

**Н.Л. Вишнеvская, К.А. Черный, Л.В. Плахова**

**МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ  
ОПЕРАТОРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ  
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО  
ФАКТОРА**

*Современная мировая тенденция роста доли высоких технологий высветила проблему надежности человека-оператора, как одного из элементов сложной системы управления. Такая ситуация вынуждает разработчиков современной промышленной техники рассматривать «человеческий фактор» как центральный при обеспечении безопасности. существующих методиках при оценке показателей риска учитываются факторы, характеризующие только надежность оборудования, а надежность персонала априори принимается за 100 %. Выполненные физиологические обследования операторов в производственных условиях, в течение рабочих смен свидетельствуют о развитии тормозных процессов у человека как в процессе дневных, так и ночных смен. В связи с указанным, важным разделом является обоснование способов совершенствования труда операторов для обеспечения надежности и безошибочности действий. Так, современные исследования свидетельствуют, что возникновение и развитие напряженности и синдрома монотонии у операторов в процессе трудовой деятельности. Проведенные нами исследования показали, что при выполнении трудовых операций к концу рабочих смен у операторов развивается утомление, но, включая волевые усилия, активизируя внимание, сосредоточенность, целенаправленность действий по выполнению задания, операторы адекватно выполняют работы по управлению технологическим процессом. Следовательно, физиологические механизмы восстановления функций организма следует начинать с оптимизации внутрисменного режима труда и отдыха. Необходимость этого определяется переходом трудовой деятельности на 12-часовую рабочую смену, данными физиолого-гигиенических исследований и наличием ошибочных действий. Нами обоснована методика внутрисменного отдыха для дневных и ночных смен с внедрением технологических графиков перерывов по типу: микропауз с рекомендацией по восстановлению функционального состояния организма работающих.*

*Человек-оператор высокотехнологичных производственных комплексов; надежность персонала; санитарно-гигиенические факторы труда; монотония; факторы малой интенсивности.*

**N.L. Vishnevskaya, K.A. Chernyy, L.V. Plakhova**

**METHODS FOR DESCRIBING THE PSYCHO-PHYSIOLOGICAL  
CHARACTERISTICS OF THE AUTOMATED SYSTEMS OPERATORS  
FOR MODELING THE HUMAN FACTOR PROCESSES**

*Modern global trend of high technology development has highlighted the problem of reliability of a human operator as one of the elements of a complex control system. This situation forces the developers of modern industrial technology to consider the "human factor" as central in providing security. Existing procedures in assessing the risk factors takes into account the factors which characterize only the equipment reliability and the human reliability is priori assumed to be 100%. Completed physiological survey of operators in a production environment indicates the development of inhibitory processes in humans during both day and night shifts. Thus, an important section of the study is a substantiation of the ways for improving the operators' work in order to provide secure and error-free actions. For example, recent studies show the emergence and development of tension and monotony syndrome among operators in the course of employment. Our studies have shown that when the labor operations come to an end a fatigue develops in operators, but with a willful effort, activating attention to the actions, operators can adequately perform their work. Consequently, the physiological mechanisms of recovery of body functions should start with optimization of work and rest. The need for this is determined by the transition to*

*the 12-hour working shift, the data of physiological and hygienic studies and the presence of erroneous actions. We have proved the method for having rest during the day and night shifts with the introduction of technological interruptions schedules by the following type: micropauses with recommendations for the restoration of the functional state of the body working.*

*Human operator of high-tech production facilities; personnel reliability; hygiene factors of work; monotonous; low-intensity factors.*

**Введение.** Современная мировая тенденция роста доли высоких технологий высветила проблему надежности человека-оператора, как одного из элементов сложной системы управления [1–5, 21, 22]. В научной литературе отмечается, что доля человеческих ошибок, ведущих к нарушениям технологического режима в различных отраслях промышленности составляет 90 % и более. В атомной энергетике она колеблется от 70 до 90 %. Мировой опыт показывает, что из-за ошибок человека на разных видах транспорта в наше время возникает 40–80 % всех происшествий. Так, за тридцать лет с 1960 по 1990 доля человеческих ошибок в развитии аварийных ситуаций выросла в 4 раза (с 20 до 80 %). По данным компании «Honeywell», типовой нефтеперерабатывающий завод (мощностью 10 млн. тонн нефти в год) теряет только от аварий из-за ошибок операторов в среднем 4 млн. долл. в год, а 40 % аварий и инцидентов происходит непосредственно из-за ошибок операторов [2, 3, 10, 11, 20].

Вместе с тем, установлено, что надежность механического и электронного оборудования за прошедшие 30 лет значительно возросла за счет совершенствования важнейших автоматизированных системы управления и контроля, которые дублируются, и даже трехкратно резервируются (современные аэробусы, АЭС). При этом следует отметить, что природа человека, его психические и физиологические функции, показатели умственной работоспособности и скорость его реагирования остались неизменными (рис. 1) [2, 3].

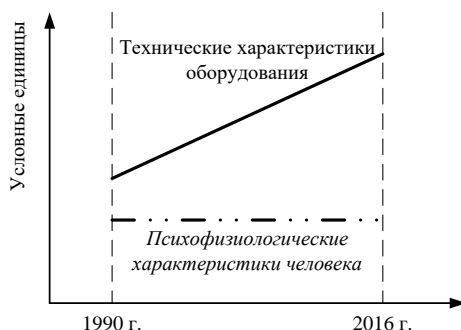


Рис. 1. Динамика производственных технических характеристик оборудования и психофизиологических характеристик человека

Такая ситуация вынуждает разработчиков современной промышленной техники рассматривать «человеческий фактор» как центральный при обеспечении безопасности. При этом, отмечается, что скрытые недостатки в элементах системы безопасности могут образовать взаимосвязанную цепь событий и таким образом вызвать неуправляемую аварийную ситуацию [6–9].

Ситуация остается нерешенной еще и потому, что в существующих методиках при оценке показателей риска учитываются факторы, характеризующие только надежность оборудования, а надежность персонала априори принимается за 100 %. Однако, известно, что надежность персонала, особенно в условиях аварийного режима работы, далека от 100 % [12–15].

Одновременно существует гипотеза, что человек не воспринимает вероятности порядка  $10^{-6}$ , т.е. когда вероятность неблагоприятного исхода составляет один шанс из миллиона, следовательно, важным элементом деятельности является необходимость труда в условиях постоянного эмоционального напряжения, особенно в течение 12-часовой рабочей смены. В своей деятельности человек-оператор сложных систем управления сталкивается с рядом негативных факторов: высокое нервно-психическое напряжение, неравномерность информационного потока, гиподинамия, гипокинезия [16–19].

Неблагоприятные условия труда операторов приводят к снижению функциональных резервов организма, снижают профессиональную работоспособность, эффективность и безопасность деятельности способствуют появлению ошибок, созданию аварийных ситуаций.

**Цель и задачи.** В связи с этим, необходимо проведение исследований направленных на выявление и оценку сочетанного влияния факторов «малой интенсивности» производственной среды и трудового процесса на работоспособность и ошибочность действий операторов, а также на создание методов описания психофизиологических особенностей операторов автоматизированных комплексов при моделировании процессов влияния человеческого фактора.

Наши исследования условий трудовой деятельности операторов выполнены на одном из высокотехнологичных предприятий, где пресонкал центрального пульта управления занят в смену по 12 часов.

При такой форме труда существенно возрастает интенсивность и продолжительность интеллектуальных, сенсорных и эмоциональных нагрузок, что является предпосылкой для нервно-психического и эмоционального перенапряжения. При редко поступающей информации, когда оператор находится в состоянии ожидания, труд носит монотонный характер и требует постоянной концентрации внимания. Это состояние усугубляется длительной вынужденной рабочей позой "сидя" в неудобных, с эргономических позиций, рабочих креслах и неудобном размещении экранов мониторов, что в совокупности ведет к ускорению развития утомления. Неблагоприятное воздействие обеспечивает и комплекс факторов производственной среды «малой интенсивности», среди которых следует отметить пониженную влажность, повышенную на 2–3 °С температуру воздуха, неблагоприятную аэроионную обстановку [8, 9].

Синдром монотонии при недостаточной двигательной активности (*гипокинезия*) и эмоциональном напряжении следует рассматривать как состояние хронического стресса, которое становятся причинами нервно-психических расстройств у операторов и создает предпосылки к ошибкам, в результате которых может возникнуть аварийная ситуация, а при длительном воздействии может способствовать развитию соматической патологии. В частности, в первую очередь формируется, так называемый, «метаболический синдром», сопровождающийся увеличением массы тела [8, 9].

Выполненные физиологические обследования операторов в производственных условиях, в течение рабочих смен свидетельствуют о понижении артериального давления, урежении частоты дыхания и частоты сердечных сокращений, то есть объективно подтверждено развитие тормозных процессов у человека как в процессе дневных, так и ночных смен. При этом ни один отдельно взятый физиологический или психологический показатель не может гарантировать точного определения момента наступления состояния сонливости, представляющего опасность для специфической деятельности операторов.

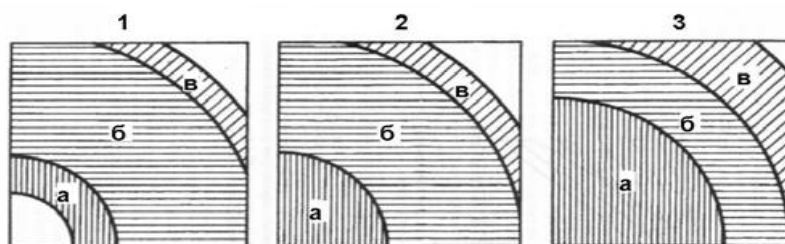


Рис. 2. Структурно-динамическая характеристика функциональных резервов оператора: 1 – Оптимальное состояние; 2 – состояние напряжения; 3 – состояние истощения.; а – регуляция функций; б – вегетативное обеспечение; в – психофизиологическое обеспечение

Таким образом, подтверждаются закономерности, выявленные Ушаковым И.Б., Шалимовым П.М. 1996, которые демонстрируют изменения характеристик функционального состояния организма в пользу наиболее затратного с физиологической точки зрения психо-физиологического обеспечения функций.

С другой стороны, необходимость вмешательства в управление при внезапном возникновении значимого рассогласования в системе заставляет оператора постоянно поддерживать на достаточно высоком уровне состояние готовности к экстренному действию. Произвольная регуляция готовности к экстренному действию в условиях монотонии и гиподинамии достигается ценой значительных нервных нагрузок и психического напряжения. Таким образом, следует отметить высокую «физиологическую цену» трудовой деятельности операторов.

В условиях монотонии человек должен время от времени волевым усилием преодолевать состояние пониженной активности. Эти периодические повышения активности сопряжены с затратой как энергетических, так и функциональных ресурсов и способствуют более быстрому развитию утомления. Состояние монотонии характеризуется также ухудшением рабочих действий, замедлением их и увеличением ошибок в работе.

Проведенные нами исследования показали, что при выполнении трудовых операций к концу рабочих смен у операторов развивается утомление, но, включая волевые усилия, активируя внимание, сосредоточенность, целенаправленность действий по выполнению задания, операторы достаточно адекватно выполняют работы по управлению технологическим процессом, но при этом наблюдается рост ошибочных действий, особенно в ночные смены.

Психо-физиологические характеристики у операторов изучали в двух группах, разделенных по возрасту – до 35 и после 35 лет. Исследования проводились в начале и по окончании рабочих смен. Как следует из данных таблицы, скорость простой слухо-моторной реакции у работников первой группы, практически, не претерпевала различий во время смены, а у работников второй группы незначительно возрастала от 10 мс до 80 мс во всех возрастных группах почти одинаково, а в некоторых случаях во второй возрастной группе она выше.

Таблица 1

**Психо-физиологические характеристики операторов в ходе дневных и ночных смен**

возраст	Период смены	Зрительно-моторная реакция, мс	Слухо-моторная реакция, мс	Дифференцировка и помехоустойчивость	Устойчивость внимания и ошибочность действий
1-я возраст. группа	Начало раб. смены	362±2	206±3	Общий объем: 2308±7 Ошибки – 12%	Общий объем: 406±2 Ошибки – 6
	Окончание раб. смены	296±1,5	196±2	Общий объем: 2048±6 Ошибки – 8%	Общий объем: 496±4 Ошибки – 7,7
2-я возраст. группа	Начало раб. смены	488±2	208±2,5	Общий объем: 3801±10 Ошибки – 9%	Общий объем: 380±4 Ошибки – 4
	Окончание раб. смены	542±3	286±2	Общий объем: 2794±8 Ошибки – 9,7%	Общий объем: 458±3 Ошибки – 6,7
1-я возраст. группа	Начало раб. смены	303±2	192±2,5	Общий объем: 2200±10 Ошибки – 9%	Общий объем: 570±4 Ошибки – 5
	Окончание раб. смены	267±1	191±2	Общий объем: 1601±5 Ошибки – 10%	Общий объем: 621±5 Ошибки – 9
2-я возраст. группа	Начало раб. смены	347±2	181±1,5	Общий объем: 3360±9 Ошибки – 6%	Общий объем: 424±2 Ошибки – 2,5
	Окончание раб. смены	514±3	198±3	Общий объем: 2478±7 Ошибки – 14,5%	Общий объем: 450±3 Ошибки – 4,5

Как известно, психическое напряжение и функциональное состояние человека определяются одними и теми же факторами. Поэтому выполненные нами исследования подтверждают данные положения (табл. 1).

Попытки преодоления монотонии за счет превышения критического уровня активизации ведут к снижению результатов труда вплоть до полной утраты работоспособности, поэтому чрезмерные формы психического напряжения обозначаются как запредельные. Нормальная нагрузка (эмоциональная стимуляция) оператора не должна превышать 40–60 % и только в кризисных ситуациях (кратковременно) она может возрасти до 80 % максимальной нагрузки, т.е. нагрузки до предела, когда наступает снижение работоспособности [3].

В связи с указанным, важным разделом является обоснование способов совершенствования труда операторов для обеспечения надежности и безошибочности действий.

Так, современные исследования свидетельствуют, что возникновение и развитие напряженности и синдрома монотонии у операторов в процессе трудовой деятельности зависит не только от личностных психофизиологических характеристик работников, но, во многом определяется комплексом факторов производственной среды, нормализация которых может рассматриваться в качестве механизма минимизации неблагоприятных воздействий и способа профилактики монотонии.

Среди этих факторов следует признать важность санитарно-гигиенических параметров производственной среды, эргономической и эстетико-дизайнерской характеристик производственных помещений и рабочих мест.

Основное отрицательное последствие монотонии и гипокинезии – детренированность как отдельных систем (мышечной и сердечно-сосудистой), так и организма в целом. В результате детренированности функциональные системы организма (и в первую очередь – сердечно-сосудистая система) становятся менее устойчивыми к отрицательному влиянию нейрогуморальных воздействий в ситуациях сильного психо-эмоционального напряжения. Это, вероятно, и является одной из причин существенного возрастания сердечно-сосудистых заболеваний в данной профессиональной группе, о чем мы упоминали в публикациях ранее [8, 9].

В связи с наличием различных гипотез о физиологических механизмах состояния монотонии целесообразно отметить два основных признака – многократную повторяемость поступающих при работе внешних раздражений и ограниченное число самих раздражений.

**Выводы.** Проведенные нами исследования показали, что при выполнении трудовых операций к концу рабочих смен у операторов развивается утомление, но, включая волевые усилия, активируя внимание, сосредоточенность, целенаправленность действий по выполнению задания, операторы адекватно выполняют работы по управлению технологическим процессом.

Следовательно, физиологические механизмы восстановления функций организма следует начинать с оптимизации внутрисменного режима труда и отдыха. Необходимость этого определяется переходом трудовой деятельности на 12-часовую рабочую смену, данными физиолого-гигиенических исследований и наличием ошибочных действий. Нами обоснована методика внутрисменного отдыха для дневных и ночных смен с внедрением технологических графиков перерывов по типу: микропауз (30–60 сек. на рабочем месте), перерывов (5–7 минут вне рабочего места) с рекомендации по восстановлению функционального состояния организма работающих.

Выполненные физиолого-гигиенические исследования подтвердили эффективность данного метода в обеспечении надежности труда операторов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Власов В.Н.* Оценка сочетаемого влияния химических и физических факторов производственной среды и трудового процесса на сердечно-сосудистую систему: автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. – М., 2008. – 48 с.
2. *Шутова С.В., Муравьёва И.В.* Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС // Вестник ТГУ. Сер.: Естеств. и техн. науки. – 2013. – Т. 18. – Вып. 5. – С. 2831-2840.
3. *Дьяченко П.А., Минько В.М.* О необходимости щадящих внутрисменных режимов труда и отдыха работников // Вестник молодежной науки. – 2015. – № 2. – С. 5.
4. *Макарова А.П.* Рекомендации по совершенствованию режимов труда и отдыха (на примере ПАО «Ростелеком») // Экономика и социум. – 2015. – № 6-4. – 19 с.
5. *Violanti J.M., Burchfiel C.M., Hartley T.A.* Atypical work hours and Metabolic Syndrome among police officers // Arch. Environ. Occup. Health. – 2009. – Vol. 64 (3). – P. 194-201.
6. *Suwazono Y., Uetani M., Oishi M., Tanaka K., Morimoto H., Nakada S., Sakata K.* Estimation of the benchmark duration of alternating shift work associated with increased total cholesterol levels among male Japanese workers // Scand J. Work Environ. Health. – 2010. – 36 p.
7. *Virkkunen H., Härmä M., Kauppinen T., Tenkanen L.* Shift work, occupational noise and physical workload with ensuing development of blood pressure and their joint effect on the risk of coronary heart disease // Scand. J. Work Environ. Health. – 2007. – 33 p.

8. Вишневецкая Н.Л., Плахова Л.В., Черный К.А. Методические подходы к оценке условий и определению напряженности труда операторов высокотехнологичных опасных производств // Журнал научных статей «Здоровье и образование в XXI веке». – 2016. – Т. 18, № 8. – С. 69-71.
9. Вишневецкая Н.Л., Плахова Л.В. Способы оценки напряженности труда операторов высокотехнологичных опасных производств и проблемы профессиографирования // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 5, № 12. – С. 6-10.
10. Бодров В.А. Психологические проблемы профессиональной надежности человека-оператора // Психологические проблемы профессиональной деятельности. – М.: Наука, 1991. – С. 111-120.
11. Алонцева Е.Н. Системный анализ деятельности операторов атомной станции в экстремальных ситуациях: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Обнинск, 2006. – 159 с.
12. Демидов Д.Н., Родионов О.Н. Человек в экстремальных условиях: проблемы здоровья, адаптации и работоспособности. – М., 2002. – 126 с.
13. Goode J.H. J. Safety Res. – 2003. – Vol. 34, No. 3. – P. 309-313.
14. Барабанищikov В.А., Ломов Б.Ф. Системный подход к исследованию психики // Психологический журнал. – 2002. – Т. 23, № 4. – С. 27-38.
15. Блазгин А.А. Надежность профессиональной деятельности операторов сложных эргатических систем. – СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2006. – 144 с. ISBN 5-8290-0581-6.
16. Вишневецкая Н.Л. Проблемы обучения будущих руководителей производства и вопросы обеспечения здоровья работающих // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 3. – С. 9-12.
17. Вишневецкая Н.Л. Проблемы оценки надежности в процессе трудовой деятельности // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 9. – С. 28-29.
18. Маркова А.К. Психология профессионализма. – М.: Международный гуманитарный фонд «Знание», 1996. – 225 с.
19. Романова Е.С. 99 популярных профессий. Психологический анализ и профессиограммы. – СПб.: Питер, 2008. – 94 с.
20. Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Денисов Э.И. Оценка профессиональных рисков для здоровья в системе доказательной медицины // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. – 2016. – Т. 1. – С. 14-20.
21. Измеров Н.Ф. Современные проблемы медицины труда России // Медицина труда и экология человека. – 2015. – № 2 (2). – С. 5-12.
22. Бондаренко П.И., Чеховский А.Л. Тестирование скорости сложной зрительно-моторной реакции: программа "Триколон" // Фундаментальные науки и практика. – Томск: Крокус, 2010. – С. 63-64.

## REFERENCES

1. Vlasov V.N. Otsenka sochetanogo vliyaniya khimicheskikh i fizicheskikh faktorov proizvodstvennoy sredy i trudovogo protsessa na serdechno-sosudistuyu sistemu: avtoref. diss. ... d-ra med. nauk [Assessment of joint effects of chemical and physical factors of production environment and labor process in the cardiovascular system: the author's abstract dr. of med. sc. diss.]. Moscow, 2008, 48 p.
2. Shutova S.V., Murav'eva I.V. Sensomotornye reaktsii kak kharakteristika funktsional'nogo sostoyaniya TsNS [Sensorimotor reactions as a characteristic of the functional state of the Central nervous system], *Vestnik TGU. Ser.: Estestv. i tekhn. nauki* [Tambov University Reports. Series Natural and Technical Sciences], 2013, Vol. 18, Issue 5, pp. 2831-2840.
3. D'yachenko P.A., Min'ko V.M. O neobkhodimosti shchadyashchikh vnutrismennykh rezhimov truda i otdykha rabotnikov [About the necessity of sparing vnutrismennykh regimes of work and rest of workers], *Vestnik molodezhnoy nauki* [Journal of youth science], 2015, No. 2, pp. 5.
4. Makarova A.P. Rekomendatsii po sovershenstvovaniyu rezhimov truda i otdykha (na primere PAO «Rostelecom») [Recommendations for improving modes of work and rest (the example of PJSC "Rostelecom")], *Ekonomika i sotsium* [Economy and society], 2015, No. 6-4, 19 p.
5. Violanti J.M., Burchfiel C.M., Hartley T.A. Atypical work hours and Metabolic Syndrome among police officers, *Arch. Environ. Occup. Health.*, 2009, Vol. 64 (3), pp. 194-201.

6. Suwazono Y., Uetani M., Oishi M., Tanaka K., Morimoto H., Nakada S., Sakata K. Estimation of the benchmark duration of alternating shift work associated with increased total cholesterol levels among male Japanese workers, *Scand. J. Work Environ. Health.*, 2010, 36 p.
7. Virkkunen H., Härmä M., Kauppinen T., Tenkanen L. Shift work, occupational noise and physical workload with ensuing development of blood pressure and their joint effect on the risk of coronary heart disease, *Scand. J. Work Environ. Health.*, 2007, 33 p.
8. Vishnevskaya N.L. Plakhova L.V. Chernyy K.A. Metodicheskie podkhody k otsenke usloviy i opredeleniyu napryazhennosti truda operatorov vysokotekhnologichnykh opasnykh proizvodstv [Methodological approaches to assessing the conditions and determining the intensity of work of operators of dangerous high-tech production of production], *Zhurnal nauchnykh statey «Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke»* [Journal of scientific articles "Health & education in the XXI century"], 2016, Vol. 18, No. 8, pp. 69-71.
9. Vishnevskaya N.L. Plakhova L.V. Cposoby otsenki napryazhennosti truda operatorov vysokotekhnologichnykh opasnykh proizvodstv i problemy profesiografirovaniya [Methods of evaluation of the intensity of operators' labor threat of high-tech industries and problems of professionalonline], *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya* [Successes of modern science and education], 2016, Vol. 5, No. 12, pp. 6-10.
10. Bodrov V.A. Psikhofiziologicheskie problemy professional'noy nadezhnosti cheloveka-operatora [Psychophysiological problems of professional reliability of the human operator], *Psikhologicheskie problemy professional'noy deyatel'nosti* [Psychological problems of professional activity]. Moscow: Nauka, 1991, pp. 111-120.
11. Alontseva E.N. Sistemnyy analiz deyatel'nosti operatorov atomnoy stantsii v ekstremal'nykh situatsiyakh: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [The system analysis of activity of operators of nuclear plants to extreme situations: the author's abstract cand. of eng. sc. diss.]. Obninsk, 2006, 159 p.
12. Demidov D.N., Rodionov O.N. Chelovek v ekstremal'nykh usloviyakh: problemy zdorov'ya, adaptatsii i rabotosposobnosti [Man in extreme conditions: health problems, adaptation and efficiency]. Moscow, 2002, 126 p.
13. Goode J.H. J. Safety Res., 2003, Vol. 34, No. 3, pp. 309-313.
14. Barabanshchikov V.A., Lomov B.F. Sistemnyy podkhod k issledovaniyu psikhiki [A systematic approach to the study of the psyche], *Psikhologicheskiy zhurnal* [Psychological journal], 2002, Vol. 23, No. 4, pp. 27-38.
15. Blagin A.A. Nadezhnost' professional'noy deyatel'nosti operatorov slozhnykh ergaticheskikh sistem [Reliability of professional activity of operators of difficult ergatic systems]. St. Petersburg: LGU im. A.S. Pushkina, 2006, 144 p. ISBN 5-8290-0581-6.
16. Vishnevskaya N.L. Problemy obucheniya budushchikh rukovoditeley proizvodstva i voprosy obespecheniya zdorov'ya rabotayushchikh [Problems of training of future managers of production and health working], *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya* [Successes of modern science], 2011, No. 3, pp. 9-12.
17. Vishnevskaya N.L. Problemy otsenki nadezhnosti v protsesse trudovoy deyatel'nosti [The problem of reliability evaluation in the employment process], *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2009, No. 9, pp. 28-29.
18. Markova A.K. Psikhologiya professionalizma [Psychology of professionalism]. Moscow: Mezhdunarodnyy gumanitarnyy fond «Znanie», 1996, 225 p.
19. Romanova E.S. 99 populyarnykh professiy. Psikhologicheskiy analiz i profesiogrammy [99 popular professions. Psychological analysis and job description]. St. Petersburg: Piter, 2008, 94 p.
20. Izmerov N.F., Bukhtiyarov I.V., Denisov E.I. Otsenka professional'nykh riskov dlya zdorov'ya v sisteme dokazatel'noy meditsiny [Evaluating occupational health risks in the system of evidence-based medicine], *Voprosy shkol'noy i universitetskoy meditsiny i zdorov'ya* [Problems of school and University medicine and health], 2016, Vol. 1, pp. 14-20.
21. Izmerov N.F. Sovremennye problemy meditsiny truda Rossii [Modern problems of occupational medicine in Russia], *Meditsina truda i ekologiya cheloveka* [Occupational medicine and human ecology], 2015, No. 2 (2), pp. 5-12.
22. Bondarenko P.I., Chekhovskiy A.L. Testirovanie skorosti slozhnoy zritel'no-motornoj reaksii: programma "Trikolor" [A speed test of complex visual-motor reaction: the program "Tricolor"], *Fundamental'nye nauki i praktika* [Fundamental science and practice]. Tomsk: Krokus, 2010, pp. 63-64.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.П. Тарасов.



**Вишневецкая Нина Леонидовна** – Пермский национальный исследовательский университет; e-mail: charry14@mail.ru; 614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29; тел.: 89082730120; кафедра безопасности жизнедеятельности; д.м.н.; профессор.

**Черный Константин Анатольевич** – e-mail: chernyy\_k@mail.ru; тел.: 89024791211; кафедра безопасности жизнедеятельности; д.т.н.; профессор.

**Плахова Лариса Викторовна** – e-mail: larisa-2570@mail.ru; тел.: 89523364480; кафедра безопасности жизнедеятельности; к.б.н.; доцент.

**Vishnevskaya Nina Leonidovna** – Perm National Research University; e-mail: charry14@mail.ru; 29, Komsomolsky pr., Perm, 614990, Russia; phone: +79082730120; the department of life safety; dr. of med. sc.; professor.

**Chernyi Konstantin Anatolievich** – e-mail: chernyy\_k@mail.ru; phone: +79024791211; the department of life safety; dr. of eng. sc.; professor.

**Plakhova Larisa Viktorovna** – e-mail: larisa-2570@mail.ru; phone: +79523364480; the department of life safety; cand. of biol. sc.; associate professor.

УДК 534

DOI 10.23683/2311-3103-2017-4-270-281

**И.С. Захаров, А.Г. Казанцева, В.Ю. Вишневецкий****ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ГАЛЬВАНОТАКСИСА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МИКРОБИОТЕСТА**

*Изучается перспективный новый вид микробиотестирования – динамика гальванотаксиса инфузорий. Даются пояснения к этому эффекту, как к многократному перемещению популяции инфузорий при изменении полярности электродов. Приводятся материалы, показывающие актуальность и интерес к методу со стороны специалистов в области биотехнологии, токсикологии и юриспруденции. Ставится вопрос о необходимости и сложности математической модели этого метода. Рассматриваются модели, отражающие различные аспекты гальванотаксиса инфузорий, при этом охватывается диапазон научных исследований от XIX до XXI вв. Делается вывод о необходимости создания новой модели с учетом прежних, но имеющую специфику микробиотеста на основе эксперимента, с популяционным движением инфузорий. Эксперимент проводился на спектрофотометре СФ-56, и на держателе кювет для получения сигнала возле электрода. Сформулированы задачи создания модели, и сделан вывод о рекуррентной модели. Рассмотрены особенности рекуррентных процессов и параметры, позволяющие использовать их для выявления адекватности модели и эксперимента. Принципы рекуррентной модели положены в основу формул расчета количества частиц в зонах кювет, что дало возможность создать несколько разновидностей компьютерных программ, позволивших получить импульсную амплитудную последовательность, управляемую коэффициентами перехода частиц. При рекуррентном моделировании процесса динамики гальванотаксиса было доказано, что огибающая амплитуд сохраняет функцию при разных воздействиях: при модели контроля и токсичности, что адекватно функции, полученную в эксперименте. Также было проверено, что исходные распределения частиц не влияют на корреляцию функции огибающей, что характерно для рекуррентных моделей. Предложены подходы к проблеме токсичности по функции огибающей.*

*Гальванотаксис; динамика; инфузории; модели гальванотаксиса; рекуррентность; эксперимент; спектрофотометр; токсичность; импульсные функции; огибающие амплитуд.*