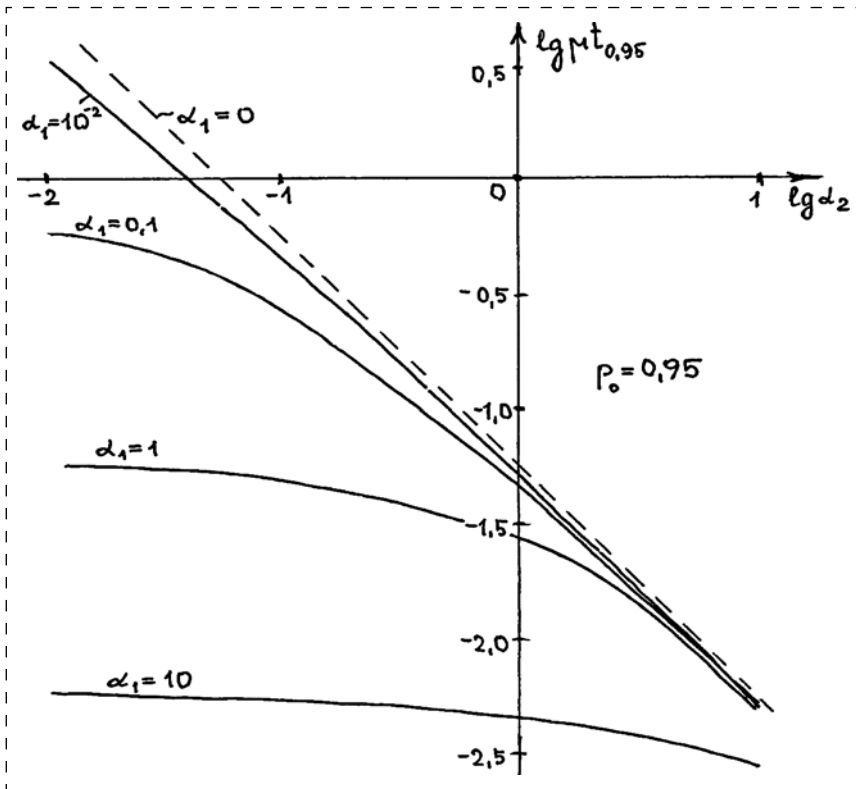


Рис. 3. К оценке времени нахождения электросети автомобиля в рабочем состоянии с вероятностью 95 %

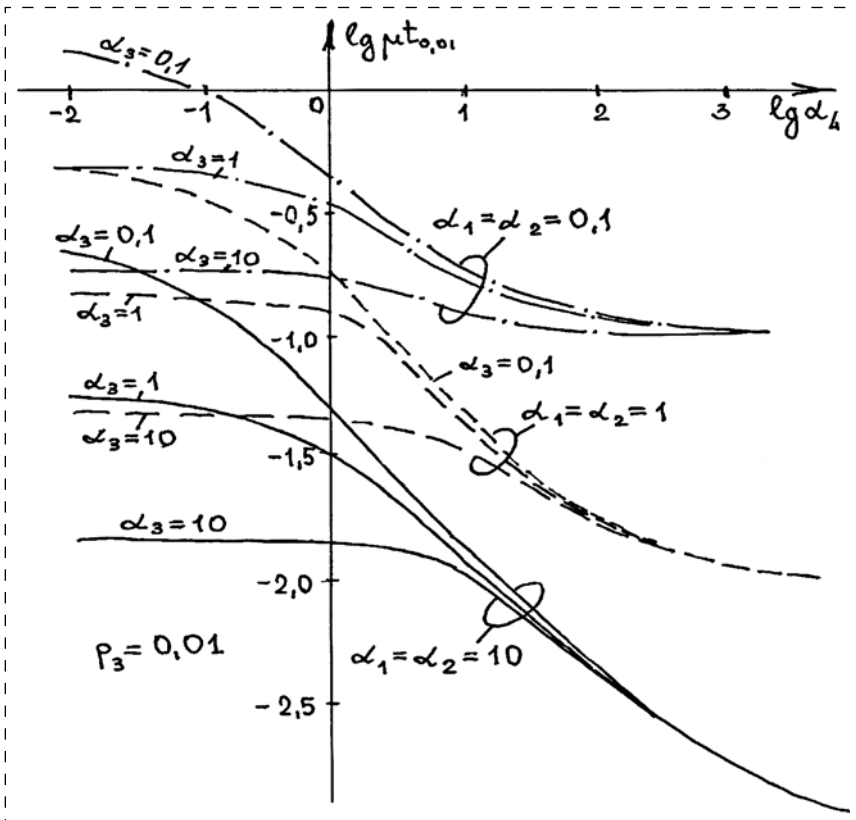


Рис. 4. К оценке времени нахождения времени возможного возгорания электросети автомобиля с вероятностью 1 %

На рис. 3 показана зависимость условного времени  $\mu t_{0,95}$  от параметров  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  при  $\alpha_4 \leq 1$ .

Также по выражениям системы (3) было проведено моделирование и оценено время  $t_{\Pi} = t_{0,01}$ , при котором вероятность пожара электросети автомобиля  $p_3$  повышается до величины 0,01 при различных значениях  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  и  $\alpha_4$ . Обобщенные результаты моделирования представлены на рис. 4.

Таким образом, данный подход позволяет оценить динамику вероятностей нахождения электросети автомобиля в возможных состояниях, а также оценить время нахождения электросети в рабочем состоянии и время вероятного возгорания электросети автомобиля.

#### Список литературы

1. Таранцев А. А. Инженерные методы теории массового обслуживания. Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб.: Наука, 2007.
2. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: Сов. радио, 1972.
3. Таранцев А. А. Случайные величины и работа с ними: Учебное пособие / Под ред. В. С. Артамонова. Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб.: ИД "Петрополис", 2011.
4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. 5-е, стереотипное. — М.: Высшая школа, 1998.
5. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. Изд. 4-е, испр. — М.: Наука, 1971.
6. Таранцев А. А. Об оценке надежности электросетей автотранспортных средств при возникновении аварийных процессов // Материалы Юбилейной международной НПК "Транспорт России: проблемы и перспективы-2015". — СПб.: ФАНО, ИПТ РАН, ОАО "РЖД", СПбУ ГПС МЧС России, 2015. — Том 2. С. 247–250.



A. A. Tarantsev, Professor, A. S. Chashchin, Lecturer, e-mail: alexser9@mail.ru,  
A. P. Nod', Postgraduate, Saint-Petersburg University of State Fire Service of  
EMERCOM of Russia

## Modeling of Probabilities of Emergency Operation in Power Supply Networks of Vehicles

*The mathematical model of dynamics of conditions of the power supply network of the vehicle is constructed. Probabilities of safe states and emergence of emergency processes are estimated. Times of the guaranteed finding of the power supply network in operating state and fire emergence are defined*

**Keywords:** vehicles, power supply network, fire

### Referetce

1. **Tarancev A. A.** Inzhenernye metody teorii massovogo obsluzhivaniya. Izd. 2-e, pererab. i dop. SPb.: Nauka, 2007.
2. **Ventcel' E. S.** Issledovanie operacij. M.: Sov.radio, 1972.
3. **Tarancev A. A.** Sluchajnye velichiny i rabota s nimi. Uchebnoe posobie / Pod red. prof. V. S. Artamonova. Izd. 2-e, pererab. i dop. SPb.: ID "Petropolis", 2011.
4. **Ventcel' E. S.** Teorija verojatnostej. Izd. 5-e, stereotipnoe. M.: Vysshaja shkola, 1998.
5. **Kamke Je.** Spravochnik po obyknovennym differencial'nym uravnenijam. Izd. 4-e, ispr. M.: Nauka, 1971.
6. **Tarancev A. A.** Ob ocenke nadjozhnosti jelektrosetej avtotransportnyh sredstv pri vznikovenii avarijnyh processov // Materialy Jubilejnoj mezhdunarodnoj NPK "Transport Rossii: problemy i perspektivy-2015". SPb.: FANO, IPT RAN, OAO "RZhD", SPbU GPS MChS Rossii, 2015. V. 2. P. 247—250.

## Информация

Международная академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), ассоциированный член Департамента общественной информации и Экономического и социального комитета Организации Объединенных Наций, Восточно-Сибирский научный центр МАНЭБ, Иркутский национальный исследовательский технический университет организуют Международную научно-техническую конференцию "Современное состояние и перспективы улучшения экологической обстановки и безопасности Байкальского региона — "Белые ночи—2016".

**Конференция состоится 7—9 июня 2016 г.**

**Предполагается работа по следующим секциям  
(общие и региональные вопросы):**

1. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда.
2. Охрана окружающей среды и экологическая безопасность.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
4. Промышленная безопасность.
5. Подготовка специалистов в области безопасности жизнедеятельности.

**Место проведения конференции:**

Иркутская область, пос. Листвянка, гостиница "Прибайкальская"  
Тел.: + 7(3952)792-800; e-mail: pribayk@yandex.ru  
Подробности на сайте МАНЭБ: [www.maneb.org](http://www.maneb.org)



УДК 327.57

Ю. Л. Ткаченко, канд. техн. наук, доц., e-mail: tkachenk@mail.ru, А. А. Соколова, студ., А. Д. Астраханцева, студ., А. Н. Алексанян, студ., Е. С. Вылегжанина, студ., А. Ф. Диденко, студ., М. Т. Меликова, студ., МГТУ им. Н. Э. Баумана

## Автономный модуль для обеспечения безопасности жизнедеятельности в Арктике

*Представлен разработанный авторами проект обитаемого модуля, предназначенного для обеспечения жизнедеятельности людей при освоении Арктики. Показано, что использование принципа замкнутости круговоротов вещества и автономное энергоснабжение поддерживают длительное проживание людей в суровых климатических условиях и обеспечивают безопасность при чрезвычайных ситуациях, вызванных авариями на транспорте и на объектах инфраструктуры.*

**Ключевые слова:** Арктика, экстремальная жизнедеятельность, жилая среда, безопасность в чрезвычайных ситуациях

### 1. Россия в Арктике

Одним из официально заявленных приоритетов развития России в XXI веке является освоение арктической зоны. В 2008 г. приняты Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу [1]. Документ призван обеспечить соблюдение национальных интересов нашей страны, в первую очередь — экономических и оборонных.

России принадлежит большая часть энергоресурсов Арктики. Согласно данным работы [2], в российском секторе находятся 43 крупных месторождения нефти и газа из 61 открытых на всей арктической территории. Общие запасы энергоносителей в российской Арктике оцениваются в  $3,26 \cdot 10^{16}$  м<sup>3</sup> газа и  $8,9 \cdot 10^{10}$  т нефти, что составляет 25 % оценочного количества всех неосвоенных запасов углеводородов в мире [2].

С военной точки зрения, Арктика — самый дальний и сложный форпост обороны рубежей России со своими специфическими климатическими и ресурсными особенностями.

### 2. Арктические условия жизнедеятельности человека

В Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике отмечаются следующие сложности освоения этих территорий:

— экстремальные природно-климатические условия, включающие сильные морозы и длительный снежный покров;

— удаленность от основных промышленных центров, высокая ресурсоемкость и зависимость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от поставок топлива, продовольствия и товаров первой необходимости из других регионов России;

— низкая устойчивость экологических систем, определяющих биологическое равновесие и климат Земли, и их зависимость даже от незначительных антропогенных воздействий.

В полной мере эти условия проявляются при организации жизнедеятельности людей на островах архипелагов, принадлежащих России: Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля и Новосибирские острова. Все они являются полярными или арктическими пустынями, которым свойственны отрицательные среднегодовые температуры воздуха, сильные колебания зимних и летних температур, крайне высокая скорость ветра, мощный ледовый покров, вечная мерзлота грунта, большое количество осадков в виде снега. Климатические условия указанных территорий представлены в табл. 1.

Исходя из этих данных очевидно, что при освоении Арктики весьма актуальна задача разработки новых способов и технических средств обеспечения безопасного и комфортного проживания людей в экстремальных условиях.

### 3. Цели создания жилого модуля

Предлагается разработка жилого модуля, позволяющего обеспечить жизнедеятельность людей на основе собственного энергообеспечения и



Климатические условия на российских арктических островах [3]

Архипелаг	Температура воздуха, °С			Скорость ветра, м/с		Максимальное количество осадков, мм/год
	Средне-годовая	Зимняя, макс.	Летняя, макс.	Средняя в зимний период	Максимальная	
Земля Франца-Иосифа	-12	-52	+1,6	7	40	550
Новая Земля	-7	-40	+6,5	7	50	330
Северная Земля	-14	-47	+6,2	7	40	500
Новосибирские острова	-7	-31	+3,0	5	40	132

замкнутости внутренних материальных потоков. Жилой модуль с автономным энергоснабжением, в котором организованы круговороты вещества, обеспечит:

— безопасное и комфортное проживание людей в благоприятной среде, что позволит сохранить здоровье, трудоспособность и нормальное психическое состояние работников и военнослужащих в Арктике;

— длительное автономное существование жилой среды, что гарантирует выживание людей при прекращении поставок с "большой земли" в случае аварийных ситуаций на транспорте и объектах ресурсоснабжающей инфраструктуры;

— сокращение объемов поставок ресурсов, предназначенных для поддержания функционирования среды обитания, что снизит затраты на закупку и транспортировку продовольствия и энергоресурсов для обеспечения жизнедеятельности людей;

— нулевой уровень эмиссии загрязняющих веществ и антропогенного воздействия на окружающую природную среду, что позволит сберечь уникальные экологические системы Арктики и минимизировать воздействие на глобальный климат и биосферу планеты в целом.

#### 4. Концепция проекта жилого модуля

Замкнутость потоков вещества в искусственной среде обитания можно обеспечить за счет воспроизведения функций продуцентов, консументов и редуцентов, наподобие того, как это происходит в природных экосистемах. В настоящее время уже разработаны искусственные экологические системы (ИЭС), замкнутые по газообмену, водообороту и питанию, которые требуют только поступления энергии извне.

Создание ИЭС началось еще в 1964 г. в Институте Биофизики Сибирского Отделения (ИБФ СО) АН СССР (теперь — РАН), расположенном в Красноярске. В 1972 г. были развернуты работы на установке "Биос-3", включавшие проведение экспериментов по полной изоляции людей от

внешней среды. Опыты доказали возможность получения необходимого человеку питания, кислорода и пресной воды от биологических видов, находящихся внутри жилого комплекса [4].

На основе разработок ИБФ СО РАН и других научных организаций можно сформулировать основные принципы создания замкнутых ИЭС.

1. Замкнутость по газообмену обеспечивается наличием в ИЭС культиваторов микроводорослей и фототрофного звена, включающего в себя высшие растения, а также компостированием органических отходов.

2. Замкнутость по питанию обеспечивается путем постоянного воспроизводства в фототрофном звене ИЭС растительной пищи с добавками животных белков в виде консервированной пищи, так как использование чисто вегетарианского питания длительное время невозможно, потому что соотношение аминокислот в растительных белках не совпадает с соотношением, необходимым для организма человека.

3. Замкнутость по водообороту обеспечивается наличием биологической анаэробной системы очистки воды от органических загрязнений.

На основе изложенных принципов, с учетом анализа новейших достижений в области создания ИЭС, была составлена схема замкнутого круговорота вещества внутри разрабатываемого модуля (рис. 1).

Человек в представленной схеме является замыкающим звеном всех физико-химических процессов. Параметры биосинтеза, энерго- и массообмена заранее рассчитаны, исходя из необходимых потребностей и процессов жизнедеятельности обитателей модуля.

Схема содержит фототрофное звено, реализованное в виде фитотрона для выращивания злаковых, овощных и масличных культур. Фитотрон работает в непрерывном режиме, т. е. является люминостатом, позволяющим выращивать растения при круглосуточном освещении. Так как растения все время находятся на стадии фотосинтеза, фитотрон постоянно выделяет необходимый человеку кислород и утилизирует выдыхаемый

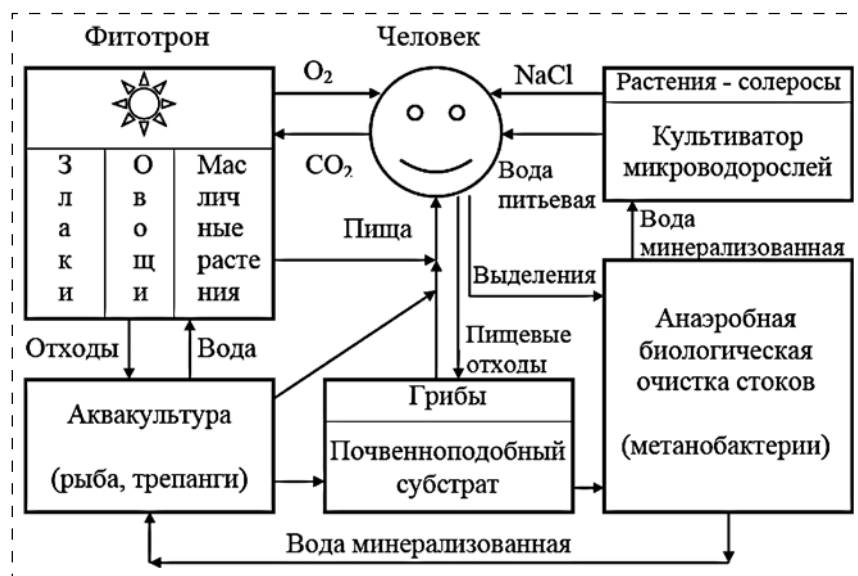


Рис. 1. Схема потоков вещества в автономном жилом модуле

углекислый газ. Продукция фитотрона идет в пищу человеку, а образующиеся пищевые отходы используются для разведения аквакультуры. И наоборот — отходы жизнедеятельности аквакультуры, например рыб, используются при создании питательной среды для растений.

Несъедобные части растений и ил, образующийся при выращивании аквакультуры, используются для формирования почвенноподобного субстрата (ППС) в установке компостирования. В работе [5] показано, что введение ППС необходимо для устойчивой работы всей системы регенерации газового состава атмосферы ИЭС. Также ППС пригоден для выращивания грибов, которые могут разнообразить рацион питания обитателей модуля.

Выделения человека и отработанный ППС поступают в систему очистки стоков для утилизации органических соединений. Жидкие стоки подаются в биореактор — метантенк, где без доступа света и воздуха происходит их обработка анаэробными микроорганизмами. В первой, кислой фазе брожения из сложных органических веществ — белков, углеводов и жиров, с участием воды образуются органические кислоты, спирты, глицерин, углекислый газ, водород, сероводород, аммиак и пр. Разложение производят обычные сапрофитные бактерии, широко распространенные в природе. Они быстро размножаются и проявляют свою жизнедеятельность при рН среды от 4,5 до 7.

Во второй, щелочной фазе брожения, специальные метанобактерии обеспечивают окончательный распад органических веществ. При этом

выделяется газ, состоящий из метана, водорода, углекислого газа, азота и остаточных примесей сероводорода. Полученный биогаз подвергается очистке от сероводорода в адсорбционных установках и поступает в резервуар-газгольдер (на рис. 1 не показаны). В дальнейшем, этот газ может использоваться в качестве топлива для резервной энергоустановки.

Очищенная вода, содержащая большое количество растворенных солей (нитратов, фосфатов, хлоридов), используется для питания растений фототрофного звена и для хозяйственно-бытовых целей. Часть минерализованной воды в объемах, необходимых человеку для питья, поступает на опреснение в культиватор

одноклеточных зеленых микроводорослей, например хлореллы.

Микроводоросли очищают воду от нитратов и фосфатов, а съедобные солеросы, культивируемые в этом водном растворе, извлекают хлорид натрия и возвращают его в пищевую цепочку человека. Культиватор также является поглотителем углекислого газа из воздуха и источником кислорода, имитируя тем самым работу Мирового Океана по поддержанию постоянства химического состава атмосферы Земли. Воспроизведение этой функции происходит достаточно эффективно, так как за сутки хлорелла выделяет кислорода в 100 раз больше своего собственного объема. Отмершие микроводоросли пополняют ППС.

## 5. Проектные характеристики жилого модуля

Силами творческого коллектива студентов МГТУ им. Н. Э. Баумана, обучающихся по направлению "Техносферная безопасность", был разработан проект автономного купольного жилого модуля, способного в течение 1 года и более обеспечить безопасную жизнедеятельность 20 человек, находящихся в экстремальных условиях Арктики.

Модуль имеет автономное энергообеспечение от ветрогенератора типа "крыло" (рис. 2 — см. 2-ю стр. обложки). Общая установочная мощность системы энергообеспечения должна составлять не менее 200 кВт. При отключении ветрогенератора, для бесперебойного электроснабжения в течение 7 суток, модуль должен иметь 48 568 шт. аккумуляторов типа СЦ-250Д-1, образующих батарею



общей емкостью не менее 746 667 А·час. Для освещения фитотрона и создания внутренней световой среды модуля используются 900 светодиодных матриц мощностью 200 Вт каждая.

Внутреннее оборудование модуля обеспечивает замкнутость среды обитания по дыханию, питанию людей и водообороту, т. е. представляет собой искусственную экосистему. В модуле размещается фитотрон с постоянным освещением выращиваемых растений (люминостат) для обеспечения людей кислородом и растительным питанием, бак для разведения пищевой аквакультуры, установка компостирования органических растительных отходов с возможностью выращивания грибов, система биологической утилизации отходов жизнедеятельности человека и культиваторы хлореллы для производства  $O_2$  и деминерализации воды.

Общая калорийность питания составляет: 2500 ккал в сутки на человека, из которых 1764,84 ккал приходится на растительный рацион, остальное восполняется за счет консервированного мяса, выращенной рыбы и грибов. Ежедневную растительную диету 1 человека составляют культуры, не требующие "ночного отдыха" и поэтому непрерывно осуществляющие фотосинтез: пшеница яровая селекционной линии 232 (400 г), зеленый лук (15 г), салат листовой "Мизуна" (100 г), томаты "Минибел" (100 г), перец красный сладкий "Конфетка" (37 г), масличное растение чуфа (земляной миндаль) (60 г). Выращивание растений производится по методу разновозрастного спирального конвейера самосдвигающихся посадок.

Расчет пищевой ценности ежедневного рациона показал, что, с учетом добавок продуктов животного происхождения, соотношение белков, жиров и углеводов составляет 1,3/1/3,7. Также растительное питание обеспечивает каждого человека аскорбиновой кислотой (витамином С) в количестве 243,7 мг в день.

Модуль представляет собой полусферическую купольную конструкцию радиусом 6,87 м. Форма купола: структура Фуллера в виде сетки треугольных элементов, наложенной на сферическую поверхность (рис. 3 — см. 2-ю стр. обложки).

Проектирование купола произведено с помощью программы, представленной на сайте [7].

Площадь основания модуля — 145,85 м<sup>2</sup>. Площадь наружного покрытия купола: 290,95 м<sup>2</sup>. Материал балок конструкции купола — хладостойкая низкоуглеродистая легированная сталь 09Г2С. Эта сталь имеет рабочий диапазон температур от -70 °С до +425 °С и выдерживает давление среды до 16 МПа. Форма балок: труба с наружным диаметром 16 мм и толщиной стенок 2,5 мм. Балки соединяются друг с другом в узлах конструкции с помощью специально разработанных коннекторов.

Материал покрытия купола — вспененный полиэтилен марки "Пенолон" толщиной 56 мм. Характеристики материала из пенолона марки ППЭ-Р следующие: плотность 33 кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность 0,036 Вт/(м·°С); рабочий диапазон температур от -60 °С до +120 °С; срок службы 25 лет [8].

В центральной части модуля вертикально размещается цилиндрический фитотрон высотой 5,5 м и радиусом основания 3,24 м. Высота купола позволяет дополнительно разместить под фитотроном цилиндрический бак для разведения аквакультуры, имеющий такой же радиус и высоту 0,55 м. Внутреннее пространство модуля разделяется по высоте на два уровня. Верхний уровень используется для сна и отдыха людей. Нижний — для работы, сбора растительной биомассы, приготовления и приема пищи.

Общее теплоступление от людей и оборудования в модуле составляет 13 791,58 Вт. Благодаря теплоизоляции облицовки, внутри модуля обеспечивается температура в пределах +18 ...+25 °С. Расчетная температура воздуха внутри модуля при различных значениях наружной температуры приведена в табл. 2.

Соответственно, при снижении температуры внутри модуля ниже +18 °С должно быть использовано отопление, позволяющее компенсировать теплопотери через облицовку купола, а при повышении температуры внутри модуля свыше +25 °С должна осуществляться вентиляция подкупольного пространства, отводящая избыточную теплоту во внешнюю среду.

Необходимо отметить, что в диапазоне температур наружного воздуха от -24 °С и ниже модуль

Таблица 2

Расчетная температура воздуха в модуле

Температура наружного воздуха $t_H$ , °С	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31
Температура воздуха внутри модуля $t_B$ , °С	+25	+24	+23	+22	+21	+20	+19	+18

работает по принципу полной замкнутости, т. е. регенерация химического состава подкупольного воздуха осуществляется за счет жизнедеятельности растений фототрофного звена и хлореллы в культиваторах.

Для сохранения мобильности модуля не предполагается строительство стационарного фундамента. Необходима лишь теплоизоляция основания, чтобы выделяющаяся теплота не приводила к таянию вечной мерзлоты грунта. Купол собирается на монтажной площадке и закрепляется винтовыми сваями, вкручиваемыми в грунт по периметру основания. Свая представляет собой полую трубу с резами в головной части и винтовой резьбой с наружной стороны, идущей по всей длине трубы. Трубы можно извлекать из грунта при необходимости демонтажа модуля для перемещения его к новому месту установки. При размещении на местности купол модуля может соединяться переходными тамбурами с другими жилыми, техническими и складскими модулями.

## 6. Возможности применения жилого модуля

В результате проведенной работы был спроектирован жилой модуль, отличительной особенностью которого является то, что он отражает природные принципы построения среды обитания — замкнутость потоков вещества и синтетрофность. Синтетрофность означает, что пища (хотя бы ее значительная часть) для обитателей модуля производится за счет работы самой жилой среды, т. е. так, как это происходит в естественных экосистемах применительно к другим биологическим видам. Благодаря синтетрофности, питание людей в модуле составляют не только консервированные продукты, но и ежедневно созревающие свежие овощи, пшеница и масличная культура.

Перспективы применения автономного жилого модуля не ограничиваются исключительно Арктикой. При соответствующих географических особенностям территории вариациях источника энергообеспечения и купольного сооружения модуль может использоваться повсеместно в качестве временного или постоянного укрытия людей, оказавшихся в зоне чрезвычайной ситуации природного, техногенного и экологического характера или вынужденно пребывающих в экстремальных условиях жизнедеятельности.

Модуль может применяться на загрязненных и зараженных территориях, в регионах с нулевым природно-экологическим потенциалом, а также при выполнении опасных и вредных работ. Создание жилой среды, построенной по принципу

замкнутости потоков вещества, позволит устранить влияние неблагоприятных факторов, присутствующих в какой-либо местности:

— на территориях радиационного загрязнения снизит поступление радионуклидов и дозу хронического внутреннего облучения населения;

— в условиях химического или бактериологического загрязнения и в зонах техногенных и природных чрезвычайных ситуаций обеспечит безопасность и качество воздушной, водной и почвенной среды внутри замкнутого экоселения;

— на территориях с нулевым природно-экологическим потенциалом (ледовые, скальные, песчаные и беллигеративные ландшафты, зоны экологических чрезвычайных ситуаций) создаст воспроизводство биомассы для обеспечения населения продуктами питания, а также возобновит самоочищение воздушной, водной и почвенной среды внутри экоселения;

— при выполнении подземных и горных работ создаст безопасную, комфортную и психологически благоприятную для человека окружающую среду.

## Список литературы

1. **Основы** государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу / Утверждена Президентом Российской Федерации Д. А. Медведевым 18 сентября 2008 г. (Пр-1969).
2. **Коньшев В. Н., Сергунин А. А.** Национальные интересы России в Арктике: мифы и реальность // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2011. — № 29. — С. 2—11.
3. **СП 20.13330.2011** Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85\*. Приложение Ж. (Рекомендуемое) Карты районирования территории Российской Федерации по климатическим характеристикам.
4. **Дегерменджи А. Г., Тихомиров А. А.** Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения // Вестник РАН. — 2014. — Том 84. — № 3. — С. 233—240.
5. **Керженцев А. С.** Бесконфликтный переход биосферы в ноосферу — разумный выход из экологического кризиса // Вестник РАН. — 2008. — Том 78. — № 6. — С. 513—520.
6. **Сайт "Знания об Энергии"** Фонда ALCEN "От технологий к инновациям". URL: <http://www.connaissancedesenergies.org/une-eolienne-prend-son-envol> (дата обращения: 26.01.2016).
7. **Сайт "Калькулятор для проектирования купольных конструкций"**. URL: <http://acidome.ru/lab/calc> (дата обращения: 26.01.2016).
8. **Сайт компании "Русфом"**, производителя материала "Пенолон". URL: <http://www.penolon.ru/mat-ppr-r-3050> (дата обращения: 26.01.2016).



**Y. L. Tkachenko**, Associate Professor, e-mail: tkachenk@mail.ru, **A. A. Sokolova**, Student, **A. D. Astrakhanceva**, Student, **A. N. Aleksanyan**, Student, **E. S. Vylegzhanina**, Student, **A. F. Didenko**, Student, **M. T. Melikova**, Student, Bauman State Technical University, Moscow

## The Independent Module for Maintenance of Safe Abilities to Live in Arctic Regions

*The project of the inhabited module intended for maintenance of ability to live of people at development of Arctic regions is presented. Use of a principle of isolation of circulations of substance and independent power supply support long residing of people at severe environmental conditions and provide safety at the emergency situations caused by failures on transport and on objects of an infrastructure.*

**Keywords:** Arctic regions, extreme ability to live, the inhabited environment, safety at the emergency situations

### References

1. **Osnovy** gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federatsii v Arktike na period do 2020 goda i dalnejshuyu perspektivu /Utverzhdena Prezidentom Rossijskoj Federatsii D. A. Medvedevym 18 sentyabrya 2008. (Pr-1969).
2. **Konyshov V. N., Sergunin A. A.** Natsionalnye interesy Rossii v Arktike: mify i realnost. *Natsionalnye interesy: priority i bezopasnost.* 2001. No. 29. P. 2—11.
3. **SP 20.13330.2011** Svod pravil. Nagruzki i vozdejstviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 2.01.07-85\*. Prilozhenie Zh. (Rekomenduемое) Karty rajonirovaniya territorii Rossijskoj Federatsii po klimaticheskim kharakteristikam.
4. **Degermendzhi A. G., Tikhomirov A. A.** Sozdanie iskusstvennykh zamknutykh ekosistem zemnogo i kosmicheskogo naznacheniya. *Vestnik RAN.* 2014. Tom 84. No. 3. P. 233—240.
5. **Kerzhentsev A. S.** Beskonfliktnyj perekhod biosfery v noosferu — razumnyj vykhod iz ekologicheskogo krizisa. *Vestnik RAN.* 2008. Tom 78. No. 6. P. 513—520.
6. **Sajt** "Znaniya ob Energii" fonda ALCEN "Ot tekhnologij k innovatsiyam". URL: <http://www.connaissancedesenergies.org/une-eolienne-prend-son-envol> (data accessed: 27.01.2016).
7. **Sajt** "Kalkulyator dlya proektirovaniya kupolnykh konstruksij". URL: <http://acidome.ru/lab/calc> (data accessed: 27.01.2016).
8. **Sajt** kompanii "Rusfom", proizvoditelya materiala "Penolon". URL: <http://www.penolon.ru/mat-ppe-r-3050> (data accessed: 27.01.2016).

УДК 574(0.75.8);5(0.75)

**И. С. Тилегенов**, д-р техн. наук, проф., e-mail: tis-kz@mail.ru, Таразский государственный университет им. М. Х. Дулати, Республика Казахстан, Тараз, **Т. О. Сейдалиев**, канд. техн. наук, ст. преп., Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, Алматы

## Концептуальные проблемы экологической безопасности в Республике Казахстан

*Дан анализ кризисной экологической ситуации, сложившейся в настоящее время в Казахстане. Диагноз, поставленный ведущими учеными, крайне тревожен: угроза радиационной обстановки, глобальное потепление климата, ускорение опустыивания земель, угроза интенсивной экосистемной деградации, ухудшение состояния окружающей среды, за которым находится прямая опасность физическому и генетическому здоровью населения. В рамках реализации Концепции экологической безопасности на 2004—2015 годы разработаны стратегические документы развития государства, создана основа природоохранного законодательства, подписан ряд международных конвенций по вопросам охраны окружающей среды. Создана система управления природоохранной деятельностью.*

**Ключевые слова:** разрушительное воздействие, радиационная обстановка, испытательный полигон, материковая платформа, глобальное потепление, экосистемная деградация, невозобновляемые ресурсы, геосистема

Бурное развитие хозяйственной деятельности людей в последние 70 лет привело к интенсивному, часто разрушительному воздействию на окружающую среду. Влияние человека на природу происходит как путем преобразования сложившихся в течение тысячелетий естественных систем, так и в результате загрязнения почв, вод, воздуха. Это привело к резкому ухудшению состояния природы и к необратимым процессам.

Уровень использования природных ресурсов и степень защиты окружающей природной среды является главной проблемой XXI столетия.

В результате человеческой деятельности оказывается воздействие на различные параметры и свойства природной среды, масштабы которого достигли таких размеров, что под угрозу поставлена жизнь на планете [1, 2].

Экологическая безопасность является одним из основных стратегических компонентов национальной безопасности Республики Казахстан и важнейшим аспектом государственных приоритетов. Многие отечественные и зарубежные исследователи считают, что загрязнение окружающей среды стало серьезной преградой на пути социально-экономического развития Казахстана. Изменение качества окружающей среды напрямую связано с развитием "грязных" технологий и экстенсивного сельского хозяйства. На территории республики насчитывается около 2,5 тыс. предприятий, относящихся к 1–2-му самым высоким классам опасности среди пяти существующих классов [3].

В республике сложилась очень напряженная радиационная обстановка, что приводит к росту числа заболеваний и смертности от онкологических заболеваний, нарушениям иммунной системы и генетического статуса населения. Угрозу радиационной обстановки в государстве представляет наличие большого количества отработанных радиоактивных источников, не прошедших нейтронизации и консервации и способных создать серьезные аварийные ситуации. Республика унаследовала приблизительно 40 предприятий оборонной промышленности Советского Союза. Казахстан был активно вовлечен в производство ядерного оружия во времена СССР. Кроме Семипалатинского испытательного полигона, существуют менее известные, ныне действующие: "Азгир", "Меридиан", "Батолиты", "Лири", "Галит", "Сай-Утес". На площадке "Лири" на глубинах 700...900 м было создано шесть полостей объемом 45...66 тыс. м<sup>3</sup>, предназначенных для хранения конденсата Карачаганакского месторождения. На площадке "Галит" для аналогичных целей было проведено 17 взрывов в массивах каменной соли. Три ядерных испытания прошли на полигоне "Сай-Утес". Еще шесть взрывов для изучения геологического строения земной коры

проведено по программам "Меридиан", "Регион", "Батолит". Кроме того, действующие предприятия по разведке, добыче и переработке урановой руды расположились практически по всей территории республики в Западном, Центральном и Южном Казахстане [4]. Согласно данным экспедиции геологов, проводивших исследования в рамках республиканской научно-технической программы "Экология", в Казахстане находится около 8 млн т насыщенных радионуклидами отходов высокой степени опасности и 225 млн т — средней степени опасности. Общая масса этих опасных для человека и окружающей среды веществ равна 233 млн т.

Кроме возможных антропогенных катастроф, Казахстану угрожают серьезные стихийные природные бедствия, обусловленные его географическим положением, климатическими особенностями и спецификой строения материковой платформы. В первую очередь речь идет о длительных засухах, снежных и пыльных бурях (в основном характерных для центральной и северо-восточной частей Казахстана), а также наводнениях и землетрясениях (Семиречье, южные регионы). Следует принять во внимание и появление угрожающих факторов глобального масштаба, которые могут спровоцировать серьезные природные катаклизмы на территории Казахстана. Это проблема глобального потепления климата, которая, по прогнозам, вызовет такие серьезные природные катаклизмы, как таяние снегов, повышение уровня воды в океане, ускорение опустынивания земель, длительные засухи. В этом случае южные многонаселенные предгорные регионы Казахстана будут находиться под угрозой мощных селевых потоков, а центру страны, традиционно находящемуся в засушливой зоне, грозит долгая засуха.

Такое вероятностное развитие ситуации наглядно демонстрирует тесную взаимосвязь между национальной безопасностью Казахстана и степенью уязвимости международной безопасности. Особенностью Казахстана является то, что наряду с угрозой глобальных экологических катастроф республике угрожает интенсивная экосистемная деградация. Согласно мировому экологическому рейтингу Казахстан отнесен к зонам экологического бедствия, где ухудшение состояния окружающей среды достигло своего критического предела, за которым находится прямая опасность физическому и генетическому здоровью населения, видовому составу флоры и фауны, истощения невозобновляемых природных ресурсов [5, 6].

Нефтегазовый комплекс играет важнейшую роль в развитии экономики, обладает запасами углеводородного сырья и соответственно является одним из главных источников, оказывающих большое влияние на компоненты природной геосистемы. Разведка, разбуривание нефтегазовых и газоконденсатных месторождений и их



промышленная эксплуатация являются экологически опасными видами работ и сопровождаются воздействием на все компоненты окружающей природной среды, которые могут быть разделены на технологически обусловленные и не обусловленные. Первые возникают при производстве работ, протекании технологических процессов и формировании техногенных потоков веществ. Из недр республики извлекается ежегодно свыше 360 млн т минерального сырья, а в перспективе эти цифры значительно возрастут. Из них не более 2 % переводится в конечный продукт, остальные 98 % возвращаются природе в виде отходов. Уже сейчас в республике накоплено свыше 16 млрд т отходов и ежегодный их прирост составляет около 1 млрд т [7, 8].

Живой и растительный мир находится в депрессирующем состоянии вследствие бессистемной и научно необоснованной эксплуатации. В результате изменяющейся экологической ситуации происходит исчезновение ряда ценных видов животных и растений, а в отдельных случаях происходит их замещение вредными или менее ценными видами. Например, если в Красной книге республики в 1980 г. числилось 87 видов, то в настоящее время под охрану взято уже более 126 видов различных животных. В 2015 г. в степях Кустанайской области Республики Казахстан был случай массового падежа 150 000 сайгаков в течение недели, это уже глобальная проблема.

Одной из наиболее актуальных экологических проблем на данном этапе является состояние водных ресурсов Республики Казахстан. Наличие и состояние водных ресурсов является жизненно важным фактором, имеющим определяющее влияние на экономическое развитие страны. В то же время общее состояние и качество водных ресурсов в Республике Казахстан значительно ухудшаются, и их интенсивное загрязнение может оказать разрушительное воздействие на окружающую среду. Под влиянием хозяйственной деятельности существенно изменился гидрохимический, гидробиологический санитарный режим практически всех рек в Казахстане. Если принять во внимание тот факт, что Казахстан имеет низкую обеспеченность ресурсами пресной воды, то это повод для серьезных опасений. Пристальное внимание в настоящее время необходимо сосредоточить на состоянии ресурсов главных водных артерий Казахстана — рек Сырдарья, Иртыша и Или, проблеме Аральского и Каспийского морей, озер Балхаш, Зайсан [9].

Самыми важными экологическими проблемами в этой области являются загрязнение поверхностных вод и низкий уровень воды в дельтах трансграничных рек страны и соседних с ней Кыргызстана, Узбекистана и Китая. Например,

основными источниками загрязнения реки Чу являются сбросы сточных вод промышленными предприятиями Кыргызской Республики, наиболее существенным из которых является сброс сточных вод горводоканалом города Бишкек. Интенсивное загрязнение реки Талас происходит за счет промышленных предприятий Жамбылской области. Сброс сточных дренажных вод Жамбылской ГРЭС и Жамбылского спирто-водочного комбината в реку Талас значительно вырос за счет увеличения объемов производства. Уменьшение уровня рек Талас и Чу связано, во-первых, с изъятием вод из основных русел местным населением для сельскохозяйственной деятельности и, во-вторых, с климатическими условиями данного региона. Процесс обмеления реки Талас привел к серьезной экологической проблеме — это увеличение концентрации соли в питьевой воде в населенных пунктах, расположенных вдоль реки (Сарыбулак, Шахан, Бостандык Аккум, Саду Шакиров, Амангельды Жанатурмыс, Ойык, Ушарал) [9, 10].

Острой экологической проблемой Республики Казахстан и Республики Узбекистан является перманентное увеличение водозабора реки Сырдарья со стороны Узбекистана. Сокращение водозабора со стороны Узбекистана позволит решить ряд социально-экономических и экологических проблем, таких как увеличение животного и растительного мира, сокращение числа заболеваемости населения, связанной с органами дыхания, увеличение притока воды в Аральское море. Другим немаловажным фактором, влияющим на деградацию дельт реки Сырдарья, является процесс ее загрязнения. Основными загрязняющими веществами реки Сырдарья являются сульфаты, медь, нитриты, нефтепродукты. Максимальные концентрации сульфатов отмечены на уровне 8 ПДК, нитритов — на уровне 3 ПДК, нефтепродуктов и меди — на уровне 4 ПДК.

Со стороны Китая по территории Казахстана протекают 23 трансграничные реки. В настоящее время основным проблемным моментом двусторонних казахстанско-китайских отношений в плане совместного использования водных ресурсов является вопрос увеличения водозабора из трансграничных рек Или и Иртыш на территории Китая. Расширение использования водных ресурсов рек Или и Иртыш на территории Китая способно повлечь за собой ряд негативных последствий для Казахстана как социально-экономического, так и экологического характера, среди которых можно выделить следующие: нарушение естественного водного баланса и природного равновесия в зоне озер Зайсан и Балхаш; деградация климата; нанесение ущерба рыбному хозяйству; снижение урожайности сельскохозяйственных культур, деградация пастбищ.



Проблема Каспия многогранна и содержит в себе немало угроз различным секторам национальной безопасности Казахстана, в том числе и экологической безопасности. В настоящее время в казахстанской части Прикаспия образовался ряд сложных взаимосвязанных экологических проблем. В последние годы наметилась устойчивая тенденция сокращения земельных площадей и пастбищ Прикаспия, пригодных для сельскохозяйственной деятельности. Этот процесс происходит под воздействием деградации, опустынивания, перенасыщенности различными химикатами и вторичного засоления более чем 50 % всех прикаспийских орошаемых земель [11—14].

В результате техногенной деятельности возрастает угроза деградации и даже полного уничтожения каспийской биосистемы. Так, начиная с 1990 г., с территорий прикаспийских государств в Каспий было выброшено 4,5 т вредных биогеенов, 28 т плавающих тел, 27 т сульфатов, 3,15 т хлоридов. Доля Казахстана в загрязнении водных ресурсов Каспийского моря составляет 21 % общего объема загрязнения.

Представленный достаточно широкий спектр угроз экологической безопасности обуславливает необходимость жесткого включения в единый механизм национальной, региональной и в перспективе глобальной системы мероприятий, нацеленной на своевременное выявление, предупреждение и пресечение угроз окружающей среде. Достигнутому на данном этапе прогрессу в улучшении экологической политики противостоят существующие тенденции в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Постоянно увеличивается объем используемых природных ресурсов, все больше производится загрязняющих веществ. В этом проявляется противоречивость современной модели развития общества — необходимость промышленно-хозяйственного развития зачастую входит в противоречие с требованиями экологии, условия политической, экономической и социальной безопасности страны не всегда соответствуют условиям экологической безопасности. Как показала мировая история, нерешенность экологических проблем и низкий уровень обеспечения собственной экологической безопасности являлись причиной серьезных политических, социальных и вооруженных конфликтов. На данный момент потенциальные очаги напряженности существуют между Казахстаном, Узбекистаном и Кыргызстаном по поводу ограниченности водных ресурсов. Кроме этого, вызывает опасения и Каспийский регион, где техногенная экологическая катастрофа по вине любого из пяти каспийских государств может вызвать серьезный межгосударственный конфликт [9—12].

Объемы выбросов вредных веществ в окружающую среду сравнимы с их поступлением

в результате естественных процессов. Они настолько значительны, что приобретают глобальный характер. По объему выбросов химических веществ в атмосферу первое место занимает долгоживущий газ диоксид углерода, который способен накапливаться в атмосфере. Его вклад в парниковый эффект по разным данным составляет 6000 млн т/год (50...60 %). Более агрессивен на местах образования оксид углерода, который быстро переходит в диоксид углерода  $\text{CO}_2$  [15—17]. Диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), называемый мировым загрязнителем № 1, обладает высокой химической активностью со значительной устойчивостью при существенных объемах выбросов (150...200 млн т/год). Сернистый газ вреден для растений. Они поражаются в результате сухого осаждения газа на их поверхность как кислыми осадками. В атмосферу поступает также сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ) — весьма токсичный бесцветный газ, являющийся продуктом взрыва, как и все вышеназванные токсичные газы.

Из других веществ, загрязнителей окружающей природной среды, отрицательную роль играют оксиды азота, углеводороды, бензопирен, акролеин, формальдегид и другие, которые действуют через изменение теплового баланса. Все токсичные и вредные газы, образовавшиеся в результате ведения взрывных работ и сжигания теплоэнергетических материалов, обуславливают глобальные процессы: изменение климата, разрушение озонового экрана, выпадение кислых осадков и др. Современное экологическое состояние территорий Республики Казахстан характеризуется как крайне напряженное, а местами катастрофическое.

Ниже приведен химический состав пыли, выбрасываемой в воздушный бассейн региона и на ближайшие сельскохозяйственные угодья:  $\text{SiO}_2$  — 8,22 %;  $\text{CaF}_2$  — 2,6 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 0,85 %;  $\text{Ca}_2\text{O}$  — 30,8 %;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 23,7 %;  $\text{Mg}_2\text{O}$  — 4,55 %;  $\text{H}_2\text{O}$  — 3,9 %; Так, среднесуточные концентрации пыли в воздухе в отдельных точках Таласского района превышают ПДК более чем в 5 раз. Особенно высоки значения ПДК в неблагоприятные по ветру дни. В воздушном бассейне Таласского района, кроме пыли, наблюдаются пылевидные частицы солевого выноса. В атмосферный воздух только от половины действующих предприятий района выбрасывается 140 т вредных веществ в год, из них 66 т приходится на окись углерода и 21 т на ангидрид. Среднесуточные значения пыли в г. Каратау составляют 2...6 ПДК, формальдегида — 1,7...5,7 ПДК, сернистого газа — 1,8 ПДК, аммиака — 6,5 ПДК. Естественно, все эти загрязнители атмосферного воздуха не остаются на месте, а распространяются на весь прилегающий воздушный бассейн. В воздушном бассейне г. Каратау и прилегающих к нему районов имеются, кроме перечисленных газов, оксид углерода,



оксиды азота, летучие органические соединения [15—17].

Создание на юге Казахстана в городах Жанатас, Каратау, Акбакай, Кен-тау, Шалкия, Шымкент, Тараз крупных комплексов горнодобывающей и химической промышленности на базе фосфоритов Каратауского месторождения и полиметаллических руд Южно-Казахстанской и Жамбылской областей привело к интенсификации горного производства, следовательно, и к увеличению валового объема загрязняющих веществ в окружающей среде.

Несмотря на сокращение производства и остановку многих предприятий, связанных с добычей и переработкой фосфорных руд, уровень загрязнения окружающей природной среды остается высоким.

При добыче, переработке полезных ископаемых, при производстве того или иного химического соединения обращают внимание лишь на целевой продукт и забывают о так называемых отходах не менее ценных и важных. Тысячи химических соединений используются и выпускаются промышленностью. Многие из них, в особенности продукты неполного сгорания, попадают в биосферу, включаются в происходящие в ней процессы и возвращаются человеку, проникая через дыхательные пути, органы пищеварения и кожу, которые вызывают канцерогенные, мутагенные детородные, аллергенные и другие последствия, проявляющиеся порой через несколько лет и даже в следующих поколениях.

Основными источниками загрязнения окружающей природной среды Сарысуйского и Таласского районов вредными веществами являются технологические процессы в подземных рудниках "Аксай", "Молодежный", открытые горные работы в карьерах "Тьесай", "Чили-Булак" и других карьерах по добыче извести, доломита, мрамора, а также процессы обогащения руд, отвалы пород, хвостохранилище, склады рудной мелочи обогатительной фабрики на промплощадках ГПК "Каратау". Согласно статистическим данным за I полугодие 2003 г. выбросы неорганических веществ горно-обогатительными предприятиями ГПК "Каратау" составили 1598,6 т, а за I полугодие 2006 г. выбросы токсичных и вредных газов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  и др.) — 238,4 т. Массовыми загрязнителями при работе предприятий данного ГПК являются оксиды углерода, азота и серы, углеводороды, бенз(а)пирен, акролеин, формальдегид, соединения фтора и др. [15—17].

Запыленность на промплощадке Каратауского рудоуправления в отдельных случаях превышает  $30 \text{ мг/м}^3$ . Одним из источников загрязнения являлся Каратауский химический завод (КХЗ). Объем газа, выбрасываемого КХЗ, после очистки при температуре  $57^\circ\text{C}$  составлял  $11\,348 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Содержание примесей после очистки  $\text{C}_{\text{CO}_2} = 0,003\%$ ;  $\text{C}_{\text{N}_2} = 63,144\%$ ;  $\text{C}_{\text{H}_{20}} = 12,49\%$ ; прочие —  $3,92\%$ .

Загрязнение окружающей среды техногенными выбросами привели к опустыниванию и засолению почвы —  $16\%$  всех земель района. Земель с солонцовыми комплексами насчитывается  $17,6$  тыс. га ( $8,9\%$ ), подверженных эрозии —  $184,1$  тыс. га ( $14\%$ ), деградированных пастбищ и сенокосов  $435$  тыс. га ( $3,3\%$ ). В то же время в районе насчитывается  $10,6$  тыс. га заболоченных земель. Из  $965$  тыс. га пастбищных угодий на сенокосы приходится только  $22,3$  тыс. га ( $2,3\%$ ) и только  $102$  тыс. га ( $10,6\%$ ) территории с закрепленными песками. В настоящее время за ЗАО "Каратау" числится около  $370$  га нарушенных земель. Плодородные и почвенные слои, снимаемые с нарушенных земель, используются неудовлетворительно. На сегодняшний день накоплено  $550$  тыс.  $\text{м}^3$  плодородного слоя.

Урожайность естественных сенокосов снизилась с  $12...13$  до  $6...8$  центнеров с гектара. Вырубка многолетних растений в Песковой зоне в  $2002—2004$  гг. достигла  $250$  га в год, а защитное лесоразведение не осуществлялось. Только в последние годы начато защитное лесоразведение на площадях по  $200$  га в год.

Загрязнение и истощение природных ресурсов не только изменяют экологию, но и влияют на экономику района, ухудшают состояние здоровья населения. Выбросы в природную среду предприятий ГПК "Каратау" привели к массовому заболеванию сельскохозяйственных животных, загрязнению земель и растительности. По данным Республиканского научно-практического центра по гигиеническим проблемам окружающей среды, комитета здравоохранения Республики Казахстан, в г. Тараз и в прилегающих к промышленной зоне районах отмечается рост заболеваемости по  $22$  нозологическим формам. В структуре заболеваемости уровень заболеваний сердечно-сосудистой системы выше контрольного в  $4,5—12$  раз, онкологических заболеваний — от  $15$  до  $42$  раз; осложнений беременности до  $5,2$  раза; желчекаменных болезней до  $30$  раз; детской смертности до  $2$  раз [15—17].

По данным Медицинской санитарной части г. Каратау от  $7.05.2003$  г. наблюдается увеличение заболеваемости населения. Выросла младенческая смертность на  $18\%$ , отмечается рост стоматологических заболеваний кариесом, парадонтозом, рост численности заболевших вирусным гепатитом за четыре месяца этого года составил  $58,8\%$ . Временная утрата трудоспособности среди работников промышленной зоны выросла за I квартал  $2003—2004$  гг. на  $16\%$ . Заболеваемость органов сердечно-сосудистой системы увеличилась в  $2002$  г. по сравнению с  $1996$  г. в  $1,7$  раза, органов дыхания в  $22,8$  раза, онкологических заболеваний в  $1,6$  раза, органов пищеварения в  $5,7$  раза. Наблюдается значительный рост заболевания детей

болезнями органов дыхания в 19,5 раза, органов пищеварения в 150 раз [18]. Высокий рост заболеваний органов пищеварения говорит о том, что резко ухудшилось качество употребляемых продуктов, питьевой воды и санитарно-эпидемиологическая обстановка в регионе.

Из изложенных выше фактов следует, что экологические, экономические и социальные последствия с каждым годом становятся все ощутимей. Возникают проблемы в целенаправленном управлении охраной окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов с решением имеющихся эколого-экономических, социальных задач. Необходимо внедрять малоотходную технологию в производство и утилизацию выбросов, осуществлять рекультивацию обработанных участков карьеров, создание различных способов и средств предотвращения техногенных выбросов в природную среду.

Наиболее безопасными с позиции охраны окружающей среды являются безреагентные способы улавливания пыли и поглощения газов, исключая выброс использованных химреактивов в природную среду, которые основаны на применении органических веществ. Как показывает практика, они наиболее безвредны в использовании и требуют малых материальных затрат.

Решение задачи ресурсосбережения на горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях связано с широким вовлечением в использование продуктов выброса. Важность их утилизации заключается не только в том, что техногенные ресурсы являются источником получения вторичной продукции, но и в том, что за счет их утилизации возможно предотвратить, а в будущем и значительно уменьшить растущее загрязнение окружающей природной среды. Около 16 % всей площади земель исследованных районов из-за загрязнений техногенными выбросами подвержены опустыниванию, значительная часть территории засолена. Загрязнение промышленными выбросами атмосферного воздуха, водных источников, почвенного и растительного покрова привело к угрозе возникновения локальных и региональных экологических проблем, впоследствии переходящих в глобальные, о чем свидетельствует сопоставление данных, полученных на протяжении последних десятилетий [15—17].

С момента принятия Концепции экологической безопасности на 2004—2015 годы произошли серьезные перемены в общественном развитии страны. Разработаны стратегические документы развития государства, создана основа природоохранного законодательства, подписан ряд международных конвенций по вопросам охраны окружающей среды, создана система управления природоохранной деятельностью, предложены пути решения нереализованных ранее задач.

В частности, обеспечение опережающего развития научных исследований по важнейшим проблемам экологической безопасности и устойчивого природопользования, в том числе фундаментальных, введение единой системы мониторинга за состоянием окружающей среды, экологическое районирование и специальное картографирование территории республики [19].

Концепция реализована в три этапа. На первом этапе (2004—2007 гг.) принята и реализована программа охраны окружающей среды на 2005—2007 гг., разработаны законодательные акты, направленные на регулирование вопросов охраны окружающей среды, экологического страхования, отходов производства и потребления, опустынивания; внутренней миграции населения и хозяйственного использования экологического аудита, создана система мониторинга окружающей среды и природных ресурсов. Кроме того, реализованы программы развития государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС на 2004—2010 гг. Реализованы в республике до 2015 г. программы по снижению выбросов парниковых газов; по водосбережению; мероприятия по сокращению территорий аридных зон экологического бедствия и по совершенствованию управления промышленными и бытовыми отходами; по мониторингу экологического состояния территорий полигонов военно-космического и испытательного комплексов.

На втором этапе (2008—2010 гг.) путем реализации программы охраны окружающей среды на 2008—2010 гг. завершен процесс создания системы охраны окружающей среды, соответствующей принципам устойчивого развития и обеспечивающей с началом третьего этапа качественное улучшение состояния окружающей среды.

На третьем этапе (2011—2015 гг.) в результате завершения всех намеченных программ достигнуты нормативные показатели качества объектов окружающей среды и благоприятный уровень экологически устойчивого развития общества, обеспечено снижение воздействия на окружающую среду, сформирована система управления качеством окружающей среды.

Приведенная далеко неполная информация о состоянии природной среды и ее объектах свидетельствует о чрезвычайно сложной и ответственной задаче стабилизации и последующем оздоровлении сложившейся экологической обстановки в Республике Казахстан.

Порядок реализации программы экологической стабилизации и оздоровления окружающей среды конкретного региона республики и Казахстана в целом может быть реализован следующим образом. По заказу правительственных, областных или муниципальных органов разрабатывается комплексная программа научных исследований, анализируются имеющиеся в банке



данных материалы по конкретному региону, в случае необходимости выполняются дополнительные полевые исследования на местах. Проводится экспертиза общественного мнения и уже к концу первого этапа представляется заказчику первый вариант Программы экологического оздоровления с экологической картой территории, на которой показаны состояние природных вод, почв, загрязненность атмосферных осадков, система природопользования и другие факторы.

Первый вариант Программы и соответствующая карта обсуждаются у заказчика с привлечением всех заинтересованных сторон и специалистов региона, в результате чего вносятся изменения в Программу и уточняется работа следующего этапа, а именно: намечаются мероприятия по стабилизации экологической обстановки в регионах, устанавливаются приоритеты, определяются правовые и экономические регуляторы природопользования, намечаются мероприятия по охране окружающей среды и защите прав населения региона. Таким образом, мероприятия по стабилизации и оздоровлению экологически деградирующих систем включают технологические, экономические, правовые, социологические, политические, агротехнические, мелиоративные, биологические и другие аспекты, что обеспечивается имеющимся научным потенциалом республики.

После выполнения исследований второго этапа заказчику представляется второй вариант Программы экологического оздоровления с указанием конкретных и согласованных мероприятий, составленных с учетом общественного мнения и проблем вхождения в рынок. Третий этап исследований посвящается более глубокому анализу результатов предыдущих этапов и разработке долгосрочной программы природопользования: восстановление экосистем малых рек и озер, реализация модели экологически чистой, ресурсосберегающей системы земледелия, повсеместный переход на безотходные технологии использования природного сырья, на замкнутые системы водоснабжения в промышленности и коммунальном хозяйстве и другие мероприятия, в результате реализации которых в перспективе природный потенциал региона и республики в целом должен не только восстановиться, но и начать постепенно обогащаться. Такие технологии уже существуют в Нидерландах и Юго-Восточной Азии.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что деструктивные процессы природной среды многообразны, сложны и масштабны. При решении этих проблем часто требуется комплексный подход с привлечением многих специалистов различного профиля, в том числе пищевых производств и легкой промышленности. Поэтому в перспективе следует предусмотреть создание единой государственной эколого-информационной

службы, института проблем экологии и возродить Республиканскую научно-техническую программу "Экология Казахстана", которые могли бы служить главными исследовательскими и методическими центрами по проблемам экологии Казахстана.

### Список литературы

1. Назарбаев Н. А. Казахстан—2030 — Послание президента страны народу Казахстана. — Алматы, 1997. — 171 с.
2. Экологической безопасности — приоритетное направление // Материалы заседания Совета безопасности РК под председательством Н. А. Назарбаева // Казахстанская правда от 31 января 2003.
3. Туспубаева Г. А. Геополитические факторы обеспечения национальной безопасности — составные параметры государственной политики Республики Казахстан // Казахстан-спектр. — 2005. — № 2. — С. 51.
4. Жданова Н. А. Ядерный терроризм и безопасность Казахстана // ANALYTIC. — 2004. — № 6.
5. Тилегенов И. С. Обоснование и разработка способов и средств предотвращения техногенных выбросов в окружающую природную среду — Республика Казахстан, Тараз, 2003. — 239 с.
6. Бурлибаев М. Ж., Муртазин Е. Ж., Есеркенова И. Б. и др. Окружающая среда и устойчивое развитие в Казахстане (№ UNDPKAZ 06). — Алматы: ТОО "Фирма Киик", 2004. — 212 с.
7. Айдосов А. А., Айдосов Г. А., Омарбекулы Т., Тилегенов И. С. Исследование характеристики аварий при освоении, ремонте и бурении скважин в нефтяных и газовых промыслах // Вестник ТарГУ им. М. Х. Дулати "Природопользование и проблемы антропосферы". — 2006. — № 4. — С. 121—127.
8. Айдосов А. А., Айдосов Г. А., Бакирбаев Б., Тилегенов И. С. Оценка экологической обстановки при авариях на нефтепроводах, методы оценки ущерба, наносимого сельскохозяйственным территориям, на растительность, почвы, поверхностное и почвенно-грунтовые воды и другим экосистемем окружающей среды // Вестник ТарГУ им. М. Х. Дулати "Природопользование и проблемы антропосферы". — 2006. — № 4. — С. 131—137.
9. Бурлибаев М. Ж., Достай Ж. Д., Турсонов А. А. Арало-Сырдарьинский бассейн (гидроэкологический проблемы, вопросы вододеления). — Алматы: Дәуір, 2001. — 180 с.
10. Бурлибаев М. Ж., Муртазин Е. Ж., Базарбаев С. К. и др. Современное состояние загрязнения основных водотоков Казахстана ионами тяжелых металлов. — Алматы: "Каганат", 2002. — 256 с.
11. Кенжегалиев А. Современное экологическое состояние Казахстанского сектора Каспийского моря. — Алматы: НИЦ "Фылым", 2003. — 118 с.
12. Кенжегалиев А., Бозахаева З. Б., Хобдабергенова Г. Состояние северовосточной части Каспийского моря // Региональная научно-техническая конференция "Проблемы экологии Западного Казахстана и утилизация отходов нефтегазовой и нефтехимической промышленности". — Атырау, 1996. — С. 58.
13. Кенжегалиев А., Сериков Ф. Т., Хасанова А. А. Экологическое состояние Северного Каспия и его прибрежной зоны // Нефть и газ. — 1999. — № 1 (5). — С. 101—103.
14. Кенжегалиев А., Ахметова Л. Загрязнение северо-восточной части Каспийского моря // Нефть и газ. — 2001 — № 3. — С. 88.
15. Бишимбаев В. К., Тилегенов И. С. Экологические проблемы Каратау-Жамбылского территориально-производственного комплекса // Гидрометеорология и экология. — 1999. — № 1. — С. 05—114.
16. Тилегенов И. С., Бишимбаев В. К., Тилегенова Б. С. Экологическое состояние промзоны Каратауского

рудоуправления и разработка способа предотвращения выброса вредных примесей в окружающую среду // Материалы XXXVI научно-технической конференции "Казахстан—2030: Региональные проблемы научно-технического прогресса", г. Усть-Каменогорск, 1998. — С. 09—110.

17. **Омм В. В., Тилегенов И. С.** и др. Проект нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ

в атмосферу для промплощадки "Чулактау" ТОО ГХК "Каратау".

18. **Справка** о результатах комплексной проверки областным управлением экологии и биоресурсов деятельности предприятий, учреждений, организаций и хозяйств Таласского района по соблюдению природоохранного законодательства. — Тараз, 1996. — 12 с.  
19. **Концепция** экологической безопасности Республики Казахстан на 2004—2015 годы.

**I. S. Tilegenov**, Professor, e-mail: tis-kz@mail.ru, Taraz State University named after M. H. Dulati, Kazakhstan, Taraz, **T. O. Seidaliev**, Senior Lecturer, Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev, Kazakhstan, Almaty

## Conceptual Problems of Environmental Security in Kazakhstan

*The article presents a frank analysis of the crisis ecological situation in Kazakhstan at present. The diagnosis, delivered by leading scientists, is alarming: the threat of radiation environment, global warming, desertification, land accelerating, threat of intensive ecosystem degradation and deterioration of the environment, for which there is a direct danger to the physical and genetic health of the population. Since the implementation of the Concept of Environmental Safety for 2004 — 2015 years, there were developed strategic documents of the state development, created the basis of environmental legislation, signed a number of international conventions on environmental protection. It has developed a system of environmental management.*

**Keywords:** a devastating impact, the radiation situation, a testing ground, the continental platform, global warming, ecosystem degradation, non-renewable resources, geosystem, hydrobiological

### References

1. **Nazarbayev N. A.** Kazakhstan—2030 — Message from the President to the people of Kazakhstan. Almaty, 1997. 171 p.
2. **Environmental security** — a priority direction. Materials of Security Council meeting chaired by Nursultan Nazarbayev. *Kazakhstanskaya Pravda*. January 31, 2003.
3. **Tusupbayeva G. A.** Geopolitical factors of national security — the basic parameters of RK state policy. *Kazakhstan-spectrum*. 2005. No. 2. P. 51.
4. **Zhdanova N. A.** Nuclear terrorism and Kazakhstan security. *ANALYTIC*. 2004. Ni. 6.
5. **Tilegenov I. S.** Basis and working out the ways and means for preventing anthropogenic emissions into the environment. The Republic of Kazakhstan, Taraz. 2003. 239 p.
6. **Burlibaev M. Zh, Murtazin E. Zh, Esirkepova I. B.** The Environment and Sustainable Development in Kazakhstan (No. UNDPKAZ 06). Almaty LTD "Firm Киик", 2004. 212 p.
7. **Aidosov A. A, Aidosov G. A, Omarbekov T., Tilegenov I. S.** The investigation of the characteristics of accidents when developing, repairing and drilling wells in oil and gas fields. *Bulletin of M. H. Dulaty Taraz State University "Nature and problems of anthroposphere"*. 2006. No. 4. P. 121—127.
8. **Aidosov A. A, Aidosov G. A, Bakirbayev B., Tilegenov I. S.** Assessment of environmental conditions at pipeline accidents, methods of assessing the damage to agricultural areas, vegetation, soil, surface and soil — groundwater and other environmental media ecosystem. *Bulletin of M. H. Dulaty Taraz State University "Nature and problems of anthroposphere"*. 2006. No. 4. P. 131—137.
9. **Burlibaev M. Zh., Dostay Zh. D, Tursonov A. A.** Aral-Syrdarya basin (hydroecological problem, water allocation issues). Almaty: "Дәйіп", 2001. 180 p.
10. **Burlibaev M. Zh., Murtazin E. Zh., Bazarbayev S. K.** The current state of pollution of Kazakhstan main watercourses by ions of heavy metals. Almaty: "Kaganat", 2002. 256 p.
11. **Kenzhegaliyev A.** Modern ecological state of Kazakhstan sector in the Caspian Sea Almaty: SRC "Gylym", 2003. 118 p.
12. **Kenzhegaliyev A., Bozahayeva Z. B., Khobdabergenova G.** Condition of north eastern part of the Caspian Sea. *Regional scientific-technical conference "Ecological problems of the Western Kazakhstan and disposal of waste oil, gas and petrochemical industry"*. Atyrau, 1996. P. 58.
13. **Kenzhegaliyev A., Serikov F. T., Khasanova A. A.** The ecological status of the Northern Caspian Sea and its coastal zone. *Oil and Gas*. 1999. No. 1 (5). P. 101—103.
14. **Kenzhegaliyev A., Akhmetov L.** Contamination of the north-eastern part of the Caspian Sea. *Oil and gas*. 2001. No. 3. 88 p.
15. **Bishimbayev V. K., Tilegenov I. S.** Environmental problems of Karatau- Zhambyl territorial production complex. *Hydrometeorology and ecology*. 1999. No. 1. P. 05—114.
16. **Tilegenov I. S., Bishimbayev V. K., Tilegenova B. S.** The ecological status of the industrial zone of Karatau mine group and a method for preventing the release of harmful impurities in the environment. *Materials of the XXII scientific and technical conference "Kazakhstan—2030: Regional problems of scientific and technological progress"*. Ust-Kamenogorsk, 1998. P. 09—110.
17. **Omm V. V., Tilegenov I. S.** The project of maximum-allowable pollutant emissions to the atmosphere for the industrial floor "Chulaktau" LTD "Karatau".
18. **Information** of the results of complex test, made by regional department of ecology and biological resources, about the activity of enterprises, institutions, organizations and households of Talas district, on the subject of compliance with environmental legislation. Taraz, 1996. 12 p.
19. **The concept** of ecological security of the Republic of Kazakhstan for 2004—2015 years.

УДК 684.8.01

**О. В. Кирикова**, ст. преп., e-mail: Ovkirikova@gmail.com,  
**А. В. Бондаренко**, ст. преп., **Н. А. Гапонюк**, доц., МГТУ им. Н. Э. Баумана

## **Из опыта преподавания дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" бакалаврам: О проведении семинаров на тему "Расчет системы виброизоляции стационарных машин и оборудования"**

*Представлены рекомендации по проведению семинаров на тему "Расчет системы виброизоляции стационарных машин и оборудования" в рамках подготовки бакалавров по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности". Рассмотрена методика подачи теоретического и практического материала соответствующего раздела, которая сформирована на базе имеющегося опыта проведения занятий на кафедре "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана, а также ряда других вузов. Приведены образцы задач, предлагаемых студентам.*

**Ключевые слова:** условия труда, вибрация, виброизоляция, эффективность виброизоляции, коэффициент передачи, частота возбуждения, собственная частота

Как отмечалось в работах [1, 2] на сегодняшний день в большинстве вузов, не говоря уже о системе высшей школы в целом, не сформировался взгляд и единый подход к методике преподавания дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" бакалаврам, тем более в связи с появлением новых требований образовательных стандартов [3]. Прежде всего не определена тематика семинарских занятий, курсовых и выпускных работ. Как известно, типовая программа рассматриваемой дисциплины включает в себя большое количество факторов, характеризующих среду обитания, в то время как количество семинаров по второму модулю "Требования к среде обитания" дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" ограничено. Указанный выбор определяется специализацией вуза, но тем не менее, он бывает затруднен. Как представляется, вибрационный фактор универсален, так как он характеризует условия труда в большинстве технологических процессов, включая даже информационные системы, где параметры вибрации на рабочих местах весьма жестко нормируются [4]. Указанный фактор подлежит обязательному контролю согласно федеральному закону № 426-ФЗ от 28.12.2013 "О специальной оценке условий труда". Тогда, почему из многочисленных методов борьбы с вибрацией (ГОСТ 26568—85 "Методы и средства защиты от вибрации") [5], рекомендуется вынести на семинарское занятие "Расчет систем виброизоляции стационарных машин и оборудования"?

Дело в том, что на этапе эксплуатации производственных комплексов и объектов виброизоляция является одним из самых распространенных методов виброзащиты. Но обосновав такой выбор тематики семинара, преподаватели столкнулись с неожиданной трудностью его методического обеспечения. За последние годы были отменены стандарты на методику расчета систем виброизоляции (ГОСТ 12.1.093—80 "Расчет виброизоляции поддерживающих конструкций". ГОСТ 12.4.025—80 "Расчет виброизоляции самоходных машин"). В мае 2015 г. отменен основополагающий документ на расчет систем виброизоляции источников вибрации "Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования" Госстроя СССР.

Обзор нормативных документов и учебно-методической литературы последних лет позволил определиться с методикой расчета виброизоляции стационарных машин и оборудования, используемой при проведении соответствующего семинара [6—10]. В теоретической части семинарских занятий рекомендуется отметить, что будет рассматриваться наиболее распространенный в промышленности, в жилых и общественных зданиях случай устройства виброизоляции. Это виброизоляция стационарных машин и оборудования, работающих на определенных рабочих режимах (с постоянным числом оборотов или ударов в минуту), когда имеет место вертикальная гармоническая возмущающая сила и виброизоляторы работают на сжатие.

Расчет систем виброизоляции в самоходных машинах производится по специальным методикам, которые должны использоваться кафедрами вузов соответствующего профиля. Следует также отметить, что системы виброизоляции эффективны при условии, что стационарные источники располагаются на жестком основании. Именно по этой причине стараются не располагать виброактивное оборудование на межэтажных перекрытиях, а также на опорных строительных конструкциях первого этажа, не имеющих усиленного фундамента.

И, наконец, следует разъяснить, что будет рассматриваться вибрация машин и оборудования достаточно простой формы, не протяженных в пространстве (электродвигатели, вентиляторы, компрессоры и т. п.). В этом случае отпадает необходимость определения расположения центра масс виброизолируемой системы и расчета нагрузок на различные части опорной поверхности, а значит и на виброизоляторы при их установке. При различных нагрузках на отдельные части габаритных машин и оборудования также может усложниться выбор числа виброизолирующих опор и места их установки. Для таких расчетов используются специальные методики [11]. Далее перейдем к изложению методики расчета.

**Первая методика** используется, когда известен уровень среднеквадратичной виброскорости машины на конкретной рабочей частоте колебаний. Для определения потребной величины его снижения на основной частоте вибрации  $f$ , входящей в соответствующую октавную полосу частот, определяем рабочую частоту колебаний машины. Для электродвигателей, центробежных насосов, компрессоров, вентиляторов

$$f = \frac{n}{60}, \quad (1)$$

где  $n$  — число оборотов в минуту электродвигателя.

Следует отметить, что у перечисленных выше машин превышение значений уровня виброскорости имеет место, как правило, именно на этой основной частоте, а не на ее гармониках. Используя нормативные документы [12], студент должен определить в какую октавную полосу частот попадает рассчитанная частота. После этого определяется нормативное значение уровня виброскорости в этой полосе частот и необходимое снижение его:

$$\Delta L_v = L_{\text{зам}} - L_{\text{нор}}, \quad (2)$$

где  $L_{\text{зам}}$  — замеренное значение уровня виброскорости, дБ;  $L_{\text{нор}}$  — нормативное значение уровня виброскорости в соответствующей октавной полосе частот, дБ [12].

Однако известно, что эффективность системы виброизоляции может быть определена и через коэффициент передачи КП.

$$\Delta L_v = L_{\text{зам}} - L_{\text{нор}} = 20 \lg \frac{1}{\text{КП}}, \quad (3)$$

$$\text{КП} = \frac{1}{\left[ \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 - 1 \right]}, \quad (4)$$

где  $f$  — частота возмущающей силы (основная частота), Гц;  $f_0$  — собственная частота виброизолируемой системы, Гц.

Коэффициент передачи КП характеризует степень ослабления параметров вибрации на рабочем месте по отношению к параметрам вибрации самой машины, а следовательно определяет соответствующее отношение вызывающих их динамических воздействий.

Величина, обратная коэффициенту передачи  $\left( \frac{1}{\text{КП}} \right)$  в формуле (3), оценивает эффективность виброизоляции. Используя выражения (3) и (4), получаем следующую формулу для определения необходимого снижения уровня виброскорости:

$$\Delta L_v = 20 \lg \left[ \left( \frac{f}{f_0} \right)^2 - 1 \right], \quad (5)$$

из которой рассчитываем потребное значение собственной частоты колебаний виброизолируемой системы  $f_0$ .

В соответствии с определением логарифма (логарифмом числа называют степень, в которую следует возвести основание, чтобы получить это число) получаем выражение:

$$\left( \frac{f}{f_0} \right)^2 - 1 = 10^{\frac{\Delta L_v}{20}}. \quad (6)$$

После проведения математических преобразований получаем выражение для определения собственной потребной частоты колебаний виброизолируемой системы:

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{10^{\frac{\Delta L_v}{20}} + 1}}. \quad (7)$$

Определив значение  $f_0$  по формуле (7), приравниваем его к выражению собственной частоты колебаний системы, известного из курса физики:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{m}}, \quad (8)$$



где  $q$  — жесткость системы, Н/м;  $m$  — масса системы, кг.

В результате получаем формулу для определения жесткости одного виброизолятора:

$$q_1 = \frac{(2\pi f_0)^2 m}{N}, \quad (9)$$

где  $q_1$  — жесткость одного виброизолятора, Н/м;  $N$  — число виброизоляторов, выбираемое проектировщиками системы исходя из габаритов машины.

В рассматриваемом случае жесткость всей системы виброизоляции определяется суммарной жесткостью виброизоляторов

$$q_\Sigma = q_1 N = (2\pi f_0)^2 m. \quad (10)$$

Масса системы  $m$  может включать в себя и массу опорной плиты (основание, на котором располагается оборудование), также способствующую снижению колебаний виброизолированной системы.

Далее по справочной литературе подбирается стандартная виброопора с полученной жесткостью [11]. Следует иметь в виду, что виброизолирующие прокладки используются при высокочастотном характере вибрации, а пружины при низкочастотном.

В случае отсутствия необходимой виброопоры может быть произведен расчет упругих прокладок или цилиндрических пружин по методикам курсов "Сопромат" и "Детали машин". Кроме того, могут быть использованы ГОСТ 13770—86 "Пружины винтовые цилиндрические сжатия и разряжения 2-го класса разряда 1 из стали круглого сечения", а также ГОСТ 13771—86 и ГОСТ 13772—86, по которым при известной номинальной нагрузке на виброизоляторы и по требуемому значению его жесткости можно определить геометрические размеры потребных цилиндрических пружин. Представляется, что приведенная выше информация, касающаяся подбора виброопор и расчета упругих прокладок и пружин по требуемой жесткости, не должна входить в задачу рассматриваемого семинара ввиду ограниченности его времени. Расчеты такого вида проводятся в специальных курсах, а также могут быть использованы в выпускных работах бакалавров.

**Вторая методика** используется, когда уровень виброскорости не известен. В этом случае расчет системы виброизоляции указанных выше машин ведется из условия оптимальности этих вибросистем:

$$\frac{f}{f_0} = 3. \quad (11)$$

Зная число оборотов в минуту  $n$  роторных машин или число ударных циклов при обработке металлов давлением за то же время, по формуле (1) определяем основную частоту колебаний агрегата.

В этом случае потребная собственная частота колебаний согласно формуле (11) составит:

$$f_0 = \frac{f}{3}. \quad (12)$$

Наконец, по формуле (9) определяем потребную жесткость одного виброизолятора и производим выбор его типа. При необходимости варьируется число виброизоляторов, исходя из габаритов машины.

Следует обратить внимание, что изложенные методики могут быть применены в рамках подготовки бакалавров по отдельным специальностям для расчета систем виброизоляции рабочих мест операторов (например, операторов вибростендов). В практической части семинара на доску выносятся примеры расчета системы виброизоляции по каждой из методик.

Рассмотрим конкретные примеры расчета систем виброизоляции стационарных машин и оборудования при вертикальном гармоническом силовом воздействии.

**Пример 1.** Спроектировать систему виброизоляции агрегата массой  $m = 100$  кг и числом оборотов  $n = 1200$  мин<sup>-1</sup>, уровень виброскорости на основной частоте вращения составляет  $L_{\text{зам}} = 102$  дБ.

1. Рассчитаем основную частоту вращения

$$f = \frac{n}{60} = \frac{1200}{60} = 20 \text{ Гц.}$$

2. По нормативным документам [12] определяем октавную полосу частот, в которую попадает рассчитанная основная частота вращения. Это полоса (11,25...22,5) со среднегеометрическим значением 16 Гц.

3. В соответствии с нормами [12] находим допустимое значение уровня виброскорости в этой полосе частот. Оно составляет  $L_{\text{нор}} = 92$  дБ. Требуемое снижение уровня виброскорости в рассматриваемом случае

$$\Delta L_v = L_{\text{зам}} - L_{\text{нор}} = 102 - 92 = 10 \text{ дБ.}$$

4. Полученное значение приравнивается к формуле (3), определяющей эффективность системы виброизоляции

$$10 = 20 \lg \frac{1}{\text{КП}}.$$



Отсюда  $\lg \frac{1}{\text{КП}} = 0,5$ , а значит,  $\frac{1}{\text{КП}} = 10^{0,5} = 3,16$ .

Используя выражение (6) находим, что  $\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 = 4,16$ , тогда  $f_0 = \sqrt{\frac{f^2}{4,16}} = \sqrt{\frac{20^2}{4,16}} \approx 10$  Гц.

5. Отсюда можно по формуле (10) определить требуемую суммарную жесткость системы виброизоляции  $q_{\Sigma}$  и, задаваясь числом виброизоляторов  $N = 10$ , требуемую жесткость одного виброизолятора.

$$q_1 = \frac{(2\pi f_0)^2 m}{N} = \frac{(6,28 \cdot 10)^2 \cdot 100}{10} = 39438,4 \text{ Н/м.}$$

Теперь по нормам [12] подбираем стандартную виброопору или, учитывая низкочастотный характер вибрации, подбираем соответствующую цилиндрическую пружину.

**Пример 2.** Рассчитать систему виброизоляции электродвигателя массой  $m = 40$  кг с числом оборотов  $n = 2400$  мин<sup>-1</sup>.

1. Определяем основную частоту колебаний двигателя:  $f = \frac{2400}{60} = 40$  Гц.

2. Исходя из условия оптимальности виброизоляции (11), находим требуемое значение собственной частоты колебаний (12), которое составит  $f_0 = 13,3$  Гц.

3. Отсюда, используя формулу (8) для собственной частоты колебаний виброизолированной системы  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q_{\Sigma}}{m}}$ , находим суммарную

требуемую жесткость виброизоляторов  $q_{\Sigma} = (2\pi f_0)^2 m = (2\pi \cdot 13,3)^2 \cdot 40 = 279\,050,343$  Н/м. Задаваясь числом виброизоляторов  $N = 6$  шт., находим требуемую жесткость одного виброизолятора  $q_1 = 46\,508,3905$  Н/м.

Учитывая низкочастотный характер вибрации, выбираем в качестве виброизолятора резиновые прокладки.

После ответов на вопросы по поводу приведенных расчетов каждый студент получает задание по одному из вариантов расчета систем виброизоляции. По завершению работы студенты показывают свои расчеты преподавателю для анализа допущенных ошибок.

### Выводы

1. В качестве темы семинара по второму модулю "Требования к среде обитания" дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" при подготовке бакалавров рекомендуется "Расчет системы

виброизоляции стационарных машин и оборудования" в виду широкого распространения их в технологических процессах и инженерном оборудовании зданий.

2. В качестве объектов расчета рекомендуются машины и оборудование с вертикальной гармонической силой, как наиболее часто встречающиеся в промышленности, а также в жилых и общественных зданиях (электродвигатели, центробежные вентиляторы и т. п.)

3. В теоретической части семинара следует рассмотреть два варианта расчета систем виброизоляции: первый — когда известна спектральная характеристика вибрации на рабочем месте и второй — когда она неизвестна.

4. Следует обратить внимание студентов на возможность использования рассмотренных методов при курсовом и дипломном проектировании.

5. Каждый студент должен получить отдельное задание на расчет системы виброизоляции по одной из рассматриваемых методик.

6. В завершении семинара должен быть проведен анализ допущенных студентами ошибок.

### Список литературы

1. **Пышкина Э. П., Симакова Е. Н.** О методике преподавания дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" // Безопасность жизнедеятельности. — 2014. — № 6. — С. 40—42.
2. **Козьяков А. Ф., Кирикова О. В., Гапонюк Н. А.** Из опыта подготовки бакалавров по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 9. — С. 63—66.
3. **Симакова Е. Н., Гапонюк Н. А., Шалпегин О. Н.** Актуализация ФГОС ВО по направлению "Техносферная безопасность" с учетом требований профессиональных стандартов // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 7. — С. 59—67.
4. **СанПин 2.2.2/2.41.1340—03** Гигиена труда, материалы, оборудование, рабочий инструмент. Гигиенические требования к персональным машинам и организация работ. — М.: Минздрав России, 2003.
5. **ГОСТ 26568—85** Методы и средства защиты от вибрации.
6. **МГСН 2.04-97** Проектирование защиты от шума и вибрации инженерного оборудования жилых и общественных зданий. — М.: ГУП "НИИЦ", 1998.
7. **Кашина С. Г.** Защита от вибрации: Учебное пособие для самостоятельного изучения и к практическим занятиям студентов. — Казань: Изд-во КГАСУ, 2012. — 133 с.
8. **Белов С. В.** Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для бакалавров. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2013. — 682 с. — Серия: Бакалавр. Базовый курс.
9. **Методика** расчета и проектирование систем виброизоляции блочной насосной станции (БНС) РДЗУ-0147103-314-88. — Уфа: Министерство нефтяной промышленности.



10. **Гусев В. П.** Вибрация оборудования и инженерных систем и способы защиты от ее воздействия. ИИИСФ РА АСН, 2015. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4634](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4634) (дата обращения 23.12.2015).
11. **Белов С. В., Козьяков А. Ф., Партолин О. Ф.** и др. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: Справочник. — М., Машиностроение, 1989 — 362 с.
12. **СН 2.2.4.566—96** Производственная вибрация. Вибрация в жилых помещениях и общественных зданиях. — М., 1997. — 75 с.

**O. V. Kirikova**, Senior Lecturer, e-mail: [Ovkirikova@gmail.com](mailto:Ovkirikova@gmail.com), **A. V. Bondarenko**, Senior Lecturer, **N. A. Gaponiuk**, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University

## From the Experience of Teaching Bachelors "Life Safety": About Seminars on the Topic "Calculate the Vibration Isolation for Machines and Equipment"

*The article presents recommendations for the seminar on the topic "Calculate the vibration isolation for machines and equipment" in preparation of bachelors on discipline "Life Safety". We consider the content of the theoretical and practical parts, which are formed on the basis of the experience at the department "Ecology and industrial Safety" MSTU n. a. N. E. Bauman, as well as a number of other universities. Sample tasks to students also provided.*

**Keywords:** working conditions, vibration, vibration isolation, vibration isolation efficiency, the transmission coefficient, the excitation frequency, natural frequency

### References

1. **Pyshkina E. P., Simakova E. N.** The methodology of teaching discipline "Life Safety". *Life Safety*. 2014. No. 6. P. 40—42.
2. **Koziakov F. A., Kirikova O. V., Gaponiuk N. A.** From experience of training of bachelors on discipline "Life Safety". *Life Safety*. 2015. No. 9. P. 63—66.
3. **Simakova E. N., Gaponiuk N. A., Shhaepegin O. N.** Mainstreaming in the GEF in the direction of "Technosphere safety" with regard to the requirements of professional standards. *Life Safety*. 2015. No. 7. P. 59—67.
4. **SanPiN 2.2.2/2.41.1340-03** Hygiene of labour, materials, equipment, tools. Hygienic requirements to personal machines and organization of work. — Moscow: Ministry Of Health Of Russia, 2003.
5. **GOST 26568—85** Methods and means of protection about vibration.
6. **MGSN 2.04-97** Design of protection against noise and vibration engineering equipment of residential and public buildings. Moscow: Niaz, 1998.
7. **Cascina S. G.** Protection against vibration: a manual for self-study and for practical training of students. Kazan: Publishing house of ksuae, 2012. 133 p.
8. **Belov S. V.** The safety and protection of the environment (technosphere safety): textbook for bachelors. 4-e Izd., Rev. and extra. Moscow: Jurait; ID Jurait, 2013. 682 p. Series: the Bachelor. Basic course.
9. **The methodology** of calculation and design of vibration isolation systems modular pumping stations (BNS) RJU-0147103-314-88. Ufa: the Ministry of petroleum.
10. **Gusev V. P.** Vibration equipment and the utility systems and the ways to protect against its impact. NIISF RA ACH, 2015. URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4634](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4634) (date accessed 23.12.2015).
11. **Belov S. V., Koziakov A. F., Partolin O. F.** and others. Means of protection. The calculation and design. Directory. Moscow, Mashinostroenie, 1989. 362 c.
12. **SN 2.2.4.566—96** Industrial vibration. Vibration in dwellings and public. Moscow, 1997. 97 p.

**Б. С. Ксенофонов**, д-р техн. наук, проф., e-mail: borisflot@mail.ru;  
**Р. А. Таранов**, ст. преп., **А. С. Козодаев**, канд. техн. наук, доц., **А. А. Воропаева**, инж.,  
**М. С. Виноградов**, инж., **Е. В. Сеник**, асп., МГТУ им. Н. Э. Баумана

## Обмен опытом по постановке лабораторного практикума в курсе "Безопасность жизнедеятельности": Оценка риска подтопления и затопления селитебных территорий

*Рассмотрен опыт разработки методических указаний к лабораторному практикуму "Оценка риска подтопления и затопления селитебных территорий". Методические указания предназначены для студентов 4 курса кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в рамках изучения дисциплины "Системы обеспечения техносферной безопасности".*

**Ключевые слова:** риск, оценка риска, селитебная территория, подтопление, ливень, интенсивность осадков, система водоотведения, чрезвычайная ситуация

### Введение

В последние годы отмечается заметное изменение климата на планете, в том числе и на территории России, что приводит к значительному социальному и экономическому ущербу, связанному в том числе с паводковыми наводнениями, образующимися из-за обильных дождевых осадков преимущественно в летне-осенний период. Особенно часто такие наводнения возникают в результате тихоокеанских циклонов (тайфунов) на побережье Дальнего Востока и продвижения их вглубь территории, вплоть до верховьев Амура и Восточного Прибайкалья, а также при выпадении ливневых дождей в предгорье Северного Кавказа [1].

Следует отметить, что подтопление крупных городов и других населенных пунктов из-за аномального выпадения осадков и в результате наводнений, вызванных циклонами, может происходить и в других регионах России. В основном это связано с неудовлетворительным состоянием систем ливневой канализации, а зачастую городские коллекторы просто не рассчитаны на прием такого количества осадков. Все это приводит к подтоплению городских территорий с причинением значительного экономического и социального ущерба.

Методические указания к лабораторному практикуму "Оценка риска подтопления и затопления селитебных территорий" предназначены для студентов 4 курса кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в рамках изучения дисциплины "Системы обеспечения техносферной безопасности".

Рекомендуемое время выполнения лабораторного практикума составляет 2 академических часа. Форма организации студентов на лабораторном практикуме групповая, подгруппы по 2—4 человека.

*Цель лабораторного практикума:* ознакомление студентов с основами оценки риска подтопления и затопления селитебных территорий.

*Задачами лабораторного практикума* является приобретение студентами знаний, умений и навыков по следующим вопросам:

- ознакомление студентов с проблемой подтопления селитебных территорий вследствие выпадения сильных ливней;
- ознакомление студентов с основами количественной оценки поверхностного стока селитебных территорий и площадок предприятий;
- определение коэффициента риска подтопления селитебной территории.

### Теоретическая часть

#### 1. Основы количественной оценки поверхностного стока селитебных территорий и площадок предприятий

На сегодняшний день существует методика количественной оценки поверхностного стока селитебных территорий и площадок предприятий [2], на основе которой среднегодовой объем поверхностных сточных вод, образующихся на селитебных территориях и площадках предприятий, определяется по формуле [2]:

$$W_{\Gamma} = W_{\text{д}} + W_{\text{т}} + W_{\text{м}}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{д}}$ ,  $W_{\text{т}}$ ,  $W_{\text{м}}$  — среднегодовой объем дождевых, талых и поливомоечных вод, стекающих



с селитебных территорий и промышленных площадок, м<sup>3</sup>.

$$W_d = 10h_d\psi_d F, \quad (2)$$

$$W_T = 10h_T\psi_T FK_y, \quad (3)$$

где 10 — переводной коэффициент;  $F$  — общая площадь стока, га;  $h_d$  и  $h_T$  — слой осадков за теплый (дождевых вод) и холодный (талых вод) период года, мм (определяется по таблицам СП 131.1333.2012 [3]);  $\psi_d$  и  $\psi_T$  — общие коэффициенты стока дождевых и талых вод с селитебных территорий и площадок предприятий с учетом уборки снега и потерь воды за счет частичного впитывания водопроницаемыми поверхностями в период оттепелей можно принимать в пределах от 0,5 до 0,7 [2];  $K_y$  — коэффициент, учитывающий частичный вывоз и уборку снега, определяется по методике Рекомендаций [2].

При определении среднегодового объема дождевых вод, стекающих с территорий промышленных предприятий и производств, значение общего коэффициента стока  $\psi_d$  рассчитывается как средневзвешенная величина для всей площади стока с учетом средних значений коэффициента стока для разного вида поверхностей, которые следует принимать [2]: для водонепроницаемых покрытий — от 0,6 до 0,8; для грунтовых поверхностей — 0,2; для газонов — 0,1.

При определении среднегодового объема дождевых вод, стекающих с селитебных территорий, значение общего коэффициента стока  $\psi_d$  для величины  $F$  рассчитывается как средневзвешенная величина из частных значений для площадей стока с разным видом поверхности согласно таблице 17 Рекомендаций [2].

Общий годовой объем поливочных вод, стекающих с площади стока, определяется по формуле [2]:

$$W_M = 10mkF_M\psi_M, \quad (4)$$

где 10 — переводной коэффициент;  $m$  — удельный расход воды на мойку дорожных покрытий; при механизированной уборке принимается 1,2...1,5 л/м<sup>2</sup> на одну мойку, при ручной — 0,5 л/м<sup>2</sup> [2];  $k$  — среднее количество моек в году (для средней полосы России составляет 100...150 [2]);  $F_M$  — площадь твердых покрытий, подвергающихся мойке, га;  $\psi_M$  — коэффициент стока для поливочных вод (принимается равным 0,5 [2]).

Расход дождевых вод в коллекторах дождевой канализации,  $Q_r$ , л/с, отводящих сточные воды с селитебных территорий и площадок предприятий определяется по формуле [2]:

$$Q_r = Z_{mid} A^{1,2} F / t_r^{1,2n-0,1}, \quad (5)$$

где  $Z_{mid}$  — среднее значение коэффициента, характеризующего вид поверхностного стока (коэффициент покрова), определяется как средневзвешенная величина в зависимости от коэффициентов для различных видов поверхностей по табл. 10 и 11 Рекомендаций [2];  $F$  — расчетная площадь стока, га, которую необходимо принимать равной всей площади стока или части ее, дающей максимальный расход стока. Если площадь стока коллектора составляет 500 га и более, то в формулу (5) вводится поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения дождя по площади и принимаемый по табл. 9 Рекомендаций [2];  $A$ ,  $n$  — параметры, характеризующие интенсивность и продолжительность дождя для конкретной местности, определяются по результатам обработки многолетних записей самопишущих дождемеров местных метеорологических станций или по данным территориальных управлений Гидрометеослужбы; при отсутствии данных параметры определяются по формуле (6);  $t_r$  — расчетная продолжительность дождя, равная продолжительности протекания дождевых вод по поверхности и трубам до расчетного участка, мин

$$A = q_{20} 20^n (1 + \lg P / \lg m_r)^\gamma, \quad (6)$$

где  $P$  — период однократного превышения расчетной интенсивности дождя, годы;  $q_{20}$  — интенсивность дождя для данной местности продолжительностью 20 мин; при  $P = 1$  год определяется по чертежу Приложения 1 Рекомендаций [2];  $n$  — показатель степени, определяемый по таблице Приложения 2 Рекомендаций [2];  $m_r$  — среднее количество дождей за год, принимаемое по таблице Приложения 2 Рекомендаций [2];  $\gamma$  — показатель степени, принимаемый по таблице Приложения 2 Рекомендаций [2].

Период однократного превышения расчетной интенсивности дождя  $P$  необходимо выбирать в зависимости от характера объекта водоотведения, условий расположения коллектора с учетом последствий, которые могут быть вызваны выпадением дождей, превышающих расчетные, и принимать по табл. 6 и 7 Рекомендаций [2] или определять расчетом в зависимости от условий расположения коллектора, интенсивности дождей, площади водосбора и коэффициента стока по предельному периоду превышения.

При проектировании дождевой канализации у особых сооружений (метро, вокзалов, подземных переходов), а также для засушливых районов, где значения  $q_{20}$  менее 50 л/(с·га), при  $P = 1$  период однократного превышения расчетной интенсивности дождя следует определять только расчетом с учетом предельного периода превышения

расчетной интенсивности дождя, указанного в табл. 8 Рекомендаций [2]. При этом периоды однократного превышения расчетной интенсивности дождя, определенные расчетом, не должны быть менее указанных в табл. 6 и 7 Рекомендаций [2].

Расчетную продолжительность протекания дождевых вод по поверхности и трубам  $t_r$  до расчетного участка (створа), мин, следует определять по формуле [2]:

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p, \quad (7)$$

где  $t_{con}$  — продолжительность протекания дождевых вод до уличного лотка или (при наличии дождеприемников в пределах квартала) до уличного коллектора (время поверхностной концентрации), мин, определяется согласно п. 6.2.8 Рекомендаций [2];  $t_{can}$  — то же, по уличным лоткам до дождеприемника на улице (при отсутствии их в пределах квартала), мин; определяется по формуле Рекомендаций [2];  $t_p$  — то же, по трубам до рассчитываемого сечения (створа) коллектора, мин, определяется по формуле Рекомендаций [2].

Время поверхностной концентрации дождевого стока  $t_{con}$  следует рассчитывать или принимать в населенных пунктах при отсутствии внутриквартальных закрытых дождевых сетей равным от 5 до 10 мин, а при их наличии — равным от 3 до 5 мин. При расчете внутриквартальной канализационной сети время поверхностной концентрации надлежит принимать равным от 2 до 3 мин.

Продолжительность протекания дождевых вод по уличным лоткам следует определять по формуле [2]:

$$t_{can} = 0,021 \sum_{i=1}^n (l_{can}/v_{can}), \quad (8)$$

где  $l_{can}$  — длина участков лотков, м;  $v_{can}$  — расчетная скорость течения на участке, м/с, принимается в соответствии с продольным уклоном лотков по таблицам гидравлического расчета.

Продолжительность протекания дождевых вод по трубам до рассчитываемого сечения следует определять по формуле [2]:

$$t_p = 0,017 \sum_{i=1}^n (l_p/v_p), \quad (9)$$

где  $l_p$  — длина расчетных участков коллектора, м;  $v_p$  — расчетная скорость течения на участке, м/с, принимается в соответствии с гидравлическим расчетом сети (выполняется по таблицам для гидравлического расчета канализационных сетей с учетом материала трубопроводов).

## 2. Оценка риска подтопления селитебных территорий

Риск подтопления селитебных территорий — это произведение опасности подтопления на уязвимость территории по отношению к этому процессу. Для оценки риска подтопления селитебной территории введен коэффициент риска подтопления территории [4]:

$$R_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^k v_{yi} \lambda_{Mi} S_i}{S_0}, \quad (10)$$

где  $v_{yi}$  — коэффициент уязвимости территории;  $\lambda_{Mi}$  — коэффициент опасности подтопления территории;  $S_0$  — площадь территории, для которой определяется коэффициент риска подтопления  $R_{\Pi}$ ;  $S_i$  — площадь не пересекающихся между собой участков, на которые разбивается площадь  $S_0$ ; для этих участков оценены и известны коэффициенты опасности подтопления  $\lambda_{Mi}$  и уязвимости подтоплению  $v_{yi}$ .

Коэффициент риска подтопления территории не устанавливает сам по себе ущерб от подтопления, а лишь характеризует его, т. е. чем он выше, тем больше возможен ущерб и наоборот — меньшее значение коэффициента риска указывает на меньшую величину ущерба.

Для количественной характеристики степени опасности подтопления селитебной территории используется безразмерный коэффициент опасности подтопления  $\lambda$ , который предлагается определять в долях от месячной нормы осадков  $\lambda_M$  и который нормируется в диапазоне от 0 до 1, т. е.  $0 \leq \lambda_M \leq 1$ .

Так же как и коэффициент опасности, коэффициент уязвимости может быть нормирован, и его значения меняются в диапазоне от 0 до 1, т. е.  $0 \leq v_y \leq 1$ .

Определение коэффициента уязвимости отражает восприимчивость территории со всеми находящимися на ней объектами к опасному воздействию подтопления. Это приводит к необходимости оценки этой величины для территорий различного функционального назначения (селитебная, промышленная территории, зоны рекреации, дороги, линии электропередач и т.п.) с учетом различных факторов [4]. Рассмотрим факторы уязвимости для селитебной территории с присвоением соответствующих кодов, где код 1 — низкая степень уязвимости, код 2 — средняя степень уязвимости, код 3 — высокая степень уязвимости.



Таблица 1

Оценка коэффициента уязвимости  $v_y$  селитебной территории

Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$
1111	0,00	1211	0,05	1311	0,15	2111	0,05	2211	0,15	2311	0,25	3111	0,15	3211	0,25	3311	0,40
1112	0,10	1212	0,15	1312	0,25	2112	0,30	2212	0,35	2312	0,45	3112	0,55	3212	0,60	3312	0,75
1113	0,20	1213	0,25	1313	0,35	2113	0,40	2213	0,45	2313	0,55	3113	0,65	3213	0,70	3313	0,85
1121	0,05	1221	0,10	1321	0,20	2121	0,15	2221	0,20	2321	0,40	3121	0,25	3221	0,30	3321	0,55
1122	0,15	1222	0,20	1322	0,30	2122	0,35	2222	0,40	2322	0,50	3122	0,60	3222	0,65	3322	0,75
1123	0,25	1223	0,30	1323	0,40	2123	0,45	2223	0,50	2323	0,60	3123	0,70	3223	0,75	3323	0,90
1131	0,10	1231	0,20	1331	0,30	2131	0,20	2231	0,30	2331	0,40	3131	0,30	3231	0,40	3331	0,60
1132	0,20	1232	0,30	1332	0,40	2132	0,40	2232	0,50	2332	0,60	3132	0,65	3232	0,75	3332	0,90
1133	0,40	1233	0,40	1333	0,50	2133	0,60	2233	0,60	2333	0,70	3133	0,85	3233	0,85	3333	1

Таблица 2

## Районирование территории по степени риска подтопления территории

Малый риск	$R_{\text{п}} < 0,1$
Умеренный риск	$0,1 \leq R_{\text{п}} < 0,25$
Большой риск	$0,25 \leq R_{\text{п}} < 0,5$
Критическая ситуация	$R_{\text{п}} \geq 0,5$

1. Уровень рассматриваемой территории (рельеф):
  - выше нуля<sup>1</sup> — код 1;
  - нуль — код 2;
  - ниже нуля — код 3.
2. Качество грунтов:
  - песок — код 1;
  - суглинок — код 2;
  - глина — код 3.
3. Вид постройки:
  - с подвалом — код 3;
  - без подвала — код 2;
  - на сваях — код 1.
4. Мощность системы водоотведения
  - малая — код 3 (спроектирована согласно Нормам [5], но находится в неудовлетворительном состоянии);

<sup>1</sup> За нуль принимается нулевая строительная отметка.

— средняя — код 2 (спроектирована согласно Нормам [5]);

— большая — код 1 (спроектирована с усиленным водоотведением).

Оценка коэффициента уязвимости селитебной территории с учетом рассматриваемых факторов представлена в табл. 1.

Далее на основании полученных результатов рассчитывается коэффициент риска подтопления территории.

Районирование территории по степени риска подтопления территорий приведено в табл. 2.

### Практическая часть

#### Порядок выполнения лабораторного практикума "Оценка риска подтопления и затопления селитебных территорий"

Основные задачи лабораторной работы:

- ознакомление студентов с проблемой подтопления селитебных территорий вследствие выпадения сильных ливней;
- ознакомление студентов с основами количественной оценки поверхностного стока селитебных территорий и площадок предприятий;
- определение коэффициента риска подтопления селитебной территории вследствие выпадения сильных ливней;
- выявление факторов, влияющих на опасность подтопления и уязвимость территории;

- определение способов снижения коэффициента риска подтопления селитебной территории вследствие выпадения сильных ливней.

*Порядок выполнения лабораторной работы*

1. Проанализируйте рассматриваемую территорию на предмет выпадения сильных ливней.

2. Рассчитайте расход дождевых вод в коллекторах дождевой канализации, отводящих сточные воды с селитебных территорий и площадок предприятий.

3. Рассчитайте коэффициент уязвимости территории для следующих случаев: селитебная территория, производственная площадка, автомобильный тоннель.

4. Рассчитайте коэффициент опасности подтопления территории для следующих случаев: селитебная территория, производственная площадка, автомобильный тоннель.

5. Рассчитайте коэффициент риска подтопления селитебной территории для следующих случаев: селитебная территория, производственная площадка, автомобильный тоннель.

6. Оцените степень риска на рассматриваемой территории.

7. Сформируйте вывод о выполненной работе, дайте рекомендации по способам снижения степени риска на данной территории.

Рассмотрим примеры расчета риска подтопления территорий.

1. На селитебной территории площадью 1 га выпало в сутки 0,7 от месячной нормы осадков. Рассматриваемая территория расположена полностью выше нулевой отметки. Грунт песчаный, постройки выполнены на сваях. Система водоотведения спроектирована с усиленным водоотведением.

Код данной территории 1111. Коэффициент опасности подтопления  $\lambda_m = 0,7$ ; коэффициент уязвимости территории  $v_y = 0,0$  (см. табл. 1).

Подставив данные в формулу (10), получим

$$R_{\Pi} = \frac{0,0 \cdot 0,7 \cdot 1}{1} = 0,0.$$

Следовательно,  $R_{\Pi} < 0,1$ , что соответствует малому риску подтопления данной территории (см. табл. 2).

2. На селитебной территории площадью 1 га выпало в сутки 0,6 от месячной нормы осадков. Рассматриваемая территория расположена на нулевой отметке. Грунт суглинок, постройки

выполнены без подвальных помещений. Система водоотведения спроектирована согласно Нормам [5].

Код данной территории 2222. Коэффициент опасности подтопления  $\lambda_m = 0,6$ ; коэффициент уязвимости территории  $v_y = 0,4$  (см. табл. 1).

Подставив данные в формулу (10), получим

$$R_{\Pi} = \frac{0,4 \cdot 0,6 \cdot 1}{1} = 0,24.$$

Следовательно,  $0,1 \leq R_{\Pi} < 0,25$ , что соответствует умеренному риску подтопления данной территории (см. табл. 2).

3. На территории площадью 1 га выпало в сутки 0,5 от месячной нормы осадков. Рассматриваемая территория расположена полностью ниже нулевой отметки. Грунт глиняный, постройки выполнены с подвальными помещениями. Система водоотведения проектируется согласно Нормам [5], но находится в неудовлетворительном состоянии.

Код данной территории 3333. Коэффициент опасности  $\lambda_m = 0,5$ ; коэффициент уязвимости территории  $v_y = 1,0$  (см. табл. 1).

Подставив данные в формулу (10), получим

$$R_{\Pi} = \frac{1,0 \cdot 0,5 \cdot 1}{1} = 0,5.$$

Следовательно,  $R_{\Pi} \geq 0,5$ , что соответствует критической ситуации (см. табл. 2).

### Список литературы

1. **Государственный доклад** "О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2014 году", 2015. — 473 с.
2. **Рекомендации** по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. — М.: ОАО "НИИ ВОДГЕО", 2014. — 88 с.
3. **СП 131.13330.2012** Строительная климатология. Актуализированная редакция. СНиП 23-01-99.
4. **Чунос Д. В.** Обоснование мероприятий по защите от подтопления урбанизированных территорий на основе теории риска: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / [Место защиты: ОАО "НИИ ВОДГЕО"]. Москва, 2008.
5. **СП 32.13330.2012** Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85.



**B. S. Ksenofontov**, Professor, e-mail: borisflot@mail.ru, **R. A. Taranov**, Senior Lecturer, **A. S. Kozodaev**, Associate Professor, **A. A. Voropaeva**, Engineer, **M. S. Vinogradov**, Engineer, **Senik E. V.**, Postgraduate, Bauman Moscow State Technical University

## The Exchange of Experiences of the Formulation of a Laboratory Practice of Course "Life Safety": Risk Assessment of Flooding of Residential Areas

*The experience of the development of guidelines for laboratory workshop on "Assessment of risk of flooding and flooding residential areas" is considered. Guidelines are designed for students of the 4th course of the department "Ecology and Industrial Safety" in Bauman Moscow State Technical University in the framework of the discipline "Systems technospheric ensure safety".*

**Keywords:** risk, risk assessment, residential area, flooding, rainfall, precipitation intensity, drainage system, emergency

### References

1. **Gosudarstvennyj doklad** "O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy v Rossijskoj Federacii v 2014 godu", 2015. — 473 p.
2. **Rekomendacii** po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverhnostnogo stoka s selitebnyh territorij, ploshhadok predpriyatij i opredeleniju uslovij vypuska ego v vodnye ob#ekty. — M.: OAO "NII VODGEO", 2014. — 88 p.
3. **SP 131.13330.2012** Stroitel'naja klimatologija. Aktualizirovannaja redakcija". SNIp 23-01—99.
4. **Chunosov D. V.** Obosnovanie meropriyatij po zashchite ot podtoplenija urabnizirovannykh territorij na osnove teorii riska: Avtoref. dis. ... kand. techn. nauk: 05.23.07 [Mesto zashchity: OAO "NII VODGEO"]. Moskva, 2008.
5. **SP 32.13330.2012** Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija. Aktualizirovannaja redakcija SNIp 2.04.03-85.

УДК 613.63

**Э. Н. Егоров**, канд. техн. наук, доц., e-mail: egorov0815@mail.ru, Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск

## Практическая работа для студентов вузов по теме "Вредные вещества"

*Статья посвящена методике изучения самого распространенного негативного фактора — вредного вещества. В практической работе сделана попытка пробудить инициативу студента при решении поставленной задачи по индивидуальному заданию. Приводятся 30 вариантов, и преподаватель имеет возможность изменять исходные данные для оценки возможного действия на человека вредных веществ и для обоснования профилактических мер.*

**Ключевые слова:** вещество вредное, предельно допустимая концентрация, пылевая нагрузка, классы условий труда, категории работ, действие на человека вредных веществ, предотвращение негативных последствий

### 1. Определение и основные характеристики вредных веществ

**Вредные вещества.** При контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности вредные вещества могут вызвать производственные травмы, профессиональные

заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений [1].

**Предельно допустимая концентрация (ПДК).** Это такая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны, которая при условии 8-часового



дня, 40-часовой рабочей недели и всего трудового стажа не приводит к острым отравлениям, к профессиональным заболеваниям, к отклонению состояния здоровья, которое может быть обнаружено современными методами как у работающих, так и у последующих поколений.

*Классы опасности вредных веществ* назначаются по ряду показателей, одним из которых является ПДК в воздухе рабочей зоны ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ):

1 класс, вещества чрезвычайно опасные. . . . . ПДК менее 0,1;  
 2 класс, вещества высоко опасные. . . . . ПДК от 0,1 до 1;  
 3 класс, вещества умеренно опасные. . . . . ПДК от 1,1 до 10;  
 4 класс, вещества мало-опасные. . . . . ПДК выше 10.

*Среднесменная (за 8 ч) концентрация вредного вещества* в воздухе рабочей зоны, которая вычисляется по результатам анализа отдельных (разовых) проб или по показаниям прибора с функцией усреднения за восьмичасовой рабочий день.

*Максимальная концентрация вредного вещества* в воздухе рабочей зоны за восьмичасовой рабочий день, которая выбирается из результатов анализа отдельных (разовых) проб или определяется по прибору с функцией запоминания максимального значения за время работы прибора.

*Кратность превышения* фактического значения концентрации по отношению к ПДК:

$$K_{\text{пр}} = C_{\text{ф}}/\text{ПДК}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{ф}}$  — фактическое значение концентрации вредного вещества в воздухе рабочей зоны,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ; ПДК — предельно допустимая концентрация для данного вредного вещества,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

*Пылевая нагрузка (ПН)* на органы дыхания ( $\text{мг}$ ) рассчитывается по формуле:

$$\text{ПН} = C \cdot N_{\text{см}} \cdot T_{\text{к}} \cdot V, \quad (2)$$

где  $C$  — фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $N_{\text{см}}$  — число рабочих смен, отработанных за год в условиях воздействия аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД), принимается 250 смен;  $T_{\text{к}}$  — количество лет контакта с АПФД;  $V$  — объем легочной вентиляции за смену,  $\text{м}^3$ , принимается в зависимости от категории выполняемых работ:

$V = 4 \text{ м}^3$  — за восьмичасовой рабочий день для категории работ I а и I б;

$V = 7 \text{ м}^3$  — за восьмичасовой рабочий для категории работ II а и II б;

$V = 10 \text{ м}^3$  — за восьмичасовой рабочий день для категории работ III.

Категории работ устанавливаются по интенсивности энерготрат (Вт) организма, что определяет объем легочной вентиляции и, следовательно, количество пыли, попадающей в легкие работника при прочих равных условиях.

К категории I а относят работы с интенсивностью энерготрат до 139 Вт, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

К категории I б относят работы с интенсивностью энерготрат 140...174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

К категории II а относят работы с интенсивностью энерготрат 175...232 Вт, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

К категории II б относят работы с интенсивностью энерготрат 233...290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей (до 10 кг) и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

К категории III относят работы с интенсивностью энерготрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (выше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий.

*Контрольная пылевая нагрузка (КПН)* — это норма пылевой нагрузки, которая соответствует условию соблюдения среднесменной ПДК пыли в течение всего периода профессионального контакта с фиброгенной пылью, вычисляется по формуле:

$$\text{КПН} = \text{ПДК}_{\text{ф}} \cdot N_{\text{дн}} \cdot T_{\text{с}} \cdot V, \quad (3)$$

где КПН — контрольная пылевая нагрузка по данному веществу,  $\text{мг}$ ;  $\text{ПДК}_{\text{ф}}$  — предельно допустимая концентрация пыли,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $N_{\text{дн}}$  — число рабочих дней в календарном году, принимается 250 рабочих дней;  $T_{\text{с}}$  — возможный стаж работы, принимается 25 лет;  $V$  — объем легочной вентиляции за смену,  $\text{м}^3$ .

## 2. Негативные последствия и классы условий труда

Негативные последствия для жизни и здоровья работников, в частности, при контакте с вредными веществами можно оценить классами условий труда [2].

Если измеренные параметры вредных веществ на рабочем месте соответствуют требованиям норм, то вероятность негативных последствий незначительна и условия труда характеризуются как:

1 класс — оптимальные условия труда;

2 класс — допустимые условия труда;

3 класс — вредные условия труда — назначается в случае превышения норм и устанавливаются четыре подкласса:

*подкласс 3.1* — измеренные параметры не соответствуют требованиям СанПиН, при действии вредных веществ могут происходить функциональные изменения, которые не восстанавливаются за период отдыха к началу



следующей смены (рабочего дня), а также увеличивается риск повреждения здоровья;

*подкласс 3.2* — вредные вещества могут вызывать стойкие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к профессионально обусловленной заболеваемости, появлению начальных признаков или легких форм профессиональных заболеваний, возникающих после продолжительного действия;

*подкласс 3.3* — условия труда, при которых действие вредных веществ приводит к развитию, как правило, профессиональных болезней легкой и средней степеней тяжести в период трудовой деятельности;

*подкласс 3.4* — условия труда, при которых воздействие вредных веществ может привести к появлению и развитию тяжелых форм профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности) в период трудовой деятельности;

*4 класс* — опасные условия труда характеризуются таким уровнем воздействия вредных веществ, при которых в течение рабочей смены (или ее части) создается угроза для жизни, высокий риск развития острого профессионального заболевания в период трудовой деятельности.

### 3. Последствия действия и источники некоторых вредных веществ

**Ртуть** — острое отравление парами ртути. Проявляется через несколько часов после вдыхания. Симптомы: общая слабость, отсутствие аппетита, головная боль, боль при глотании, металлический вкус во рту, слюнотечение, набухание и кровоточивость десен, тошнота и рвота. Как правило, появляются сильнейшие боли в животе. Нередко наблюдается воспаление легких, катар верхних дыхательных путей, боли в груди, кашель и одышка, часто сильный озноб. Температура тела поднимается до 38...40 °С. В тяжелых случаях через несколько дней наступает смерть пострадавшего.

**Ртуть** — хроническое отравление парами ртути. Общее отравление организма при хроническом воздействии паров ртути и ее соединений, значительно превышающих санитарную норму, происходит в течение нескольких месяцев или лет. Симптомы: повышенная утомляемость, сонливость, общая слабость, головные боли, головокружения, апатия. Также наблюдаются ослабление памяти и самоконтроля, снижение внимания и умственных способностей. Постепенно развивается усиливающееся дрожание кончиков пальцев при волнении — "ртутный тремор", вначале пальцев рук, затем ног и всего тела (губы, веки). Ртуть еще широко используется в медицинских

и технических термометрах, разрушение которых может приводить к накоплению паров ртути в воздухе рабочей зоны, жилых помещений. Пары ртути могут быть в некоторых видах ламп.

**Масла минеральные нефтяные.** Это жидкие смеси высококипящих углеводородов (температура кипения 300...600 °С), получаемые переработкой нефти. При вдыхании паров масел отмечают нарушение функций центральной нервной системы. Возможны и другие последствия в связи с наличием примесей, присадок.

**Оксиды серы.** Обладают раздражающим действием, воздействуют на дыхательные пути и легкие. Требуется защита глаз. Оксиды серы образуются при сжигании топлив, содержащих серу. На морских судах для дизелей и котлов используют мазут с содержанием серы до 4,5 % по массе.

**Этилцеллозольв.** Горючая жидкость со спиртовым запахом, вдыхание паров приводит к нарушению функции центральной нервной системы. При большой концентрации в воздухе возможно отравление вплоть до смертельного исхода. Другая опасность этилцеллозоля — связана с его запахом, аналогичным этиловому спирту. Известны смертельные случаи от попадания этилцеллозоля в желудок, причем одновременно погибало 2—3 человека. Этилцеллозольв используется как растворитель многих лакокрасочных материалов на самой разнообразной химической основе.

**Карбамид.** В организм человека карбамид может проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт. При действии пыли карбамида могут происходить функциональные изменения, которые не восстанавливаются за период отдыха к началу следующей смены (рабочего дня), а также увеличивается риск повреждения здоровья. Длительное вдыхание пыли карбамида в высоких концентрациях приводит к развитию хронического воспаления слизистой оболочки трахей и бронхов (трахеобронхиту), изменениям функции печени и почек. Карбамид (мочевина) используется как минеральное удобрение в сельском хозяйстве, перевозится на различных видах транспорта.

**Оксид углерода (СО).** Оксид углерода (угарный газ) не имеет запаха и обладает остронаправленным действием. Остронаправленное действие оксида углерода заключается в том, что он вступает в реакцию с гемоглобином крови быстрее, чем кислород (при этом образуется карбоксигемоглобин), таким образом блокируются процессы транспортировки кислорода и клеточного дыхания. В организме человека возникает недостаток кислорода, что может привести к химическому удушью. Признаки отравления: головная боль и головокружение; отмечается шум в ушах, одышка, сердцебиение, покраснение лица, общая слабость, тошнота, иногда рвота; в тяжелых случаях

судороги, потеря сознания и смерть. Концентрация в воздухе более 0,1 % приводит к смерти в течение одного часа. Оксид углерода является продуктом неполного окисления в процессе горения различных органических веществ. Он содержится в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания, в отходящих газах котлов и печей для сжигания отходов, например, судовых инсинераторов.

**Диоксид и оксид азота ( $NO_2$  и  $NO$ ).** Диоксид азота (также в смеси с оксидом азота) воздействует в основном на дыхательные пути и легкие, а также вызывает изменения состава крови, в частности, уменьшает содержание в крови гемоглобина. Диоксид азота снижает сопротивляемость к заболеваниям, вызывает кислородное голодание тканей. Усиливает действие канцерогенных веществ, способствуя возникновению злокачественных новообразований. В небольших концентрациях оксиды азота вызывают раздражение дыхательных путей, при больших концентрациях возможен отек легких и смерть. Оксиды азота образуются при высокотемпературном сжигании топлива в двигателях внутреннего сгорания, котлах.

**Сероводород ( $H_2S$ ).** Вдыхание воздуха с небольшим содержанием сероводорода вызывает головокружение, головную боль, тошноту, а со значительной концентрацией приводит к коме, судорогам, отеку легких и даже к летальному исходу. При высокой концентрации сероводорода однократное вдыхание его может вызвать мгновенную смерть. При небольших концентрациях сероводорода довольно быстро возникает адаптация к неприятному запаху "тухлых яиц", и он перестает ощущаться. Во рту возникает сладковатый металлический привкус. Сероводород обладает остронаправленным действием, которое усиливается при наличии в воздухе углеводородов нефти, что характерно для технологии перевозки нефти и нефтепродуктов. Остронаправленное действие заключается в том, что сероводород блокирует перенос кислорода к тканям организма и человек может умереть от химического удушья.

**Моющие синтетические средства, зерновая пыль и др.** Эти вредные вещества имеют общее свойство — являются аллергенами, вызывающими сенсibilизирующие действие — вырабатывание повышенной чувствительности организма к веществу, впервые попавшему в организм в больших количествах. Последующее попадание в организм очень малых доз этого вещества приводит к аллергическим реакциям. Местные симптомы: отек слизистой носа, покраснение глаз, свистящее дыхание, одышка, иногда возникают приступы астмы; возможна боль и снижение слуха; различные высыпания на коже, экзема, крапивница и дерматит; головная боль, возникает только при некоторых типах аллергии.

**Зерновая пыль и другие фиброгенные вещества.** Любое из этих веществ может вызывать фиброз легких, что связано с разрастанием соединительной ткани легких. При длительном действии это приводит к профессиональному заболеванию с потерей трудоспособности.

**Пыль, содержащая асбест, бенз(а)пирен, а также пары бензола и другие канцерогены.** Канцероген — вещество, способное вызвать развитие злокачественных новообразований или их возникновение. Бенз(а)пирен содержится в продуктах сгорания углеводородного топлива. При охлаждении отработавших газов, например, дизеля, бенз(а)пирен сорбируется мельчайшими частицами сажи. Бензол входит в состав как сырой нефти, так и некоторых нефтепродуктов, например, бензинов. В чистом виде бензол перевозиться различными видами транспорта, например, на судах химовозах.

#### 4. Классы условий труда в зависимости от кратности превышения ПДК

В табл. 1 приведены данные для определения класса условий труда для вредных веществ как не обладающих, так и обладающих направленностью действия.

В табл. 2 приведены данные для определения класса условий труда при профессиональном контакте с аэрозолями преимущественно фиброгенного действия (АПФД). Класс определяют исходя из фактических величин среднесменных концентраций АПФД и кратности превышения среднесменных ПДК.

Основным показателем оценки степени воздействия АПФД на органы дыхания работника является пылевая нагрузка (ПН). В случае превышения среднесменной ПДК фиброгенной пыли расчет пылевой нагрузки обязателен.

Пылевая нагрузка на органы дыхания работника — это реальная или прогностическая величина суммарной экспозиционной дозы пыли, которую работник вдыхает за весь период фактического (или предполагаемого) профессионального контакта с пылью.

Полученные значения фактической ПН сравнивают с величиной контрольной пылевой нагрузки (КПН) для высоко- и умеренно фиброгенной пыли, рассчитанных исходя из величин: стаж работы 25 лет; 250 рабочих смен в году.

При соответствии фактической пылевой нагрузки контрольному уровню условия труда относят к допустимому классу и подтверждают безопасность продолжения работы в тех же условиях.

Кратность превышения контрольных пылевых нагрузок указывает на класс вредности условий труда по данному фактору (см. табл. 2).



Таблица 1

## Классы условий труда в зависимости от направленности действия и кратности превышения ПДК

Вредные вещества	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
		3.1	3.2	3.3	3.4	
2	Превышение ПДК, $K_{пр}$					
Вредные вещества 1...4 классов опасности	Не более ПДК <sub>макс</sub> Не более ПДК <sub>сс</sub>	1,1...3,0 1,1...3,0	3,1...10,0 3,1...10,0	10,1...15,0 10,1...15,0	15,1...20,0 более 15,0	Более 20,0 —
За исключением перечисленных ниже						
Вещества с остро направленным механизмом действия	Не более ПДК <sub>макс</sub>	1,1... 2,0	2,1... 4,0	4,1... 6,0	6,1... 10,0	Более 10,0
Вещества раздражающего действия	Не более ПДК <sub>макс</sub>	1,1... 2,0	2,1... 5,0	5,1... 10,0	10,1... 10,0	Более 50,0
Вещества канцерогены	Не более ПДК <sub>сс</sub>	1,1... 2,0	2,1...4,0	4,1...10,0	Более 10,0	—
Вещества аллергены, высоко опасные	Не более ПДК <sub>макс</sub>	—	1,1... 3,0	3,1... 15,0	15,1... 20,0	Более 20,0
Вещества аллергены, умеренно опасные	Не более ПДК <sub>макс</sub>	1,1... 2,0	2,1... 5,0	5,1... 15,0	15,1... 20,0	Более 20,0

Таблица 2

## Классы условий труда при наличии в воздухе рабочей зоны АПФД в зависимости от содержания пыли и пылевых нагрузок на органы дыхания (кратность превышения ПДК и КПН)

Аэрозоли	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
		3.1	3.2	3.3	3.4	
2	Превышение ПДК И КПН					
Высоко и умеренно фиброгенные АПФД, содержащие природные и искусственные волокна	Не более ПДК, не более КПН	1,1...2,0	2,1...4,0	4,1...10	Более 10	—
Слабофиброгенные АПФД	Не более ПДК, не более КПН	1,1...3,0	3,1...6,0	6,1...10	Более 10	—

Примечания. 1. К волокнам природным относят асбесты, цеолиты. Волокна искусственные — стеклянные, керамические, углеродные и другие минеральные волокна.  
2. Предельно допустимые концентрации, мг/м<sup>3</sup>: высоко и умеренно фиброгенной пыли 2 и менее; слабофиброгенной пыли более 2.

Степень вредности условий труда с веществами, имеющими одну нормативную величину, устанавливают при сравнении фактических концентраций с соответствующей ПДК: максимальной разовой (ПДК<sub>макс</sub>) или среднесменной (ПДК<sub>сс</sub>); наличие двух величин ПДК требует оценки условий труда как по максимальным, так и по среднесменным концентрациям, при этом в итоге класс условий труда устанавливают по более высокой степени вредности.

### 5. Меры по улучшению условий труда

Улучшение условий труда заключается в применении организационных и технических мер:

- изменение технологического процесса (перевозки, производства), производственного оборудования и используемых материалов с целью снижения количества и токсичности вредных веществ, поступающих в рабочую зону;
- использование специального оборудования для очистки воздуха рабочей зоны;

- уменьшение продолжительности работы в запыленном или загазованном помещении (сокращенный рабочий день, увеличенная продолжительность отпуска);
- организация лечебно-профилактического питания с учетом вида вредных веществ, попадающих в организм работников;
- организация контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны;
- проведение специальной оценки условий труда [3];
- использование средств индивидуальной защиты от пыли, паров и газов;
- проведение профилактических осмотров лиц, имеющих контакт с вредными веществами.

### 6. Варианты заданий для написания отчета по теме "Вредные вещества"

Результаты измерения факторов приведены в табл. 3. В табл. 4 приведены направленность



Таблица 3

Результаты измерений факторов, определяющих действие вредных веществ

Номер варианта	Номер заданного вредного вещества по табл. 4 для рабочих мест			Измеренная концентрация (макс./среднесменная) вредных веществ в воздухе, мг/м <sup>3</sup> , рабочих мест			Категории работ	Количество лет, отработанных в заданных условиях
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3		
1	2	16	25	—/10	7/—	—/0,0015	III	5
2	7	18	24	0,5/0,1	—/10	24/7	II	10
3	14	19	23	4/—	—/6	7/5	I	15
4	8	15	22	11/—	—/10	3/0,7	III	20
5	3	23	11	7/—	7/5	4/—	II	5
6	6	21	10	36/25	—/8	8/—	I	10
7	5	20	6	2/—	—/11	35/—	III	15
8	4	17	12	19/—	—/7	12/—	II	20
9	1	22	11	0,1/0,05	4/0,8	9/—	I	5
10	2	21	23	—/11	—/7	7/5	III	10
11	7	20	22	0,5/0,1	—/12	3/0,9	II	15
12	13	17	11	5/0	—/5	3/—	I	20
13	8	22	10	12/—	5/0,9	6/—	III	5
14	3	16	6	8/—	8/—	25/—	II	10
15	7	18	12	36/25	—/7	12/—	I	15
16	5	19	13	2/—	—/9	9/—	III	20
17	4	15	25	18/—	—/10	—/0,0015	II	5
18	1	20	24	0,07/0,05	8/6	24/5	I	10
19	2	18	22	—/9	—/9	5/1,1	III	15
20	7	19	11	0,5/0,3	—/9	5/—	II	20
21	13	15	10	9/—	—/10	9/—	I	5
22	8	23	6	13/—	9/7	23/—	III	10
23	3	21	12	9/—	—/9	12/—	II	15
24	6	20	13	36/25	—/13	9/—	I	20
25	5	17	25	7/—	—/9	—/0,0015	III	5
26	4	22	24	20/—	6/0,8	24/6	II	10
27	1	19	23	0,09/0,005	—/8	8/6	I	15
28	2	15	22	—/10	—/10	8/2,0	III	20
29	7	23	11	0,5/0,2	8/8	4/—	II	5
30	11	21	2	8/—	—/11	5/—	I	10
31	8	20	9	14/—	—/19	22/—	III	15

Таблица 4

Предельно допустимые концентрации (ПДК) и некоторые сведения по заданным вредным веществам в воздухе рабочей зоны [4]

Номер заданного вещества	Наименование вещества	Химическая формула	ПДК, мг/м <sup>3</sup>		Агрегатное состояние	Класс опасности	Особенность действия
			максимальная	среднесменная			
1	Ртуть	Hg	0,01	0,005	п	1	—
2	Нефть сырая+	—	—	10	а	3	—
3	Масла минеральные нефтяные+	—	5	—	п	3	—
4	Диоксид серы+	SO <sub>2</sub>	10	—	п	3	—
5	Триоксид серы+	SO <sub>3</sub>	1	—	п	2	—
6	Этилцеллозоль или 2-этоксиэтанол	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	30	10	п	3	—
7	Марганец в сварочных аэрозолях	Mn	0,3	0,1	а	2	—
8	Карбамид	CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O	10	—	а	3	—
9	Оксид углерода	CO	20**	—	п	4	О
10	Оксиды азота в пересчете на NO <sub>2</sub>	—	5	—	п	3	О
11	Диоксид азота	NO <sub>2</sub>	2	—	п	3	О
12	Сероводород	H <sub>2</sub> S	10	—	п	2	О
13	Сероводород в смеси с углеводородами C <sub>1</sub> —C <sub>5</sub>	—	3	—	п	2	О
14	Моющее синтетическое средство "Тайд" и др.	—	5	—	п	3	А
15	Пыль зерновая	—	—	4	а	3	А, Ф
16	Сера	S	—	6	а	4	Ф
17	Нитроаммофоска	—	—	4	а	3	Ф
18	Электрокорунд	—	—	6	а	4	Ф
19	Аммофос+	—	—	6	а	4	Ф
20	Известняк	CaCO <sub>3</sub>	—	6	а	4	Ф
21	Зола	—	—	4	а	3	Ф
22	Асбесты природные	—	2	0,5	а	2	К, Ф
23	Асбестоцемент неокрашенный, цветной	—	6	4	а	3	К, Ф
24	Бензол+	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	15	5	п	2	К
25	Бенз(а)пирен	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	—	0,00015	а	1	К



действия на организм, агрегатное состояние и требования по специальной защите для вредных веществ:

действие на организм:

нет обозначения — вещества общетоксического действия;

О — вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе;

А — вещества, способные вызывать аллергические заболевания в производственных условиях;

Ф — аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (АПФД);

К — канцерогены;

агрегатное состояние:

п — пары и газы; а — аэрозоли; п + а — смесь паров и аэрозолей (в таблице их нет);

наименование вещества:

+ — соединения, при работе с которыми требуется специальная защита кожи и глаз;

++ — вещества, при работе с которыми должен быть исключен контакт с органами дыхания и кожей (в таблице их нет).

СО = 20\*\* мг/м<sup>3</sup> — при ограниченной длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, ПДК может быть увеличена до 50 мг/м<sup>3</sup> при длительности работы не более 1 ч, 100 мг/м<sup>3</sup> — не более 30 мин; 200 мг/м<sup>3</sup> — не более 15 мин.

### 7. Методические указания по выполнению практической работы

Приведены методические указания по выполнению практической работы с примерами по варианту № 31. Отчет по работе может быть в рукописном или в электронном виде.

#### Исходные данные для оценки классов условий труда по варианту № 31

Исходные данные по заданному рабочему месту следует выбрать из табл. 3 и 4 и привести в виде табл. 5 и 6.

Число рабочих смен в календарном году принимать равным 250 для всех вариантов заданий.

### Оценка условий труда на рабочем месте РМ1

**Определение класса условий труда.** На рабочем месте РМ1 в воздухе рабочей зоны присутствует пыль (а — аэрозоль) карбамида.

Находим кратность превышения фактического значения концентрации по отношению к ПДК на рабочем месте РМ1 (см. табл. 5 и 6) по формуле (1):  $K_{пр} = 14 : 10 = 1,4$ . Затем по табл. 1 определяем класс условий труда.

Карбамид относится к 3-му классу опасности для вредных веществ (см. табл. 4) и не обладает ни одной из особенностей действия (О, А, Ф, К и др.), поэтому по табл. 1 для классов опасности вредных веществ 1..4 для вычисленного  $K_{пр} = 1,4$  находим: условия труда на рабочем месте РМ1 — класс 3, вредные условия труда, подкласс 3.1.

Карбамид находится в воздухе рабочей зоны в виде пыли, но можно не оценивать пылевую нагрузку на организм, так как данное вредное вещество не является фиброгенным.

Необходимо оценить последствия для работника и источники загрязнения воздуха на рабочем месте РМ1, используя данные раздела 3.

#### Оценка условий труда на рабочем месте РМ2

**Определение класса условий труда.** На рабочем месте РМ2 в воздухе рабочей зоны присутствует пыль (а — аэрозоль) известняка, находим по формуле (1) кратность превышения фактического значения концентрации по отношению к ПДК по исходным данным (см. табл. 5 и 6):

$$K_{пр} = 19 : 6 = 3,2.$$

Известняк относится к 4-му классу опасности вредных веществ (см. табл. 4) и обладает одной из особенностей фиброгенного действия (Ф) и является слабофиброгенным АПФД, так как ПДК известняка более 2 мг/м<sup>3</sup>. По табл. 2 находим:

Таблица 5

Результаты измерения факторов, определяющих условия труда на заданном рабочем месте по варианту № 31

Номер варианта	Номер заданного вредного вещества по табл. 4 для рабочих мест			Концентрация (макс./среднесменная) вредных веществ в воздухе, мг/м <sup>3</sup> , рабочих мест			Категория работ	Количество лет, отработанных в заданных условиях
	РМ1	РМ2	РМ3	РМ1	РМ2	РМ3		
31	8	20	9	14/—	—/19	22/—	III	15

Таблица 6

Общие сведения о вредных веществах по варианту № 31

Номер вещества по табл. 4	Наименование вещества	Химическая формула	ПДК, мг/м <sup>3</sup>		Агрегатное состояние	Класс опасности	Особенность действия
			максимальная	среднесменная			
8	Карбамид	CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O	10	—	а	3	—
20	Известняк	CaCO <sub>3</sub>	—	6	а	4	Ф
9	Оксид углерода	СО	20**	—	п	4	О

условия труда на рабочем месте РМ2 — класс 3, вредные условия труда, подкласс 3.2.

Для фиброгенной пыли требуется оценка пылевой нагрузки на органы дыхания.

Расчет пылевой и контрольной пылевой нагрузки известняка на органы дыхания производится по формулам (2) и (3)

$$ПН = 19 \cdot 250 \cdot 15 \cdot 10 = 712\,500 \text{ мг};$$

$$КПН = 6 \cdot 250 \cdot 25 \cdot 10 = 375\,000 \text{ мг},$$

Фактическая пылевая нагрузка (712 500 мг) на данный момент времени превысила концентрацию (допустимую) (375 000 мг), кратность превышения составит:

$$K_{\text{пр}} = 712\,500 : 375\,000 = 1,9.$$

По табл. 2 для слабофиброгенной АПФД это соответствует вредным условиям труда — класс 3, подкласс 3.1.

В общем класс условий труда назначается по худшему показателю, в данном случае на рабочем месте РМ2 класс 3 вредные условия труда, подкласс 3.2.

По данным из раздела 3 для заданного вредного вещества необходимо оценить последствия для работника и источники загрязнения воздуха на рабочем месте РМ2.

#### **Оценка условий труда на рабочем месте РМ3**

**Определение класса условий труда.** На рабочем месте РМ3 в воздухе рабочей зоны присутствует СО — оксид углерода.

Находим кратность превышения фактического значения концентрации по отношению к ПДК (см. табл. 5 и 6) по формуле (1)  $K_{\text{пр}} = 22 : 20 = 1,1$ . Затем по табл. 1 определяем класс условий труда.

Оксид углерода относится к 4-му классу опасности вредных веществ (см. табл. 4) и обладает остронаправленным действием (О). По табл. 1 находим: условия труда на рабочем месте РМ3 — класс 3, вредные условия труда, подкласс 3.1.

По данным из разделов 2 и 3 для заданного вредного вещества и установленного класса условий труда необходимо оценить последствия для работника и источники загрязнения воздуха на рабочем месте РМ3.

#### **Меры по улучшению условий труда на заданных рабочих местах РМ1, РМ2, РМ3**

Меры по улучшению условий труда на заданных рабочих местах следует выбрать из раздела 5 с учетом оценки последствий для работника.

#### **Список литературы**

1. **ГОСТ 12.1.007—76.** Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
2. **Руководство Р 2.2.2006—05.** Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса, критерии и классификация условий труда.
3. **Федеральный закон** от 28.12.2013 № 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда".
4. **Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313—03.** Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

**E. N. Yegorov**, Associate Professor, e-mail: egorov0815@mail.ru, Maritime State University name after admiral F. F. Ushakov, Novorossiysk

## **Practical Work for Students on Subject "Destructive Substances"**

*The article is dedicated to the methodology for the study of the most circulated adverse factor — destructive substance. In this practical work the attempt has been made to awake the initiative of the student when solving the application target on individual task. There are 30 variants brought, in what connection the lecturer has the possibility to change the benchmark data for assessment of possible exposure of destructive substances on human and to substantiate the preventative measures.*

**Keywords:** *destructive substance, permissible exposure limit, dust burden, labour condition classes, labour grade, exposure of destructive substances on human, prevention of repercussions*

#### **References**

1. **ГОСТ 12.1.007—76.** Mezhgosudarstvenny standart. Sistema standartov besopasnosti truda. Vrednye vechhestva. Klassificacii i obshhie trebovanij besopasnosti.
2. **Rukovodstvo R 2.2. 2006 — 05** Rukovodstvo po higienicheskoj ocenke faktorov rabochej sredy i trudovogo processa. Kriterii i klassificacii uslovij truda.
3. **Federal'nyj zakon** ot 28.12.2013 N. 426-FZ "O specialnoj ocenke uslovij truda".
4. **Gigienicheskie normativy GN 2.2.5.1313-03** Predelno dopustimye koncentracii (PDK) vrednyh vechhestv v vozduhe rabochej zony.

## **О заседании редакционного совета и редакционной коллегии журнала**

### **About the Meeting of the Editorial Board and the Editorial Staff**

В университете "СТАНКИН" 3 февраля 2016 г. состоялось расширенное заседание редакционного совета и редакционной коллегии журнала "Безопасность жизнедеятельности", приуроченное к 15-летию юбилею журнала.

Представитель Польского научного сообщества Тадеуш Заборовский (Политехнический университет, г. Познань) поздравил журнал с юбилеем и пожелал творческих успехов коллективу, а также вручил поздравительные адреса от Польской Академии наук; Главного Совета Европейского экологического общества; Института научных исследований и экспертиз.

Получены поздравления также от В. Д. Гуськова, главного конструктора конструкторского комплекса № 1 Конструкторского бюро специального машиностроения из Санкт-Петербурга.

Участники заседания выступили с информацией об итогах и перспективах развития журнала: об актуальности вопроса о входе журнала в международные наукометрические базы данных, о мерах по увеличению подписки.

Для повышения популярности журнала предлагалось шире рекламировать журнал в других изданиях, искать информационных партнеров, размещать их баннеры на сайте.

Следующий год объявлен Годом экологии и журнал должен участвовать в мероприятиях по этому поводу, в частности, выпуская целевые номера, например, по опыту работы Газпрома или других крупных компаний.

Журнал должен способствовать повышению статуса дисциплины БЖД. Наблюдающееся уменьшение часов по БЖД в вузах снижает уровень обучения бакалавров, в результате не готовых к работе по обеспечению безопасности на производстве.

Было поставлено вопрос о создании научно-методического Совета по БЖД.

В заключение главный редактор журнала О. Н. Русак проинформировал участников совещания о сокращении

числа поступающих в журнал статей и призвал членов редсовета и редколлегии более активно участвовать в подготовке статей в качестве авторов и организаторов публикаций соискателей ученых степеней или других авторов по актуальным проблемам БЖД и ЗОС. Предложил ежегодно проводить ротацию членов редсовета и редколлегии. Озвучил предварительный список кандидатов на включение в состав редсовета или редколлегии. Условием включения стало опубликование в журнале двух статей о решении проблемных вопросов в области БЖД.

Участники заседания решили:

1. Обратиться в ВАК с просьбой расширить тематическую направленность журнала включением группы специальностей 03.02.00 — Общая биология и науки 25.00.00 — Науки о земле.

2. Содействовать подписке на журнал, разъясняя его научно-практический и учебно-методический характер, что имеет особое значение для студентов и преподавателей учебных заведений. Обратиться к ректорам вузов с просьбой подписываться на журнал. Просить руководителей отделений Ассоциации специалистов и преподавателей (Агошкова А. И., Алборова И. Д., Красногорскую Н. Н., Малаяна К. Р., Шварцбурга Л. Э. и др.) провести организационную работу в соответствующих федеральных округах с целью популяризации журнала и увеличения подписки.

3. Считать основным направлением деятельности редсовета и редколлегии журнала подготовку собственных статей и организацию не менее двух в год публикаций соискателей ученых степеней или других авторов по актуальным проблемам БЖД, ЗОС и др.

4. Ежегодно проводить ротацию состава редсовета и редколлегии на основе критериев организационной и творческой активности.

*Редакция журнала*

**Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"**

**ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромьинский 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 *Т. В. Пчелкина*

Сдано в набор 03.03.16. Подписано в печать 14.04.16. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ516.

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](http://www.aov.ru)