

**КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ И
СОЦИАЛЬНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 159.9:62

**ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ
РЕАКЦИИ ОПЕРАТОРА УПРАВЛЕНИЯ АЭС¹**

© 2017 М.В. Алюшин, А.М. Алюшин, М.Э. Аткина

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Предложен подход к определению времени реакции оператора управления АЭС непосредственно в процессе выполнения им своих производственных обязанностей. Подход базируется на использовании возможностей дистанционных неконтактных технологий по регистрации биопараметров человека. Подход ориентирован на использование автоматизированных средств обработки данных в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: время реакции, прямые и косвенные методы измерения, человеческий фактор.

Поступила в редакцию: 24.02.2017

Одним из интегральных параметров, характеризующих текущее эмоциональное и психоэмоциональное состояние операторов управления АЭС, а также других опасных производств и объектов является время реакции (ВР). Данный параметр имеет чрезвычайно важное значение с точки зрения обеспечения надежной и безаварийной работы АЭС и других опасных объектов, так как обуславливает своевременность ответных действий в случае возникновения аварийных и нештатных ситуаций [1]. Увеличенные значения ВР обычно свидетельствуют об усталости, сильном утомлении, либо даже о стрессовом состоянии оператора управления опасным объектом. При этом, как правило, величина ВР коррелирует с вероятностью совершения ошибочных действий. По этой причине постоянный контроль данного параметра позволит снизить риск возникновения, а также уменьшить последствия возможных катастроф техногенного происхождения за счет своевременного выявления операторов с недопустимо большим значением данного показателя непосредственно в процессе выполнения ими своих производственных обязанностей [2–7].

В настоящее время на практике в большинстве случаев используются преимущественно прямые методы измерения параметра ВР. Предельно допустимые значения данного параметра для операторов управления опасными объектами в различных областях регламентируются соответствующими отраслевыми стандартами. Наиболее показательным в этом плане является, например, железнодорожный и авиационный транспорт, для которых разработаны достаточно подробные методики и инструкции для определения ВР соответственно для машинистов скоростных поездов и пилотов. В таблице 1, например, представлены предельно допустимые значения ВР для

¹ Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 16-18-00069 «Снижение риска возникновения и уменьшение последствий катастроф техногенного происхождения за счет минимизации влияния человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов».

наиболее типичных простых и сложных сенсомоторных реакций машиниста при проведении планового тестирования [6]. Превышение указанных показателей является основанием для отказа в допуске на управление скоростным поездом.

К сожалению, разработанные к настоящему времени методические и технические средства для указанных областей ориентированы только на применение исключительно прямых методов измерения ВР, предполагающих измерение интервала времени между моментом появления зрительного, либо акустического раздражителя и моментом времени появления ответной простой, либо сложной сенсомоторной реакции. Реализация такого методического подхода возможна, в основном, только в лабораторных условиях, как правило, при периодических медицинских осмотрах, либо при проведении предсменного контроля.

Таблица 1. – Предельно допустимые значения ВР для простых и сложных сенсомоторных реакций

№ п/п	ВР, с	Типовая тестовая задача	Тип сенсомоторной реакции
1.	Не более 0,36	Нажатие кнопки «Стоп» при включении только красной лампочки	Простая
2.	Не более 0,6	Дифференциация зрительных сигналов в сочетании с активностью в двигательной сфере	Сложная

Данное исследование направлено на создание методики и технических средств определения ВР непосредственно в процессе выполнения оператором управления своих производственных функций. Для этой цели предлагается использовать не прямые косвенные методы измерения ВР, так как применение прямых методов в большинстве случаев достаточно проблематично как с методической, так и с технической точек зрения, либо просто невозможно.

Основными факторами, затрудняющими использование прямых методов и средств измерения ВР оперативного персонала непосредственно в процессе осуществления ими функций управления опасным объектом, являются:

- трудности классификации типа ответной сенсомоторной реакции (простая, либо сложная) для правильной оценки ВР в реальной производственной обстановке;
- нежелательность, либо невозможность применения дополнительных технических устройств и элементов для определения ВР непосредственно на рабочем месте оператора;
- трудность систематизации и учета действия отвлекающих и мешающих помех различного характера.

Первый фактор обычно обусловлен сложностью интерфейса взаимодействия оператора управления с применяемой технической системой управления опасным объектом, а также сложностью реализуемого алгоритма управления, особенно в нештатных и аварийных ситуациях. Типичными примерами могут служить многощитовая многоприборная система управления АЭС, многоприборная (многоэкранная) система управления современным самолетом, скоростным поездом, автотранспортом. Системы управления такого класса обычно содержат десятки или даже сотни элементов управления, измерительных приборов и индикаторов. Ответная реакция оператора управления, как правило, предполагает наличие достаточно продолжительного по времени этапа осмысления новой информации, проверку

значений целой совокупности контрольных параметров в случае необходимости, а также определенную последовательность действий по управлению объектом, включающую, например, воздействие на различные кнопки, рычаги и регуляторы, расположенные либо в различных местах одной панели управления, либо даже на различных панелях управления.

Широкий спектр возможных ответных двигательных реакций различной сложности, зависимость ВР от характера внешнего раздражителя (звуковой, оптический) [6, 7] является принципиальным моментом, затрудняющим применение унифицированных, предельно допустимых значений для ВР. Необходимо отметить, что и сами предельно допустимые значения для ВР варьируются достаточно сильно даже для ответных реакций одного уровня, например, простых, что в значительной степени обусловлено спецификой и возможностями реализуемого способа измерения ВР.

Второй фактор обусловлен не только проблемами применения дополнительного технических средств, но также сложностью современных систем управления опасными объектами, практически полностью исключаящими возможность отвлечения операторов от выполняемых ими функций управления объектом с целью измерения ВР прямыми методами.

Третий фактор обусловлен, в первую очередь, случайной природой возникновения оптических и акустических помех, влияющих на ВР оператора управления опасным объектом [7].

Практически все применяемые на практике прямые методы определения ВР можно подразделить на две группы, предполагающие использование либо механических тренажеров, либо компьютерной техники.

Типичным представителем первой группы является, например, метод измерения ВР, основывающийся на использовании падающей линейки. Сущность данного метода заключается в том, что тестирующий (тестирующее устройство) неожиданно отпускает вертикально ориентированную линейку, которую тестируемый должен успеть схватить, так как она падает с ускорением. В зависимости от скорости реакции тестируемого линейка будет схвачена им в различных местах, при этом расстояние, которое успела пролететь линейка (соответствует месту захвата линейки тестируемым) может быть использовано для определения ВР. При использовании простой линейки длиной 30 сантиметров возможный диапазон измерения ВР обычно составляет от 0,125с до 0,25с.

Основным достоинством рассмотренного метода является его простота. По этой причине он широко используется, например, в учебных и спортивных учреждениях. Однако недостаточно широкий диапазон измерения ВР, а также значительное увеличение погрешности определения ВР для больших значений ВР, обусловленное существенным возрастанием скорости падения линейки, ограничивает сферу его возможных применений. В целом, подобные технологии на практике используются преимущественно в домашних условиях с целью приблизительной оценки ВР, например, при занятии спортом. При этом желательно использовать линейку длиной не менее 0,5 м, что позволит осуществить измерение ВР в большем временном диапазоне.

Вторая группа методов, основывающихся на использовании компьютерной техники, является более универсальной и допускает различные варианты практической реализации. Так, например, в последнее время активно развиваются дистанционные технологии, которые позволяют любому человеку в режиме реального времени осуществить оценку своего текущего ВР, используя только персональный компьютер, имеющий клавиатуру и мышь. Для этого достаточно зайти на один из специализированных сайтов и пройти процедуру тестирования, которая, как правило, основывается на анализе интервалов времени между появлением на мониторе компьютера определенного графического символа (знака, условного обозначения,

текстового сообщения) и моментом времени нажатия на определенную клавишу клавиатуры, либо кнопку компьютерной мышки. При этом специализированная программа с достаточно высокой точностью определит персональное значение ВР, которое может варьироваться в широком диапазоне в зависимости от возраста, текущего психоэмоционального и функционального состояния тестируемого. В табл. 2 показаны типичные качественные оценки состояния тестируемого в зависимости от полученного значения ВР с помощью компьютерных технологий.

К сожалению, применение рассмотренных компьютерных технологий определения ВР для таких сфер, как атомная энергетика, авиация, скоростной транспорт, опасные химические производства и многие другие, характеризующиеся сложнейшими системами управления, непосредственно в процессе работы затруднительно, в первую очередь, по причине невозможности их совмещения с действующими системами управления данными объектами без существенной модернизации последних.

Таким образом, применение прямых методов измерения ВР оператора управления современным опасным объектом на практике является невозможным, либо чрезвычайно сложным, так как требует логического анализа сложившейся ситуации и последовательности ответных действий, включая анализ двигательной активности оператора. Тем не менее, в перспективе при внедрении в системы управления опасными объектами элементов искусственного интеллекта данный подход может быть успешно реализован на практике.

Таблица 2. – Компьютерные методы оценки ВР

№	ВР, с	Оценка текущего состояния тестируемого	Пример/ вывод
1.	Менее 0,15	Высокий уровень профессиональной подготовки. Очень хорошая физическая форма	Военный летчик
2.	0,15 – 0,21	Хороший уровень профессиональной подготовки. Хорошая физическая форма	Мастер спорта, кандидат в мастера спорта
3.	0,21 – 0,27	Хороший уровень профессиональной подготовки, Удовлетворительная физическая форма	Активное занятие спортом
4.	0,27 – 0,35	Среднее состояние, типичное для большинства людей	Большинство обычных людей
5.	0,35 – 0,5	Плохая подготовка, плохое состояние	Сильное утомление, усталость
6.	Более 0,5	Очень плохая подготовка и состояние	Возможно проблемы со здоровьем

Предлагаемая технология косвенного определения ВР оператора основывается на использовании объективных данных о ВР оперативного состава управления, полученных с помощью рассмотренных выше прямых методов, а также на существующей зависимости ВР от текущего функционального и психоэмоционального состояния оператора. В настоящее время разработаны технологии и технические средства для достоверной оценки текущего состояния оператора на основе неконтактных и дистанционных технологий [2, 3]. Учитывая эти технологические возможности, предлагается следующий подход к определению ВР непосредственно в процессе работы оператора, включающий в себя следующие основные этапы:

- измерение ВР оператора прямыми методами одновременно с регистрацией его основных биопараметров, характеризующих работу сердечно-сосудистой системы, системы дыхания, периферической нервной системы [4, 5], при различных уровнях нагрузки, например, при периодических медицинских осмотрах;
- построение персональной функциональной модели (ПФМ), описывающей зависимость ВР оператора от измеренных биопараметров на основе корреляционного анализа экспериментальных данных, полученных описанным выше способом [6];
- определение биопараметров для оператора с помощью дистанционных неконтактных технологий непосредственно в процессе выполнения им своих производственных обязанностей;
- использование полученной ранее ПФМ для определения ВР оператора непосредственно в процессе его работы;
- периодическое уточнение параметров ПФМ в процессе периодических медицинских осмотров и проведении предсменного контроля;
- учет влияния внешних мешающих факторов (акустические шумы) для уточнения полученных значений параметра ВР [7].

Основными достоинствами предлагаемой технологии являются возможность ее интеграции с существующими техническими средствами (пультами) управления опасными объектами без их существенной модернизации, а также без изменения алгоритмов их эксплуатации, что особенно важно в случае возникновения нештатных и аварийных ситуаций, во время которых знание текущего состояния оператора наиболее ценно.

На рисунке 1 представлена общая структурная схема, иллюстрирующая предлагаемую технологию определения ВР оперативного персонала управления опасными объектами.



Рис. 1. – Технология определения ВР оперативного состава управления опасным объектом непосредственно во время производственного процесса

Первоначально при проведении медицинского обследования и психоэмоционального тестирования в качестве исходной ПФМ может быть использована простая линейная модель [2, 3], связывающая значения текущих, зарегистрированных с помощью дистанционных неконтактных технологий биопараметров оператора с ВР, измеренным одним из прямых методов. Коэффициенты (веса) линейной модели, как правило, определяются с помощью корреляционного анализа полученных таким образом исходных экспериментальных данных. В том случае, если в результате корреляционного анализа линейная форма представления ПФМ окажется недостаточно адекватной, то необходимо рассмотреть более сложные модели, предполагающие другие формы учета вклада тех, либо иных биопараметров, например, степенную, мультипликативную (структурная адаптация ПФМ). В ряде случаев оказывается удобным использовать табличную форму представления ПФМ, которая допускает эффективное использование современной вычислительной техники.

Учет влияния акустических и оптических помех может быть осуществлен с помощью поправочных коэффициентов [6], значения которых определяются при проведении тестирования, например, на тренажерах, и хранятся в базе персональных данных. Необходимо отметить, что под оптическими и акустическими помехами необходимо рассматривать не только помехи естественного происхождения, например, блики солнца, шум дождя, автомашин, но и техногенные помехи, обусловленные спецификой эксплуатации опасного объекта. Так, например, к данным помехам необходимо отнести также и свет, и мигание от приборов щита управления, компьютеров, и, соответственно, шум от переговоров, звуки сирен, звонков, отвлекающих оператора управления от выполнения им своих производственных задач, особенно в условиях сильного стресса в случае возникновения нештатных и аварийных ситуаций. С технической точки зрения для измерения текущего уровня таких техногенных помех не требуется сложного дополнительного оборудования. Он легко может быть измерен с помощью обычных шумомеров и видеокамер общего назначения.

Ввиду возможных значительных кратковременных и систематических индивидуальных изменений значений ВР целесообразно осуществить периодическую настройку (параметрическую адаптацию) ПФМ. На рисунке 2 показаны основные этапы структурной и параметрической адаптации ПФМ.

Применение структурной и параметрической адаптации позволило обеспечить высокую достоверность получаемых оценок ВР с помощью предлагаемой технологии. Лабораторные испытания показали возможность минимизации ошибки определения ВР, которая в общем случае не превышает 10% в течение 8-часовой производственной деятельности, что дает возможность правильно классифицировать психоэмоциональное и функциональное текущее состояние оператора управления опасным объектом, в первую очередь, такого как АЭС.

Предложенная технология позволяет одновременно построить ПФМ числа ошибочных действий в зависимости от измеряемых дистанционными методами персональных биопараметров. Для тех случаев, когда принципиальное значение имеют как ВР, так и вероятность совершения ошибок, может быть использована целевая функция, интегрирующая в себе вероятность совершения ошибок и ВР. Особенно важно данное обстоятельство для АЭС, так как в конечном счете важна безаварийная эксплуатация опасного объекта, а в случае возникновения нештатных либо аварийных ситуаций – правильные и своевременные действия по их устранению.

Таким образом, рассмотренный подход к определению ВР позволяет существенно расширить сферу практического применения данного информативного параметра, что

дает возможность минимизировать влияние человеческого фактора на надежность и безаварийность работы АЭС и других опасных объектов.



Рис. 2. – Повышение точности определения ВР при использовании не прямых методов измерения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алюшин, М.В. и др. Профессиональный отбор персонала по психологическим качествам на основе методов, разработанных в рамках теории принятия решений [Текст] / М.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина, А.В. Хазов // Вопросы психологии. – 2015. – №2. – С. 88–94.
2. Алюшин, М.В. и др. Мониторинг биопараметров человека на основе дистанционных технологий [Текст] / М.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина // Вопросы психологии. – 2014. – №6. – С. 135–144.
3. Алюшин, М.В. и др. Дистанционные и неконтактные технологии регистрации биопараметров оперативного персонала как средство управления человеческим фактором и повышения безопасности АЭС [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, Л.О. Андриюшина, Л.В. Колобашкина, В.В. Пшенин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 69–77.

4. *Алюшин, М.В. и др.* Оптические технологии для систем мониторинга текущего функционального состояния оперативного состава управления объектами атомной энергетики [Текст] / М.В. Алюшин, А.В. Алюшин, В.М. Белопольский, Л.В. Колобашкина, В.Д. Ушаков // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №2(7). – С. 69–77.
5. *Алюшин, В.М.* Диагностика психоэмоционального состояния на основе современных акустических технологий [Текст] / В.М. Алюшин // Вопросы психологии. – 2015. – №3. – С. 145–152.
6. *Алюшин, М.В. и др.* Методика измерения времени реакции оператора управления [Текст] / М.В. Алюшин, В.М. Алюшин // Вопросы психологии. – 2015. – №5. – С. 157–165.
7. *Алюшин, М.В. и др.* Экспериментальное исследование времени реакции человека в условиях действия акустических помех [Текст] / М.В. Алюшин, В.М. Алюшин // Вопросы психологии. – 2016. – №1. – С. 163–168.

REFERENCES

- [1] Aliushin M.V., Kolobashkina L.V., Khazov A.V. Professionalnyi otbor personala po psikhologicheskim kachestvam na osnove metodov, razrabotannykh v ramkakh teorii priniatiia reshenii [Professional selection of personnel on psychological qualities on the basis of the methods developed within the theory of decision-making]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2015, №2, ISSN 0042-8841, pp. 88–94. (in Russian)
- [2] Aliushin M.V., Kolobashkina L.V. Monitoring bioparametrov cheloveka na osnove distantsionnykh tekhnologii [Monitoring of bioparameters of the person on the basis of remote technologies]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2014, №6, ISSN 0042-8841, pp. 135–144. (in Russian)
- [3] Aliushin M.V., Aliushin A.V., Andriushina L.O., Kolobashkina L.V., Pshenin V.V. Distantsionnye i nekontaktnye tekhnologii registratsii bioparametrov operativnogo personala kak sredstvo upravleniia chelovecheskim faktorom i povysheniia bezopasnosti AES [Remote and not contact technologies of registration of bioparameters of operation personnel as control facility human factor and increases in the NPP safety]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety], 2013, №3(8), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 69–77. (in Russian)
- [4] Aliushin M.V., Aliushin A.V., Belopolskii V.M., Kolobashkina L.V., Ushakov V.D. Opticheskie tekhnologii dlia sistem monitoringa tekushchego funktsionalnogo sostoiianiia operativnogo sostava upravleniia obiektami atomnoi energetiki [Optical technologies for systems of monitoring of the current functional state of quick structure of management of nuclear power objects]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety], 2013, №2(7), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 69–77. (in Russian)
- [5] Aliushin V.M. Diagnostika psikhoemotsionalnogo sostoiianiia na osnove sovremennykh akusticheskikh tekhnologii [Diagnostics of a psychoemotional state on the basis of modern acoustic technologies]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2015, №3, ISSN 0042-8841, pp. 145–152. (in Russian)
- [6] Aliushin M.V., Aliushin V.M. Metodika izmereniia vremeni reaktsii operatora upravleniia [Technique of time measurement of the management operator reaction]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2015, №5, ISSN 0042-8841, pp. 157–165. (in Russian)
- [7] Aliushin M.V., Aliushin V.M. Eksperimentalnoe issledovanie vremeni reaktsii cheloveka v usloviakh deistviia akusticheskikh pomekh [Pilot study of reaction time of the person in the conditions of acoustic hindrances]. *Voprosy psikhologii* [Psychology questions], 2016, №1, ISSN 0042-8841, pp. 163–168. (in Russian)

Direct and Indirect Methods of the NPP Management Operator Reaction Time Measuring²

M.V. Alyushin^{*}, A.M. Alyushin^{}, M.E. Atkina^{***}**

*National Research Nuclear University «MEPhI»,
Kashirskoye Shosse, 31, Moscow, Russia 115409*

² The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation (RSF) grant No.16-18-00069 "Reducing the risk of occurrence and decreasing the of man-made disaster consequences by minimizing the human factor influence on the reliability and trouble-free operation of nuclear power plants and other hazardous facilities.

* *e-mail: MVAlyushin@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0001-7806-3739

WoS Researcher ID: R-7928-2016;

** *e-mail: amalyushin@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0003-1722-0598

WoS Researcher ID: F-8004-2017;

*** *e-mail: MEAtkina@mephi.ru*

ORCID iD: 0000-0003-3461-322X

WoS Researcher ID: F-9690-2017

Abstract – An approach to the definition of NPP management operator reaction time directly in the performance of his work responsibilities is suggested. The approach is based on the use of the possibility of remote non-contact technology of human bioparameters registration. Approach focuses on the use of automated data processing in real time.

Keywords: reaction time, direct and indirect methods of measurement, the human factor.