

## ПРЕДСМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРСОНАЛА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

### PERSONNEL PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE PRE-SHIFT MONITORING AS A MEAN FOR NUCLEAR INSTALLATIONS SAFETY ENHANCEMENT

С. В. Воронцов, О. П. Кукушкина  
S. V. Vorontsov, O. P. Kukushkina

Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики  
Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics

*Совместно со специалистами СПбГУ разработана методика предсменного контроля психофизиологического состояния персонала ИЯУ. Методика обеспечивает учет индивидуальных особенностей операторов для получения ответа «норма» либо «отклонение», оперативность тестирования, объективность получаемых результатов, простоту и «доброжелательность» по отношению к персоналу, а также возможность оценки степени устойчивости операторов к действию стресса. Осуществление предсменного контроля персонала ИЯУ с применением методики позволит повысить безопасность работ.*

*Jointly with SPbSU specialists the NRF personnel psychophysiological condition pre-shift monitoring methodology was developed. This technique provides taking into account individual peculiarities of operators for answer «norm» or «deviation»; speed of testing; objectiveness; simplicity and «friendliness» to personnel; and opportunity of personnel resistance to stress assessment. This methodology using for pre-shift monitoring of NRF personnel will permit to enhance works safety.*

Работы с размножающими системами (РС) и эксплуатация импульсных ядерных реакторов (ИЯР) отличаются повышенным риском [1]. Поэтому во ВНИИЭФ всегда уделялось и уделяется особое внимание обеспечению безопасности данных работ.

Общей чертой всех ИЯР является развитие цепной реакции делений на мгновенных нейтронах. Во ВНИИЭФ разрабатываются ИЯР аperiодического действия, в которых цепная реакция на мгновенных нейтронах во время вспышки контролируется только внутренним механизмом самогашения. Основная задача оператора правильно задать и обеспечить величину перехода выше мгновенной критичности (стартовую надкритичность). Для критмассовых экспериментов наиболее высок риск возникновения аварии при ручной сборке РС, поскольку ошибочное действие или нарушение установленного регламента может привести к возникновению самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР) и облучению персонала.

Операции по управлению ИЯР и по сборке РС на стендах для критических сборок (СКС) строго регламентированы, и безопасность работ обеспечивается при четком выполнении последовательности действий, определенных руководством по эксплуатации и технологической инструкцией на проведение конкретной работы. Данные операции не относятся к разряду экстремальных и для их выполнения не нужно проявлять сверхъестественные качества (мгновенная реакция, чрезмерная концентрация внимания, выполнение сложных манипуляций и т. д.). Управление ИЯР и проведение работ с использованием делящихся материалов (ДМ) на СКС требуют определенных навыков и знаний и четкого исполнения инструкций и правил.

Во ВНИИЭФ на ИЯР за 50 лет их эксплуатации при генерировании >11000 импульсов не было ни одной ядерной аварии, т. е. ситуации, связанной с переоблучением участников работ или загрязнением окружающей среды. К сожалению, при проведении критмассовых экспериментов произошли три аварии: в 1953 (СКС ФКБН), 1963 (СКС МСКС) и 1997 (СКС ФКБН-2М) годах [2], [3].

В сборнике [3], выпущенном в Лос-Аламосской национальной лаборатории, обобщены все ядерные аварии с возникновением СЦР (включая аварии, произошедшие во ВНИИЭФ). 22 таких аварии имели место на промышленных предприятиях, 38 – на исследовательских реакторах и

критстендах (далее – исследовательские ядерные установки (ИЯУ)). Нами проведен анализ описанных в [3] аварий с градацией в соответствии с Международной шкалой ядерных событий INES [4]. Из 38 аварий на ИЯУ 10 обусловлены дефектами в конструкции экспериментального оборудования и неправильной постановкой опыта. Это скрытые ошибки, которые проявились лишь при проведении эксперимента и не могли быть предотвращены операторами. 2 аварии возникли из-за отказов оборудования (системы управления). Причиной еще 2 аварий послужил неправильный прогноз параметров импульса. 24 аварии обусловлены теми или иными ошибками персонала («человеческий фактор») в процессе управления установкой или проведении технологических операций.

Из рассмотренных 38 аварий 16-ти можно присвоить 4 уровень по шкале INES, при этом 11 из них явились следствием ошибок эксплуатационного персонала. Восемь аварий 4-го уровня привели к гибели людей, при этом 7 – произошли по вине персонала. Это еще раз подтверждает огромное влияние человеческого фактора на обеспечение безопасности при проведении работ на исследовательских реакторах и критических стендах.

В ряде случаев (по крайней мере, в 12) к аварии могло привести неадекватное психофизиологическое состояние исполнителей, являющихся, в большинстве своем, высококвалифицированными специалистами. Поэтому внедрение методов оперативного контроля психофизиологического состояния персонала ИЯУ позволит повысить безопасность их эксплуатации.

Сотрудники групп эксплуатации ИЯУ проходят тестирования и проверки, которые можно разбить на 4 группы: перед поступлением на работу; перед зачислением в группу эксплуатации; периодические проверки в процессе работы; ежедневный допуск к работе.

Перед приемом на работу кандидат проходит собеседование с представителями администрации подразделения и начальником установки. Затем, если кандидат «приглянулся», он проходит медицинский осмотр и психофизиологическое тестирование, после чего, при отсутствии противопоказаний по состоянию здоровья, принимается на работу.

Перед зачислением в группу эксплуатации кандидат проходит стажировку в течение не менее 6 месяцев, после чего сдает квалификационный экзамен. При положительном результате кандидат зачисляется в группу эксплуатации и приступает к самостоятельной работе.

Персонал групп эксплуатации для подтверждения своего профессионального уровня аттестуется не реже, чем 1 раз в 3 года. Кроме того, сотрудники ежегодно (некоторые - даже ежеквартально) проходят медосмотр.

В день проведения работ сотрудники группы эксплуатации проходят медицинский контроль (проводится фельдшером) с отметкой о допуске в специальной карточке. Непосредственно к работе их допускает производитель работ с отметкой в наряде.

Таким образом, профессионально важные качества (ПВК) сотрудников и состояние их здоровья периодически контролируются. Проводится также ежедневный контроль сотрудников медицинским работником и производителем работ по наряду. Такой контроль позволяет выявить и не допустить до работы сотрудников в состоянии алкогольного опьянения, либо с похмельным синдромом, сотрудников с высоким (либо низким) кровяным давлением (измеряет фельдшер), сотрудников, ведущих себя явно неадекватным образом, либо, по мнению производителя работ, неспособных к выполнению своих функций. Однако такой «предсменный контроль» является достаточно субъективным и не всегда позволяет выявить возможные отклонения от нормы психофизиологического состояния работников.

Так, например, в 2000 г. на одном из ИЯР лаборант был отстранен от работы и выведен из состава группы эксплуатации ввиду явного психического расстройства, которое проявлялось в бредовых высказываниях и даже угрозах. Однако, с другой стороны, 17.06.97 на установке ФКБН-2М старший инженер по управлению был допущен к проведению работ и совершил необъяснимые действия, приведшие в этот день к аварии [2], [3]. Анализ этих действий позволяет объяснить их только неадекватным психофизиологическим состоянием специалиста, которое явно не бросалось в глаза. Поэтому проведение предсменного контроля персонала ИЯУ с применением методики тестирования психофизиологического состояния позволит повысить безопасность работ.

Поскольку персонал ИЯУ достаточно сильно различается по возрасту, уровню образования и, естественно, по характеру и психофизиологическим возможностям организма, то методика предсменного контроля должна учитывать индивидуальные особенности каждого работника. Предварительно должны быть определены допустимые пределы изменения контролируемой функции (функций), соответствующие нормальному состоянию сотрудника, чтобы потом в процессе тестирования можно было оперативно получить ответ: «норма», либо «отклонение». Допол-

нительные требования к методике предсменного контроля можно сформулировать следующим образом:

- оперативность (время ежедневного тестирования не должно превышать 5 минут);
- объективность (измерение параметров, характеризующих состояние человека);
- простота (тестирование не должно требовать использования сложной измерительной техники, регистрации широкого набора параметров и применения громоздких алгоритмов обработки данных);
- заинтересованность испытуемого в результатах обследования (желание выполнять тестовые задания, улучшая свои показатели);
- гибкость, т. е. возможность коррекции имеющиеся установленных нормативов, что со временем может иметь место (например, возрастной фактор).

Само тестирование должно быть быстрым и простым, не требующим участия специалиста-психофизиолога. Проводить его было бы целесообразно либо медицинскому работнику (тогда тестирование совмещается с медицинским контролем перед проведением работ), либо сотруднику отделения (в помещении установки), предварительно прошедшему соответствующее обучение.

Очевидно, что проведение контроля готовности персонала к выполнению ядерно-опасных работ, хотя и позволяет существенно повысить их безопасность, однако оставляет совершенно «бесконтрольным» дальнейшее (в течение рабочей смены) эмоциональное состояние исполнителей. Действительно, человек может прийти на работу в нормальном состоянии, однако затем под влиянием различного рода факторов (конфликт с сослуживцами, неприятное известие и т. д.) у него может развиваться нервно-эмоциональный «срыв», который приводит к резкому снижению работоспособности, и, в результате, к повышению вероятности ошибочных действий. Поэтому, помимо оценки собственно эмоционального состояния человека, важное значение имеет определение его эмоциональной устойчивости, т. е. способности сохранять профессиональную работоспособность в условиях сильного нервно-эмоционального напряжения. Исходя из этого, желательно, чтобы методика предсменного контроля позволяла бы также оценивать устойчивость персонала к действию стресса.

После анализа имеющихся методик психофизиологического тестирования («Психофизиолог-Н», «Biomouse» «НС-ПсихоТест» «Нейролаб-Б» «Джой-тест» «Психомат» «КАП 8-01-оператор» и др.) для разработки методики предсменного контроля персонала ИЯУ была выбрана автоматизированная система динамического контроля психоэмоционального состояния и профессиональной работоспособности специалистов операторского профиля (АСДК), разработанная в Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ) [5].

АСДК представляет собой аппаратно-программный комплекс, сконструированный по модульному принципу, включающий модуль оценки физиологических резервов (МОФР), предназначенный для определения состояния соматического здоровья работника, модуль оценки эмоциональной устойчивости (МОЭУ), предназначенный для определения способности испытуемых сохранять необходимый уровень работоспособности в состоянии повышенного нервно-эмоционального напряжения, и модуль оценки профессиональной работоспособности (МОПР), включающий тестовые задания, направленные на оценку тех психофизиологических функций, которые максимально задействованы в профессиональной деятельности специалистов [5], [6]. По результатам пробных тестирований в базовой методике был скорректирован модуль МОЭУ (изменено текстовое сообщение), а модуль МОПР был полностью смоделирован под особенности деятельности персонала ИЯУ с учетом необходимой концентрации психических процессов (внимание, память), а также ПВК (навык принятия решений в ситуации временного ограничения). Все работы по адаптации методики АСДК проводились совместно со специалистами психологического факультета СПбГУ под научным руководством профессора М. В. Зотова. Следует отметить, что предварительно были проведены профессиографические исследования с целью разработки психофизиологической модели профессиональной деятельности операторов ИЯУ для разработки тестовых заданий.

Модуль оценки физиологических резервов (рис. 1), по сути, является аналогом ежедневного медицинского контроля. Модуль работает на основе измерений и сопоставления с нормативными и индивидуальными эталонами параметров частоты сердечных сокращений и variability сердечного ритма. В МОФР используются компьютерный полиграфический усилитель (KARDi2-NP), соединенный с персональным компьютером (ПК), и одноразовые электроды для снятия электрокардиограммы (ЭКГ). В окне «Просмотр результатов выполнения МОФР» (рис. 2) представлены ЭКГ с распознанными RR-интервалами и ритмокардиограмма (РКГ) обследуемого, а также автоматически рассчитанные параметры variability сердечного ритма: среднее зна-

чение (RRNN), стандартное отклонение (SDNN), мода (МО) и амплитуда моды (АМО) RR-интервалов; индекс вегетативного равновесия (IVR); индекс напряжения регуляторных систем (Baevski\_IN), отражающий степень напряжения функциональных резервов; показатель адекватности процессов регуляции (PAPR); вегетативный показатель ритма (VPR). Также осуществляется расчет спектральных показателей variability сердечного ритма: LF (Low Frequency) и HF (High Frequency).

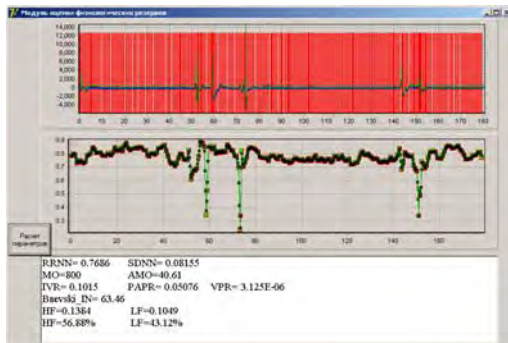
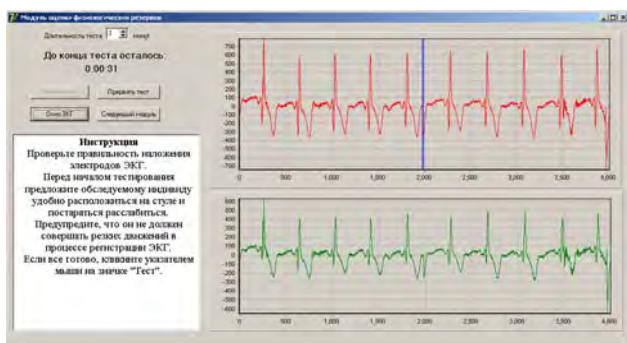


Рис. 1. Окно модуля оценки физиологических резервов

Рис. 2. Окно «Просмотр результатов выполнения МОФР»

Модуль оценки эмоциональной устойчивости предназначен для определения степени отклонения текущего уровня психоэмоционального состояния обследуемого от уровня, зарегистрированного в оптимальных условиях. Основу модуля составляет тестовое задание, в ходе которого испытуемому необходимо выполнять совмещенную деятельность по восприятию и переработке разномодальной (звуковой и зрительной) информации на фоне звуковых помех индифферентного и стрессогенного содержания (рис. 3).

В процессе тестирования через стереонаушники испытуемому на правое и на левое ухо предъявляются «помехи» – слова и словосочетания сначала нейтрального, затем стрессогенного содержания (например, «аварийная сигнализация», «ионизирующее излучение», «цепная реакция»). Одновременно на оба уха предъявляется «центральное сообщение» – связный текст нейтрального содержания, включающий хорошо знакомые испытуемому слова и выражения (фрагменты из правил и инструкций для персонала ИЯУ). В подобных условиях возникает психологический эффект: «центральное» сообщение воспринимается как исходящее сверху, «помехи» – как звучащие справа и слева. Уровень звукового давления «центрального сообщения» на 7 дБ превышает интенсивность «помех». Задача испытуемого состоит в том, чтобы внимательно слушать и сразу же, как можно быстрее повторять в микрофон «центральное» сообщение, не отвлекаясь при этом на «помехи». Одновременно испытуемый должен выполнять дополнительное задание: при появлении в правом, в центральном, либо в левом окне экрана ПК красного сигнала нажимать соответствующую клавишу.

В ходе обследования осуществляется запись голоса испытуемого при воспроизведении им звукового сообщения, регистрируется время сложной сенсомоторной реакции (ССМР) на зрительные стимулы, т. е. временной интервал между моментом появления зрительного сигнала и моментом нажатия клавиши ПК, и длительность удержания клавиши в нажатом состоянии.

Модуль оценки профессиональной работоспособности предназначен для определения способности персонала ИЯУ выполнять профессиональную деятельность на требуемом уровне эффективности. Методической основой функционирования модуля является использование тестового задания, требующего «включения» психических процессов, максимально задействованных при выполнении задач по управлению ИЯУ. Данное задание (рис. 4) моделирует профессиональную деятельность персонала по совмещенному выполнению следующих трех задач: удержание в памяти характеристик («умственной модели») физического процесса; оперативное управление физическим процессом; мысленное выполнение вычислительных операций.

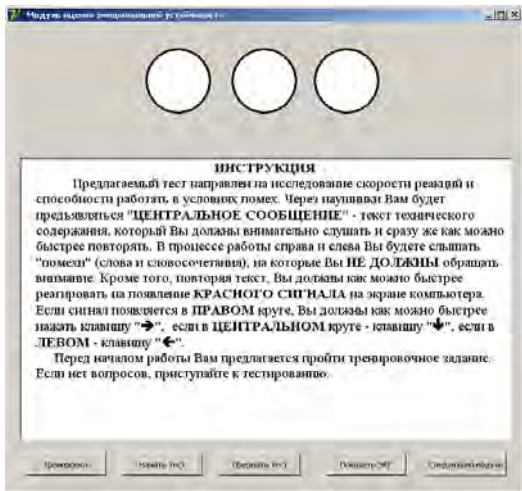


Рис. 3. Окно МОЭУ

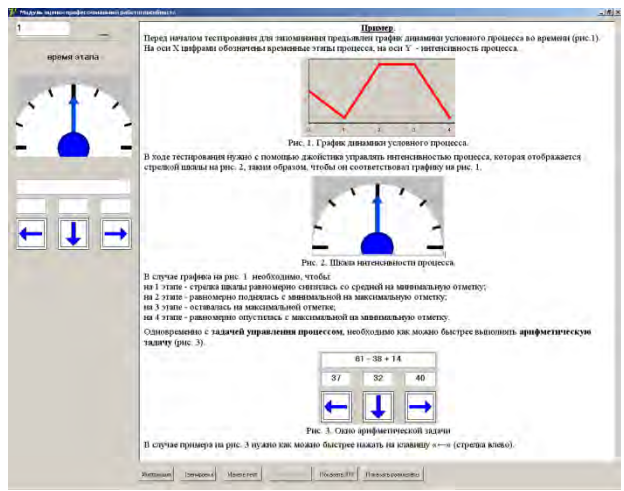
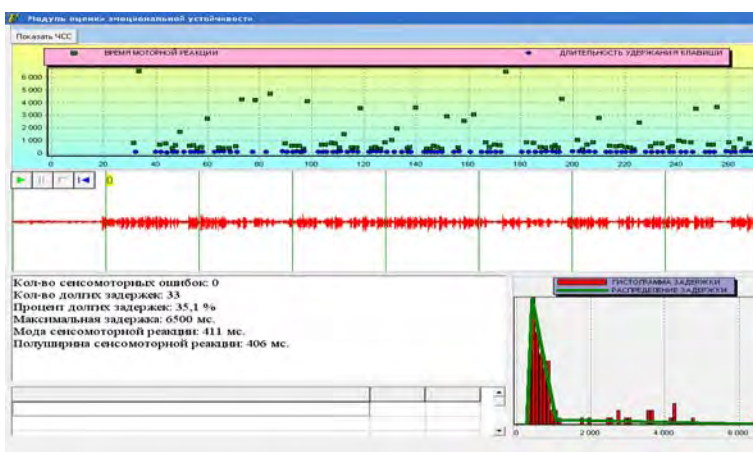


Рис. 4. Пример выполнения теста МОПР

Испытуемому для запоминания предъявляется график условного процесса во времени (рис. 4). В ходе тестирования испытуемый должен регулировать динамику условного процесса так, чтобы она соответствовала графику. Поскольку в течение тестирования интенсивность имитируемого процесса случайным образом меняется, необходимо непрерывно осуществлять деятельность по управлению процессом, и, таким образом, постоянно удерживать внимание на индикаторах времени этапа и интенсивности процесса. Одновременно с выполнением задачи управления процессом необходимо решать периодически появляющиеся арифметические задачи, выбирая нужный вариант ответа из трех предлагаемых.

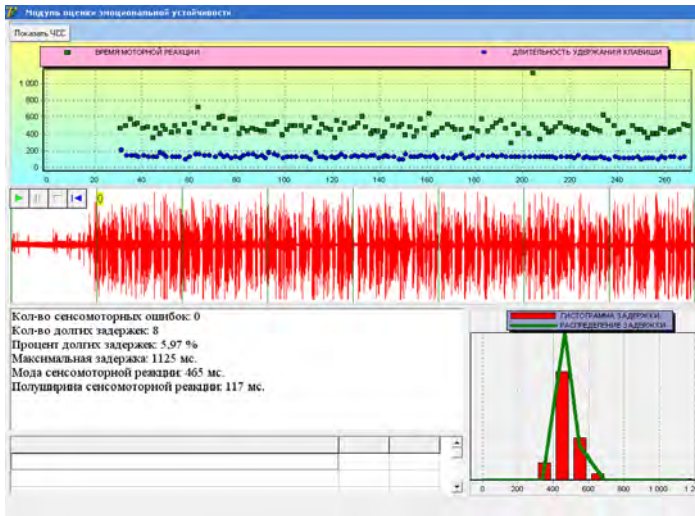
Для оценки физиологической «стоимости» выполнения МОЭУ и МОПР рекомендуется сопоставить значения индекса напряжения регуляторных систем (Baevski\_IN), зарегистрированные в состоянии покоя (выполнение МОЭУ, рис. 2) и в процессе тестирования.

Тесты оцениваются в 10-балльной шкале, где 7 и более баллов означают высокий результат, 4-7 баллов – средний результат и 4 и менее баллов – низкий результат выполнения теста. Ниже в качестве примера приведены результаты тестирования испытуемых, показавших высокий и низкий уровни эмоциональной устойчивости (рис. 5) и готовности к выполнению профессиональной деятельности (рис. 6).



а

Рис. 5. Окно «Просмотр результатов выполнения МОЭУ» при низком (а) и высоком (б) уровне эмоциональной устойчивости испытуемого



б

Рис. 5. (Оончание)Окно «Просмотр результатов выполнения МОЭУ» при низком (а) и высоком (б) уровне эмоциональной устойчивости испытуемого



а



б

Рис. 6. Окно «Просмотр результатов выполнения МОПР» при сниженном (а) и при высоком (б) уровне готовности к выполнению профессиональной деятельности

Динамический контроль функционального состояния и профессиональной работоспособности персонала ИЯУ предполагает сравнение данных периодических обследований с результатами, зафиксированными во время «базового» обследования, т. е. обследования, при котором зарегистрированы средние для данного испытуемого значения показателей физиологических резервов, эмоциональной устойчивости и профессиональной работоспособности. При выборе «базового» обследования показатели в каждом модуле должны быть не ниже 4 баллов.

При выявлении снижения показателя уровня физиологических резервов ниже 4 баллов рекомендуется направить испытуемого на углубленное медико-психологическое обследование. При снижении интегральных показателей эмоциональной устойчивости или профессиональной работоспособности ниже указанного уровня рекомендуется проведение внеочередной психофизиологической экспертизы специалиста в рамках системы профессионального психологического отбора.

С использованием методики АСДК было проведено тестирование достаточно представительного числа представителей групп эксплуатации ИЯУ, предварительно разделенных на 2 группы по уровню надежности с использованием метода экспертной оценки.

Исследование показало, что операторы с высоким уровнем надежности демонстрируют относительно быстрые, стабильные показатели сенсомоторного реагирования на протяжении всего времени тестирования, в то же время у операторов со сниженным показателем надежности отмечалось существенное возрастание показателей сенсомоторного реагирования, свидетельствующее о более низком уровне помехо- и стрессо-устойчивости.

Были выявлены отличия у операторов двух групп и по результатам выполнения МОПР. У операторов с высоким уровнем надежности наблюдается более высокая и стабильная выраженность запоминания и воспроизведения условного процесса, а также количественное (больше) и качественное (с наименьшим числом ошибок) выполнение арифметических задач.

Корреляция экспертных оценок и результатов тестирования подтверждает достоверность результатов, получаемых по методике АСДК.

Включенные в автоматизированную систему диагностические методы отвечают требованиям объективности, комплексности, минимизации временных затрат. Методики АСДК практически исключают возможность целенаправленного искажения работником результатов обследования в целях улучшения показателей. Обследование может проводить человек, обладающий элементарными навыками пользователя компьютерной техники. Общее время тестирования (3 модуля) составляет не более 15 мин. В зависимости от задач проверки модули АСДК могут использоваться как комплексно, так и по отдельности, что, в случае необходимости, может сократить время мониторинга.

Комплексное обследование целесообразно проводить периодически для оценки динамики показателей физиологических резервов, эмоциональной устойчивости и профессиональной работоспособности. Частота тестирования может варьироваться в зависимости от уровня функциональной ответственности операторов ИЯУ (например, начальники групп эксплуатации и инженеры по управлению – 1 раз в 2 недели, остальной персонал – 1 раз в месяц). Для проведения ежедневного предсменного контроля можно использовать один из модулей.

С помощью методики АСДК можно оценить как индивидуальные параметры стрессоустойчивости, так и выявить необходимый уровень ПВК, что позволяет её использовать не только для выявления специалистов с устойчивыми тенденциями снижения контролируемых показателей и высокой вероятностью срывов деятельности в условиях повышенной нагрузки и действия факторов стресса, но и в качестве метода профотбора.

Проведенные исследования показывают, что осуществление предсменного контроля персонала ИЯУ с применением методики тестирования психофизиологического состояния позволит повысить безопасность работ [7], [8].

### Список литературы

1. Колесов В. Ф., Кувшинов М. И., Воронцов С. В. и др. Критические стенды и импульсные реакторы РФЯЦ-ВНИИЭФ. В кн. 65 лет ВНИИЭФ. Физика и техника высоких плотностей энергии: Научное издание: в 2-х выпусках. Вып. 1. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011, С. 136–164.

2. Воинов А. М., Воронцов С. В., Смирнов И. Г. Организация работы и методы обеспечения безопасности ядерно-физических исследований критических систем на быстрых нейтронах // Сборник материалов научно-технической конференции «Охрана труда и безопасность ядерного оружия». Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000. С. 68–80.

3. McLaughlin T. P., Monahan S. P., Pruvost N. L. et al. A Review of Criticality Accidents. 2000 Revision, LA-13638. 2000.
4. The International Nuclear Event Scale (INES). User's Manual. 2001 Edition. International Atomic Energy Agency. Vienna. 2001.
5. Петрукович В. М., Зотов М. В., Журавлева О. П. Методология разработки автоматизированных систем динамического контроля функционального состояния операторов // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2007. № 3(19), приложение. С. 152–153.
6. Zotov M., Petrukovich V., Kukushkina O.. Forecasting of reliability of professional work of operators of pulse nuclear reactors in stressful working environment // Proceedings of 44th International Applied Military Psychology Symposium. St. Petersburg, Russia. 2008. P. 50–53.
7. Воинов М. А., Воронцов С. В., Девяткин А. А. и др. Исследовательские установки РФЯЦ-ВНИИЭФ (основные характеристики, аспекты усовершенствования СУЗ, элементов конструкции и правил эксплуатации) // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. 2012. Вып. 3. С. 3–16.