

УДК 159.91:796.071

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

Н.Л. БОБРОВА, О.В. GERMAN

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 30 октября 2015*

Приведены результаты разработки программно-аппаратного комплекса и мониторинг функционального состояния работников атомных станций. Показано, что раннее выявление неблагоприятных психофизиологических состояний с помощью программно-аппаратного комплекса у работников АЭС необходимо для своевременной как психологической, так и фармакологической коррекции, направленной на повышение эффективности выполнения поставленных задач в условиях агрессивной профессиональной среды.

*Ключевые слова:* сенсомоторные реакции, уровень функциональных возможностей, визуальные стимулы, скорость реакции.

В современных условиях социально-экономического и технического развития общества рациональное использование человеческих ресурсов является важным фактором развития различных видов экономической и профессиональной деятельности. Общеизвестно, что профессиональный труд должен быть производительным, однако не все люди в одинаковой мере способны освоить ту или иную профессию. Не менее важное значение имеют вопросы сохранения общего и профессионального здоровья работающих. Особое значение указанные аспекты имеют в деятельности работников атомных станций, профессиональная деятельность которых выдвигает серьезные требования к уровню здоровья, психике и функциональным возможностям человека. Очень часто работа этих категорий лиц осуществляется на пределе человеческих возможностей. Возникает много ситуаций, когда за ограниченное время необходимо принять ответственное решение, ведущее к серьезным последствиям. Такие виды деятельности предъявляют высокие требования к личностным качествам человека и его психике. Высокие профессиональные требования к психике человека обусловили многочисленные исследования по раскрытию резервных возможностей человека для удовлетворения все возрастающих требований практики, вопросам профессионального отбора, восстановления нормальной работоспособности после больших профессиональных и эмоциональных нагрузок [1].

Операторы блока управления атомных электростанций (АЭС) среди служащих сектора атомной энергетики являются во всем мире высокопрофессиональными, хорошо оплачиваемыми и востребованными работниками. Доля операторов среди сотрудников энергоблока АЭС достаточно велика – 20 %, и рынок операторских вакансий постоянно нуждается в притоке новых работников. Значительная часть операторов объединена в рамках Всемирной ассоциации организаций. Качество здоровья операторов привлекает большое внимание, так как рабочая среда этого контингента признана экстремальной; для четверти высшего оперативного состава характерны эмоциональное напряжение и расстройство некоторых личностных профессиональных качеств.

Между тем функции операторов (диспетчеров) блока управления АЭС сложны и ответственны. Они заключаются в контроле многочисленного оборудования (примерно по 40 параметрам), обеспечивающего выработку и распределение энергетических потоков, а также

предупреждении и ликвидации чрезвычайных ситуаций при внутренних или внешних нарушениях работы систем атомных реакторов. Операторы АЭС трудятся в реальном масштабе времени и должны быть готовы как к немедленному, так и отсроченному реагированию. Им приходится не только отслеживать работу автоматики и реализовывать регламентный алгоритм действий при ее сбоях, но и прогнозировать возможные изменения с последующим адекватным реагированием. Мера ответственности оператора за ошибку колоссальна и осложняет его работу, чему способствуют и не всегда оптимальные эргономические решения его рабочего места [2].

При этом монотония управленческого процесса приводит в противоречие с требованием постоянного повышенного внимания и психоэмоционального напряжения, обусловленных сознанием ответственности за возможную ошибку и правильность решений по обеспечению безопасности работы АЭС. Хроническое психоэмоциональное напряжение в сочетании с монотонностью труда и лимитом времени на принятие решений в случае развития нештатной ситуации может способствовать развитию дисфункции центральной нервной системы и повышает вероятность сбоев в работе оператора и развития аварийной ситуации.

Сложность и важность профессиональных задач, решаемых операторами во время рабочей смены, усиливает стрессорную нагрузку и требует напряженного внимания при выполнении трудового задания, а также сохранности долговременной и оперативной памяти; это определяет высокую потребность в эффективном медицинском контроле нейросоматического и психофизиологического состояния операторов АЭС. Примеры катастроф на АЭС Три-Майл-Айленд в США в 1979 г. и Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в 1986 г. продемонстрировали всю меру ответственности операторов и тягчайшие последствия их ошибочных действий. На современном этапе доля человеческого фактора в отказах сложного оборудования возрастает [3].

Неоптимальное физическое или психическое состояние операторского персонала может воспрепятствовать своевременному и качественному принятию решений и адекватным профессиональным действиям. Так, операторы, допустившие ошибки и предаварийные ситуации, характеризуются повышенной реактивной тревожностью, плохим самочувствием и настроением, уменьшением функциональных резервов кардиореспираторной системы и снижением умственной и физической работоспособности. Очевидно, что важным критерием отбора и расстановки кадров служат психофизиологические особенности человека. Поэтому комплексные меры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию АЭС, включая эффективный мониторинг здоровья их персонала, имеют государственное значение. Оценка функционального резерва у операторов и прогнозирование его изменений – важная научно-практическая задача.

Разработан программный комплекс, предназначенный для проведения психофизиологического исследования, включающего предъявление визуальных стимулов и измерение скорости реакции, и определения функциональной готовности. Исследование проводится для решения следующих задач:

- медицинского контроля перед рабочей сменой у лиц опасных профессий;
- формирования экспертного заключения о допуске обследуемого к работе;
- прогноза адаптационных возможностей организма на период рабочей смены;
- формирования и коррекции индивидуальных моделей функционального состояния и определение индивидуальных психофизиологических нормативов;
- ведения базы данных индивидуальных нормативов и математических моделей функционального состояния.

Программный комплекс включает следующие блоки: «Регистратура», «Менеджер обследований», «Диагностика», «Формирование заключения и рекомендаций». Блок «Регистратура» позволяет регистрировать новых испытуемых, вносить и корректировать данные карточек из базы данных, вести список посещений и организовывать статистический анализ по базе данных. Блок «Менеджер обследований» содержит информацию об обследуемых, результаты проведенной диагностики и сформулированные заключения и рекомендации. Блок «Диагностика» предназначен для проведения измерений и работает с аппаратными средствами диагностики, входящими в состав комплекса. Блок «Формирование

заключения и рекомендаций» осуществляет анализ данных и вывод общего заключения о состоянии работника и уровне его профессиональной готовности.

Схема построения программного обеспечения представлена на рис. 1.

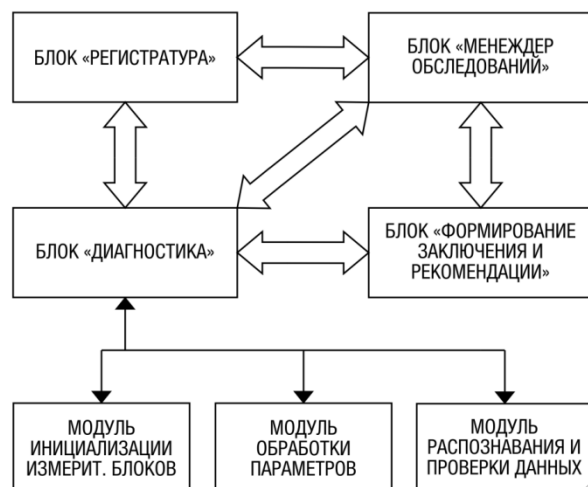


Рис. 1. Структурная схема организации программного обеспечения

Психофизиологическое тестирование для комплексного контроля функционального состояния центральной нервной системы включает теппинг-тест, оценку показателей простой (ПЗМР) и сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР), реакции на движущийся объект (РДО) [4].

*Реализация методики «Простая зрительно-моторная реакция» (ПЗМР).* При появлении сигнала (сигналы появляются в разных местах монитора) необходимо как можно быстрее нажать на клавишу. Система должна регистрировать время реакции на каждый сигнал (фигуру красного цвета). Оценка результатов производится на основании среднего значения времени реакции: чем оно меньше, тем выше скорость реагирования и тем более подвижной является нервная система, тем лучше сенсорно-моторная реакция, тем выше уровень функциональных возможностей центральной нервной системы.

*Реализация методики «Сложная зрительно-моторная реакция» (СЗМР).* При появлении сигнала (сигналы появляются в разных местах монитора) необходимо как можно быстрее нажать на соответствующую клавишу, не допуская ошибок. Система должна регистрировать время реакции на каждый сигнал (фигуры разных цветов) и правильность фиксации. Оценка результатов производится на основании среднего значения времени реакции: чем оно меньше, тем выше скорость реагирования и тем более подвижной является нервная система, тем лучше сенсорно-моторная реакция, тем лучше уровень функциональных возможностей центральной нервной системы. В отличие от простой реакции, реакция различения осуществляется на один определенный стимул из нескольких разнообразных стимулов. Поэтому процесс обработки сенсорной информации центральной нервной системой происходит не только по принципу наличия либо отсутствия сигнала, но и по принципу различения сигналов.

*Реализация методики теппинг-теста.* Область для тестирования разбивается на 6 частей. По очереди, в каждой части, необходимо нажимать кнопку джойстика максимально быстро. Передвижение по частям тестируемой области осуществлять по часовой стрелке через каждые 10 с. В процессе тестирования замеряется количество нажатий в каждой области. На основании построенного графика по результатам обследования делается заключение о типе нервной системы [5].

*Простая зрительно-моторная реакция.* Было выделено пять классов, отличающихся друг от друга функциональным состоянием центральной нервной системы (табл. 1).

Таблица 1. Результаты классификации по результатам теста «Простая зрительно-моторная реакция»

Показатель	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Среднее время реакции, мс	339,7±20,69	317,3±2,37	276,54±0,99	246,4±0,79	225,9±1,27
Среднее квадратическое отклонение, мс	157,1±30,93	102,0±5,16	63,38±1,54	50,20±1,63	39,72±1,15

1 класс – низкий уровень функциональных возможностей ЦНС. По тесту: быстродействие низкое, при стабильности реакций ниже средних значений. Преобладание процессов торможения. Состояние ЦНС неустойчивое, неблагоприятное для деятельности.

2 класс – сниженный уровень функциональных возможностей ЦНС. По тесту: быстродействие ниже средних значений при средней стабильности реакций. Преобладание процессов торможения. Состояние неблагоприятное для деятельности.

3 класс – средний уровень активации ЦНС. По тесту: быстродействие и стабильность реакций средние. Состояние регуляторных механизмов устойчивое.

4 класс – уровень функциональных возможностей ЦНС высокий. Преобладание процессов возбуждения. Быстродействие выше средних значений при средней стабильности реакций.

5 класс – уровень функциональных возможностей ЦНС высокий. Быстродействие высокое, при средней стабильности реакций. Преобладание процессов возбуждения. У лиц 4 и 5 классов – состояние благоприятное для деятельности.

*Сложная зрительно-моторная реакция.* По результатам теста «Сложная зрительно-моторная реакция» аналогично было выделено пять классов функционального состояния ЦНС по уровню сенсомоторных реакций (табл. 2).

Характеристика выделенных классов:

1 класс – низкий уровень сенсомоторных реакций, безошибочность низкая. При быстродействии выше средних значений, стабильность реакции ниже среднего.

2 класс – уровень сенсомоторных реакций ниже среднего, безошибочность ниже среднего. Быстродействие выше среднего, при стабильности реакций ниже среднего.

3 класс – средний уровень сенсомоторных реакций, безошибочность средняя. Быстродействие выше средних значений, при стабильности реакций ниже среднего.

4 класс – уровень сенсомоторных реакций выше среднего, безошибочность выше средних значений. Быстродействие выше средних значений, при средней стабильности реакций.

5 класс – высокий уровень сенсомоторных реакций, безошибочность высокая, при высоком быстродействии и стабильности реакции выше средних значений.

Таблица 2. Результаты классификации по результатам теста «Сложная зрительно-моторная реакция»

Показатель	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
Среднее время реакции, мс	583,9±17,64	606,9±11,02	606,3±6,104	580,0±8,767	524,4±8,561
Среднее квадратическое отклонение, мс	171,7±10,24	172,9±6,689	154,6±2,954	116,8±2,545	99,43±3,075
Доля точных реакций, %	88,87±0,51	94,40±0,17	97,47±0,10	98,90±0,13	99,61±0,11

*Теплинг-тест.* Анализ результатов основан на том, что сила нервных процессов является показателем работоспособности нервных клеток и нервной системы в целом. Сильная нервная система выдерживает большую по величине и длительности нагрузку, чем слабая. Опыт проводится последовательно сначала правой, а затем левой рукой. Полученные в результате варианты динамики максимального темпа движения рук могут быть условно разделены на пять типов:

– выпуклый тип: темп нарастает до максимального в первые 10–15 с работы; в последующем, к 25–30 с, он может снизиться ниже исходного уровня (т.е. наблюдавшегося в первые 5 с работы). Этот тип кривой свидетельствует о наличии у испытуемого сильной нервной системы;

– ровный тип: максимальный темп удерживается примерно на одном уровне в течение всего времени работы. Этот тип кривой характеризует нервную систему испытуемого как нервную систему средней силы;

– нисходящий тип: максимальный темп снижается уже со второго 5-секундного отрезка и остается на сниженном уровне в течение всей работы. Этот тип кривой свидетельствует о слабости нервной системы испытуемого;

– промежуточный тип: темп работы снижается после первых 10–15 с. Этот тип расценивается как промежуточный между средней и слабой силой нервной системы – средне-слабая нервная система;

– вогнутый тип: первоначальное снижение максимального темпа сменяется затем кратковременным возрастанием темпа до исходного уровня. Вследствие способности к кратковременной мобилизации такие испытуемые также относятся к группе лиц со средне-слабой нервной системой.

Используя описанный программно-аппаратный комплекс при мониторинге состояния работников АЭС возможно проводить: психофизиологическую диагностику профессионально значимых особенностей организма (свойств нервной системы и опорно-двигательного аппарата); контроль функционального состояния организма перед работой и в ее процессе; разработку оптимальных режимов труда, отдыха и оценку утомляемости; психологическую диагностику профессионально значимых качеств операторов АЭС; профотбор (диагностика профессиональных возможностей и соответствия особенностей личности требованиям профессии); диагностику индивидуального стиля деятельности и профессионального «выгорания»; социальную психодиагностику (выявление структуры и психологического климата группы); оценку профессиональных возможностей с целью профотбора и профориентации, экспертизы трудоспособности.

## **THE USE OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR MONITORING THE STATUS OF EMPLOYEES OF THE NUCLEAR STATION**

N.L. BOBROVA, O.V. GERMAN

### **Abstract**

The results of the development of software and hardware and monitoring of the functional state of workers of nuclear stations are given. It is shown that early detection of adverse psychophysiological states using software and hardware complex at the nuclear power plant workers in a timely manner for both psychological and pharmacological correction, aimed at improving the efficiency of tasks in the conditions of aggressive professional environment.

### **Список литературы**

1. *Баевский Р.М.* Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М., 2009.
2. *Балашевич В.А.* Основы математического программирования. Минск, 2014.
3. *Березин Ф.Б.* Психическая и психофизиологическая адаптация человека. Л., 2013.
4. *Боброва Н.Л.* // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. 2015. № 61. С. 49–53.
5. *Зингерман А.М., Хачатури Л.С.* // Физиология человека. 2012. № 6. С. 894–907.