

ристовується вектор вагових коефіцієнтів  $w_{ij}^{(1)}$  та  $w_i^{(2)}$ , а в якості фітнес-функцій використано критерій (3).

### 5. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Для вирішення задачі прогнозу концентрації метану було проаналізовано існуючі методи прогнозу, серед яких найбільшу ефективність показали нелінійні методи, а саме — ШНМ.

2. Для підвищення якості прогнозу було обрано розподілену мережу прямого розповсюдження із затримкою у часі distributed TLFN, та, на основі експериментів, було визначено структуру її моделі. В якості критерію ефективності обраної моделі ШНМ було обрано такі показники як швидкість навчання, точність прогнозу. Експерименти показали, що при десяти скритих нейронах та при використанні генетичного алгоритму в якості інструмента навчання обрана мережа навчається значно швидше, і дає результати прогнозу з достовірністю 90 %, що на 10 % більше у порівнянні з іншими ШНМ.

### Література

1. Брюханов, А. М. Создание современной системы комплексной безопасности [Текст]: сб. науч. тр. МакНИИ / А. М. Брюханов, Ю. А. Иванов, С. М. Силаков // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. — Макеевка-Донбасс, 2007. — Вып. 20. — С. 7–15.
2. Радченко, В. В. Перспективы повышения уровня промышленной безопасности угольных шахт при использовании системы диспетчерского контроля (УТАС) [Текст] / В. В. Радченко, Н. В. Малеев, А. А. Мартынов, В. С. Захаров, В. А. Шевцов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — № 2(12). — С. 32–44.
3. Тихонов, Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка [Текст]: учеб. пособие / Э. Е. Тихонов. — Невинномысск, 2006. — 221 с.
4. Box, G. E. P. Time Series Analysis: Forecasting and Control [Text] / G. E. P. Box, G. M. Jenkins, G. C. Reinsel. — Ed. 4. — Prentice Hall, 2008. — 810 p.
5. Webb, A. R. Statistical Pattern Recognition [Text] / A. R. Webb. — Ed. 2. — John Wiley & Sons Ltd., 2002. — 495 p. doi:10.1002/0470854774

6. Лукашин, Ю. Л. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования [Текст]: учеб. пособие / Ю. Л. Лукашин. — М.: Финансы и статистика, 2003. — 416 с.
7. Park, J. Evaluation of an energy-based approach and a critical plane approach for predicting constant amplitude multiaxial fatigue life [Text] / J. Park, D. Nelson // International Journal of Fatigue. — 2000. — Vol. 22, № 1. — P. 23–39. doi:10.1016/s0142-1123(99)00111-5
8. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг. — 2-е изд. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. — 1408 с.
9. Федоров, Е. Е. Разработка способа прогноза содержания взрывоопасных газов в горных выработках [Текст] / Е. Е. Федоров, Ю. Л. Дикова // Научные работы Донецкого национального технического университета. Серия: Обчислювальна техніка та автоматизація. — 2015. — № 1(28). — С. 97–104.
10. Дикова, Ю. Л. Разработка нейросетевого способа диагностики шахтного оборудования [Текст] / Ю. Л. Дикова, Е. Е. Федоров // Бионика интеллекта. — 2015. — № 1(84). — С. 80–84.

### РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО СПОСОБА ПРОГНОЗА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Рассмотрены и проанализированы существующие методы прогноза содержания метана. Исходя из основных преимуществ и недостатков, разработан и реализован нейросетевой способ прогноза, в основу которого положена распределенная сеть прямого распространения с задержкой во времени (distributed TLFN). Архитектура определена на основе проведенных экспериментов. Критерием выбора архитектуры было минимальное значение MSE.

**Ключевые слова:** прогноз, нейронная сеть, distributed TLFN, идентификация структуры и параметров сети, среднеквадратичная ошибка.

*Дикова Юлия Леонидовна, аспирант, кафедра компьютерных наук, Донецкий национальный технический университет, Красноармейск, Украина, e-mail: juli.dikova@gmail.com.*

*Дикова Юлия Леонидовна, аспирант, кафедра компьютерных наук, Донецкий национальный технический университет, Красноармейск, Украина.*

*Dikova Yulya, Donetsk National Technical University, Krasnoarmiysk, Ukraine, e-mail: juli.dikova@gmail.com*

УДК 621.386:616-073.7(045)

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51248

**Арлова Н. И.,  
Мастыкаш Ю. И.,  
Машкин В. И.,  
Машкина И. В.**

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО СИТУАЦИОННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*В работе предлагается подход для исследования надежности работы оператора в условиях повышенной ситуационной напряженности с точки зрения теории надежности. В качестве модели предлагается модель цепи со слабым звеном. Обосновывается, что слабым звеном есть функциональная система дыхания и система психофизиологических функций. Приводится итерационная процедура работы программного комплекса для исследования надежности работы оператора.*

**Ключевые слова:** надежность работы оператора, математическая модель функциональной системы дыхания, повышенное ситуационное напряжение.

### 1. Введение

Природные свойства нервной системы, способности, черты характера, уровень развития когнитивной,

эмоционально-коммуникативной и регуляторной сфер, готовность к деятельности — все это свойства различного порядка и их необходимо учитывать при решении проблем, связанных с надежностью работы водителей

военного транспорта и летчиков в условиях повышенной ситуационной напряженности, потому что их ошибки могут не только не решить поставленную задачу, но и стоить жизни не только им одним [1]. Очевидно, что подобные виды работ требуют собранности и выносливости, возможности быстрого восстановления. Поэтому актуальным является оценить надежность работы операторов системы «человек — машина» при выполнении ими работы в условиях повышенной ситуационной напряженности.

## 2. Анализ литературных данных

При большинстве исследований регистрируются ЭЭГ, ЭКГ, КРР и дыхание [2]. В работе [3] отмечалось, что наиболее информативными показателями тренированности летчиков являются частота сердечных сокращений, величина резервного внимания летчиков, объем легочной вентиляции, зажим ручек управления. В работе [4] с целью эффективной оценки степени работоспособности оператора были предложены комплексные методы, включающие оценивание: качества здоровья, включая интегральную оценку [5]: специальных операторских возможностей на определенный момент времени; трудоспособности в экстремальных условиях окружающей среды; восстановления после утомления; скрытых функциональных резервов; способности адаптироваться к новым условиям и повышенным нагрузкам и т. д.

Применяя системный подход, инженерная психология использует широкий арсенал методов и конкретных методик, разработанных как в психологии труда, так и в смежных отраслях знаний (физиологии, кибернетике, математике и т. д.). Одним из таких методов является имитационное моделирование, позволяющее получить информацию о деятельности человека в динамике его работы при разнообразных внешних и внутренних возмущениях.

Инженерная психология отдельно выделяет системы непрерывного взаимодействия, к которым принадлежат системы типа «человек — автомобиль» [1]. Работа операторов, управляющих движением объекта имеет характерные особенности, которые обусловлены значительной скоростью передвижения объектов, внезапным возникновением критических ситуаций, значительной вероятностью изменения параметров окружающей среды и т. д. Для операторов, находящихся на самом объекте большое значение имеет состояние эмоциональной напряженности во время их деятельности. К тому же они зависят от таких факторов как ускорение, изменение давления, температуры, вибрации, колебания, шум и т. д. Кроме того, операторы в определенных условиях должны работать в специальном снаряжении и находиться в малогабаритных помещениях. В частности это касается летчиков и водителей танков и бронемашин. Полностью очевидно, что сама система непрерывного взаимодействия предъявляет повышенные требования к состоянию здоровья и физической подготовке операторов. Решить эту проблему исключительно за счет медицинского обследования не представляется возможным потому, что при современных диагностических методах невозможно получить ряд показателей, характеризующих функциональное состояние организма, в частности напряжение кислорода в тканях мозга.

## 3. Объект, цель и задачи исследования

*Цель работы* — предложить подход для оценки надежности работы военных — операторов в системах «человек — машина» в условиях повышенной ситуационной напряженности. *Объектом исследования* является функциональная система дыхания человека.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Применить методы теории надежности к объектам живой природы и представить функциональную систему дыхания человека в виде модели, которую можно исследовать с точки зрения надежности.
2. Исследовать построенную модель системы дыхания качественно.
3. Для численного анализа модели построить программный комплекс.

## 4. Построение математической модели надежности работы оператора в условиях повышенной ситуационной напряженности

Анализируя задачи теории надежности сложных систем [6] и методы их решения [7] применительно к объектам живой природы, в частности к организму человека, можно утверждать, что все они правильно описывают процессы, протекающие в популяции, в обществе, для оценки надежности коллективных действий, однако, применение этих методов к оценке параметров (характеристик) надежности конкретных субъектов связано с определенными ограничениями, представленными ниже.

Живые системы, как сложные системы, следует относить к последовательно-параллельным [8]. В живых системах некоторые функции если не полностью, то хотя бы частично могут быть восполнены за счет более напряженной работы других систем (депонирование крови, эритропоз, локальные и центральные механизмы регуляции системы дыхания и т. д.).

В работе [9] рассматривается модель отказов для живой системы и обосновывается, что структурно-функциональную схему системы дыхания для определения ее надежности следует представить в виде последовательной цепи, где в качестве отдельных элементов рассматриваются подсистемы внешнего дыхания, легочного кровообращения, сердечной деятельности и сосудистой системы, системы регуляции и системы крови.

Выяснению природы механизмов организма, обеспечивающих достаточно надежный уровень работы всех его функциональных систем и организма в целом способствуют исследования на математических моделях в частности функциональной системы дыхания [10–13], для создания которых современная физиология располагает достаточным объемом знаний о процессах дыхания и кровообращения.

В частности, давно известно об устойчивости организма человека и его функциональной системы дыхания к внутренним и внешним возмущениям. Математическое моделирование основной функции системы дыхания не только подтвердило эти свойства, а и раскрыло механизмы его проявления. Свойство устойчивости процесса дыхания и кровообращения является очень важным при обеспечении надежности функциональной системы дыхания. Обладая этим свойством, процесс обеспечения

транспорта кислородом и вывода отработанного углекислого газа при кратковременном или постоянно действующем внутреннем или внешнем возмущении входит в область относительного равновесия, при котором скорость доставки кислорода (вывода углекислого газа равна скорости его потребления (образования). То есть происходит краткосрочная или среднесрочная адаптация организма к возмущению [9]. При этом надежность функциональной системы дыхания сохраняется на высоком уровне. Но это происходит лишь тогда, когда возмущающее воздействие не приводит к снижению напряжений кислорода в тканях до уровней ниже критических. С точки зрения модели цепи, возмущающие воздействия не превосходят прочность звена цепи. Модель показывает, что процесс устойчив для достаточно широкого диапазона возмущений и может поддерживаться пассивными механизмами регуляции — оксигемоглобином, миоглобином и др. Однако устойчивость процесса является только необходимым, но не достаточным свойством системы поддерживать надежность исполнения своей функции. Установлено, что для надежной работы отдельных органов и тканей необходим высокий уровень среднего напряжения кислорода в нем. В частности, для тканей мозга этот показатель составляет 32–33 мм рт. ст. Механизм поддержания устойчивости процесса дыхания может только до определенного уровня возмущающего воздействия поддерживать такой уровень за счет биохимических регуляторов. Высокий уровень кислородного гомеостаза в тканях обеспечивается активными механизмами саморегуляции — выбором соответствующих возмущению вентиляции, минутного объема крови, распределения его по тканевым регионам в соответствии с их потребностями в кислороде. При этом происходит автоматическое разрешение конфликтной ситуации, возникающей в определенных условиях между метаболическими потребностями дыхательной и сердечной мышц, участвующих в обеспечении процесса массопереноса газов и тканями работающих органов [14]. Эти механизмы не столько поддерживают устойчивость процесса дыхания и кровообращения, сколько создают условия для нормального выполнения функций системой при изменении условий жизнедеятельности, т. е. способствуют поддержанию надежности на достаточно высоком уровне. Механизмы активной регуляции процесса дыхания и кровообращения являются механизмами адаптации организма к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды.

Как краткосрочная, так и среднесрочная адаптация и их совместное воздействие не при всех условиях жизнедеятельности могут гарантировать высокую надежность функционирования организма при различных видах деятельности. Одной из причин этого могут быть психофизиологические и структурно-морфологические особенности каждого человека. Также важной является способность организма к долгосрочной адаптации. На этом этапе происходят изменения в структурах подсистем, отдельных органах, меняются коэффициенты чувствительности организма к гипоксии и гиперкапнии. Итак, характеризуя механизмы организма, способствующие повышению уровня надежности работы функциональной системы дыхания и надежности целостного организма при выполнении им определенных действий для достижения цели, следует выделить механизмы, под-

держивающие устойчивость процессов краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной адаптации, механизмы центральной, локальной и гуморальной регуляции, устойчивости психофизиологических функций.

Очевидно, что высокая надежность работы оператора в целом может поддерживаться только при условии надежности функционирования всех систем организма — дыхания и кровообращения, терморегуляции, иммунной, центральной и периферической нервной системы [8]. Если предположить, что все системы организма функционируют нормально, то надежность в значительной степени зависит от возможностей системы дыхания и кровообращения обеспечить соответствующий уровень метаболизма в тканях. Что касается степени напряженности механизмов регуляции функциональной системы дыхания, объективная сложность получения экспериментальных данных о механизмах регуляции системы внешнего дыхания и гемодинамики может быть в какой то степени компенсирована за счет проведения численных экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение функциональной системы дыхания при различных внешних и внутренних возмущениях.

Изменение интенсивности напряженной операторской деятельности однозначно можно связать с изменением скорости потребления кислорода  $q_t O_2$  тканями мозга, дыхательного коэффициента  $RQ$  и скорости выделения углекислого газа  $q_t CO_2$ . В качестве параметров, характеризующих состояние исследуемого объекта могут выступать напряжения кислорода  $p_{ti} O_2$  и углекислого газа  $p_{ti} CO_2$  в тканях организма и  $p_{cti} O_2$ ,  $p_{cti} CO_2$  в крови их омывающей. Однако текущий уровень  $p_{ti} O_2$ ,  $p_{ti} CO_2$ ,  $p_{cti} O_2$ ,  $p_{cti} CO_2$  будет существенно зависеть от величины объемной скорости локального кровотока  $Q_{ti}$ , легочной и альвеолярной вентиляции  $\dot{V}$  и тонуса гладких мышц сосудов. Для оценки состояния функциональной системы дыхания будем использовать математическую модель транспорта респираторных газов и регуляции основной функции системы дыхания и кровообращения [11]. Данная математическая модель реализована в составе программного комплекса [15].

Итерационная процедура применения предложенного математического и программного обеспечения имеет следующий вид:

1. На основе инструментального обследования получаем экспериментальные данные, необходимые для расчета кислородных режимов организма и модели статистики [10]. В результате получаем данные об экономичности, эффективности, интенсивности кислородных режимов организма, некоторые данные о кислотно-основном и гипоксическом состоянии организма, кислороде крови и сердечной деятельности.

2. На вход модели динамики [11] поступает информация, полученная в результате экспериментального исследования и работы модели статистики (напряжения респираторных газов в артериальной крови, содержание гемоглобина, скорость потребления кислорода организмом, скорость системного кровотока, регионарные кровотоки). На модели рассчитываются напряжения респираторных газов в тканях работающих органов.

3. Эти данные позволяют сделать вывод об адаптации организма к тем или иным возмущающим воздействиям и таким образом судить о надежности функциональной системы дыхания.

## 5. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Построена математическая модель надежности работы оператора в условиях повышенной ситуационной напряженности в качестве модели цепи со слабым звеном.

2. При качественном анализе модели выявлено, что слабым звеном при действии на организм оператора условий повышенной ситуационной напряженности является функциональная система дыхания.

3. Показано, что надежность функциональной системы дыхания, регламентирующей работоспособность организма в целом обеспечивается механизмами устойчивости и адаптации к различным внешним и внутренним возмущающим воздействиям.

## Литература

- Трофімов, Ю. Л. Інженерна психологія [Текст] / Ю. Л. Трофімов. — К.: Либідь, 2002. — 294 с.
- Иванов-Муромский, К. А. Психофизиология оператора в системах человек — машина [Текст] / под ред. К. А. Иванова-Муромского. — Киев: Наукова думка, 1980. — 344 с.
- Жевчина, А. И. О методах оценки психофизиологических возможностей летчика [Текст] / А. И. Жевчина, В. Г. Кузнецов // Проблемы инженерной психологии и эргономики. — 1974. — Вып. 2. — С. 59–60.
- Білошицький, П. В. Результати вивчення вищої нервової діяльності українськими вченими в Приельбруссі [Текст] / П. В. Білошицький, О. М. Ключко, Ю. М. Онопчук, А. З. Колчинська // Вісник НАУ. — 2009. — № 2. — С. 105–115.
- Аралова, Н. И. Модели данных и алгоритмы их обработки при построении интегральных оценок надежности и работоспособности спортсменов [Текст] / Н. И. Аралова, В. И. Вишенский, Ю. Н. Онопчук // Компьютерная математика. — 2013. — № 1. — С. 151–160.
- Ллойд, Д. К. Надежность: организация исследований, методы, математический аппарат [Текст] / Д. К. Ллойд, М. Липов. — М.: Сов. радио, 1964. — 699 с.
- Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности [Текст] / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. — М.: Наука, 1965. — 524 с.
- Білошицький, П. В. Математичні методи дослідження проблеми надійності функціонування організму за екстремальних умов високогір'я [Текст] / П. В. Білошицький, Ю. М. Онопчук, Д. І. Марченко, Н. І. Аралова // Фізіологічний журнал. — К., 2003. — Т. 49, № 3. — С. 139–143.
- Онопчук, Ю. Н. К вопросу о надежности функциональных систем организма [Текст] / Ю. Н. Онопчук, П. В. Белошицкий, Н. И. Аралова // Кибернетика и вычислительная техника. — 1999. — Вып. 122. — С. 72–82.
- Аралова, А. А. Автоматизированная информационная система функциональной диагностики спортсменов [Текст] / А. А. Аралова, Н. И. Аралова, Л. А. Ковальчук-Химюк, Ю. Н. Онопчук // Управляющие системы и машины. — 2008. — № 3. — С. 73–78.
- Онопчук, Ю. Н. Гомеостаз функциональной системы дыхания как результат внутрисистемного и системно-средового информационного взаимодействия [Текст] / Ю. Н. Онопчук и др. // Биозомедицина. Единое информационное пространство. — Киев, 2001. — С. 59–81.
- Новосельцев, В. Н. Теория управления и биосистемы [Текст] / В. Н. Новосельцев. — М.: Наука, 1978. — 319 с.
- Dickinson, C. J. A computer model of human respiration [Text] / C. J. Dickinson. — Lancaster: Medical and Technical Publishing, 1977. — 294 p.
- Полинкевич, К. Б. Конфликтные ситуации при регулировании основной функции системы дыхания организма и математические модели их разрешения [Текст] / К. Б. Полинкевич, Ю. Н. Онопчук // Кибернетика. — 1986. — № 3. — С. 100–104.
- Білошицький, П. В. Математичне прогнозування стану борця в поєдинку [Текст] / П. В. Білошицький, Ю. М. Онопчук, Н. І. Аралова, Б. А. Подліваєв // Спортивна медицина. — Київ, 2009. — № 1–2. — С. 55–59.

## ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОПЕРАТОРА В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОЇ СИТУАЦІЙНОЇ НАПРУГИ

В роботі пропонується підхід для дослідження надійності роботи оператора в умовах підвищеної ситуаційної напруги з точки зору теорії надійності. В якості моделі пропонується модель ланцюга зі слабкою ланкою. Обґрунтовується, що слабкою ланкою є функціональна система дихання і система психофізіологічних функцій. Наводиться ітераційна процедура роботи програмного комплексу для дослідження надійності роботи оператора.

**Ключові слова:** надійність роботи оператора, математична модель функціональної системи дихання, підвищена ситуаційна напруга.

*Аралова Наталія Ігорівна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна.*

*Мастыкаш Юрій Іванович, молодший науковий співробітник, Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна.*

*Машкин Валерій Йосифович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна.*

*Машкина Ірина Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних технологій та математических дисциплін, Київський університет ім. Б. Грінченка, Україна, e-mail: mashkina.iv@gmail.com.*

*Аралова Наталія Ігорівна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна.*

*Мастыкаш Юрій Іванович, молодший науковий співробітник, Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна.*

*Машкин Валерій Йосифович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна.*

*Машкина Ірина Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних технологій та математических дисциплін, Київський університет ім. Б. Грінченка, Україна.*

*Aralova Nataliya, V. M. Glushkov Institute of Cybernetic of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.*

*Mastykash Yuri, V. M. Glushkov Institute of Cybernetic of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.*

*Mashkin Valery, V. M. Glushkov Institute of Cybernetic of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.*

*Mashkina Irina, Borys Grinchenko Kyiv University, Ukraine, e-mail: mashkina.iv@gmail.com*