

УДК 621.039
DOI: 10.15827/0236-235X.118.328-332

Дата подачи статьи: 07.11.16
2017. Т. 30. № 2. С. 328–332

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ АУДИО-МОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ ОПЕРАТОРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

*О.А. Ахремчик, д.т.н., доцент; И.И. Базулев, аспирант, bazulevivan@gmail.com
(Тверской государственный технический университет,
наб. Аф. Никитина, 22, г. Тверь, 170026, Россия)*

Время сенсорно-моторной реакции оператора является основой для выбора моделей представления информации и стратегии управления химико-технологическим процессом на основе минимизации потерь в ходе человеко-машинного взаимодействия. Широкое применение звуковых сигналов для формирования сообщений аварийной и предупредительной сигнализаций диктует необходимость разработки методов и средств контроля времени аудио-моторных реакций.

В статье рассматриваются структура, функциональные характеристики и основные составляющие программного комплекса для измерения времени простых аудио-моторных реакций оператора системы управления. Исходя из концепции структурного программирования для реализации комплекса выбираются средства среды Delphi. Описываются типы экранных форм программного комплекса и возможные действия оператора с их использованием.

В качестве настроечных параметров комплекса предлагается использовать тип звукового сигнала, интервал времени, определяющий момент предъявления сигнала, число предъявлений сигнала, а в качестве стимулов при измерении – тональные сигналы разной частоты. В ходе измерения заполняются и используются БД звуковых сигналов, операторов и результатов измерений.

Предполагается применение программного комплекса для работы в составе системы управления химико-технологическим процессом. Комплекс может рассматриваться как инструмент для косвенной оценки состояния центральной нервной системы оператора. Основой передачи результатов измерения другим программным системам является сохранение результатов в форматах *.cds и *.txt.

Результаты апробации комплекса показывают, что характер влияния совокупности внешних факторов на время аудио-моторной реакции оператора носит мультипликативный характер.

Ключевые слова: звуковой сигнал, время, оператор, программный комплекс, реакция.

Функционирование оператора в составе систем управления и контроля становится все более характерным для современного производства [1]. В подсистемах оповещения и сигнализации в АСУ химико-технологическими и биотехнологическими процессами широко используются звуковые сигналы. Их применение для формирования сообщений аварийной и предупредительной сигнализаций обусловлено тем, что время реакции человека на звуковой сигнал меньше времени реакции на тактильное раздражение и восприятие звука в меньшей степени зависит от положения головы оператора, чем при использовании зрительного анализатора. Кроме того, использование звуковых сигналов позволяет снизить информационную сложность панелей оператора.

Данные соображения являются предпосылкой для использования дополнительных обратных связей в АСУ, обуславливающих передачу в систему управления информации о характеристиках оператора как составляющего компонента системы. Время отклика оператора на изменения в системе управления и управляемом процессе может косвенно оцениваться по времени простых сенсорно-моторных реакций оператора на программно формируемые раздражители (в нашем случае – время простой аудио-моторной реакции при срабатывании звуковой сигнализации).

Метод регистрации сенсорно-моторных реакций благодаря простоте и информативности ис-

пользуется для изучения когнитивных процессов, оценки функционального состояния центральной нервной системы, сенсорной чувствительности [2]. Под временем сенсорно-моторной реакции понимают интервал времени между появлением сигнала и ответной реакцией, который определяется скоростями возбуждения рецептора и послышки возникшего импульса в чувствительный центр, переработки сигнала в центральной нервной системе, принятия решения о реагировании на сигнал, передачи сигнала к началу действия по эфферентным волокнам, развития возбуждения в мышце и преодоления инерции части тела [2].

Время реакции отражает уровень неспецифической и специфической активации центральной нервной системы оператора. Временные и точностные показатели сенсорно-моторной реакции являются относительно постоянным свойством человека на протяжении определенных отрезков онтогенеза и могут рассматриваться как информативные показатели функционального состояния центральной нервной системы [3]. Малое время реакции отражает высокое качество нейрональной активности в ассоциативных зонах префронтальной коры головного мозга оператора, ответственных не только за анализ сенсорных сигналов, но и за организацию моторных реакций в ответ на них. Желательным является контроль сохранения значения времени аудио-моторной реакции оператора АСУ в определенном онтогенезом и опытом опера-

тора диапазоне при заданном уровне акустического и информационного шумов. Этим обусловлена актуальность разработки программного комплекса для измерения времени аудио-моторных реакций операторов АСУ. Предполагается, что комплекс будет использоваться с ПО конкретной АСУ химико-технологическим процессом параллельно с выполнением оператором своих рабочих функций в штатном режиме.

Множество функциональных характеристик комплекса определяется выражением по методике, предложенной при исследовании психофизиологического состояния человека в процессе обучения: $F = \{X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7\}$, где $X1$ – класс объекта и системы управления; $X2$ – возможность дистанционного контроля состояния оператора; $X3$ – возможность проведения тестирования индивидуально и в группе; $X4$ – наличие документации для установки, настройки комплекса и проведения измерений; $X5$ – характеристики тестов, по которым проводится тестирование, и рекомендации по их выбору; $X6$ – свойства аппаратных средств; $X7$ – характеристики и особенности программных приложений [4].

На основе анализа множества функциональных характеристик программный комплекс для контроля времени аудио-моторных реакций оператора можно определить как стационарный, диагностический, функционирующий в составе АСУ, используемый для непрерывного мониторинга состояния нервной системы оператора. Планируется, что косвенным положительным эффектом от внедрения рассматриваемого комплекса будет сокращение времени проектирования интерфейсов НМИ-систем. Постановка задачи контроля состояния центральной нервной системы разработчика программных приложений при использовании систем автоматизированного проектирования связана с необходимостью применения технологии использования системных библиотек при сокращении времени проектирования [5].

Комплекс создавался исходя из опыта проектирования и эксплуатации программных систем для медико-биологических исследований [6, 7]. Выполненные работы включали разработку методики тестирования для определения времени простой аудио-моторной реакции, выбор модели и построение БД звуковых сигналов (стимулов), проектирование программных модулей для измерения времени реакции, хранения результатов тестирования, вывода полученной информации на монитор и сохранения данных измерения в архивных файлах.

При раскрытии перечня координат, определяющих характеристику тестов ($X5$), полагаем, что измерение проводится на рабочем месте и требует не более 0,2 % рабочего времени, число фаз тестирования – две, количество тестов – один, отсутствует параллельное измерение электрофизиологических показателей, при возникновении на объекте управ-

ления нештатной ситуации процесс измерения блокируется.

Обобщенная структура программного комплекса (рис. 1) предусматривает наличие, помимо аппаратного и программного, организационного обеспечения в виде документации, описывающей методику измерения времени реакции (координаты $X4$ и $X5$ множества функциональных характеристик комплекса). В первой фазе тестирования выбирается стимул из БД звуковых сигналов, для которого по результатам измерения времени простой аудио-моторной реакции в серии последовательных измерений среднее время реакции минимально. Первая фаза выполняется однократно перед началом производственного цикла или после перехода объекта и системы управления из нештатного в обычный режим функционирования. Вторая фаза тестирования связана с периодическим измерением времени реакции в ходе работы оператора при использовании определенного в ходе первой фазы типа стимула. Выбор периода измерения определяется свойствами последовательности средних значений времени реакции, получаемых в каждой серии измерений.

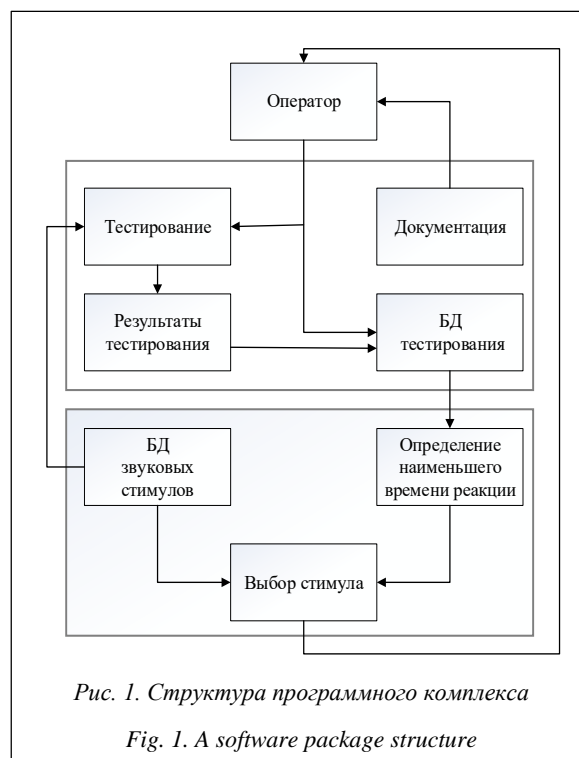


Рис. 1. Структура программного комплекса

Fig. 1. A software package structure

Частота и амплитуда звукового давления стимула настраиваются оператором при выборе типа стимула. В качестве стимула используется тональный сигнал из множества сигналов БД звуковых стимулов с частотой 300, 500, 1 000 Гц. При выборе частоты учитываются требования ГОСТ 21786-76, согласно которым в качестве сигналов аварийной сигнализации используются сигналы частотой от 800 до 5 000 Гц с звуковым давлением 90–100 дБ,

а для сигналов предупредительной сигнализации применяются сигналы с частотой 400–800 Гц и звуковым давлением 80–90 дБ.

Звуковой стимул может возникать либо в устройстве акустической сигнализации АСУ, либо в головных телефонах, которыми комплектуется компьютер оператора. Момент предъявления стимула задается с использованием моделирования псевдослучайной последовательности с равномерным законом распределения [8].

При сравнительном анализе сред Delphi фирмы Borland и Visual Studio фирмы Microsoft для разработки комплекса выбор сделан в пользу Delphi, которая поддерживает концепцию структурного программирования на встроенном в нее языке Object Pascal. Выбор был обусловлен наличием полного набора типов данных и возможностью автоматического создания проекта, включающего в себя файлы разных типов.

Требования к аппаратному обеспечению программного комплекса предусматривают наличие компьютера на базе Pentium I 100 МГц с RAM 16 Мб, с разрешением экрана не менее 800 на 600 точек, с установленной звуковой картой, способной обеспечить воспроизведение файлов типа *.wav. Желательно наличие персонального компьютера на базе Pentium IV (Celeron) 1 700 МГц с RAM 256 Мб, с разрешением экрана 1 024 на 768 точек.

Для функционирования программного комплекса необходима установка одной из операционных систем Windows NT 4.0 SP5 и выше.

Для чтения и генерации файлов результатов измерения в формате *.xls необходимо ПО MS Office (Excel) 97 и выше.

На первые версии программного комплекса получены свидетельства на программы для ЭВМ.

В данных версиях используются 12 внутренних программных модулей и 1 встроенный в установщик внешний модуль. Все полученные данные результатов измерения архивируются в БД в текстовом файле с расширением *.cds с возможностью сохранения в виде *.txt и переноса данных в таблицы Excel.

Результат измерения кодируется в виде $T = \langle N, BP, BT \rangle$, где N – номер проводимого измерения; BP – время реакции тестируемого, мс; BT – время и дата проведения тестирования (см. http://www.swsys.ru/uploaded/image/2017_2/2017-2-dop/2.jpg).

Настроечными параметрами комплекса при проведении измерения являются число предъявления стимула (число повторений) и границы интервала времени между последовательным появлением звуковых сигналов, в пределах которого случайным образом формируется время подачи акустического тонального сигнала оператору (см. http://www.swsys.ru/uploaded/image/2017_2/2017-2-dop/3.jpg). Время подачи определяется на основе генератора псевдослучайных чисел с использованием равномерного закона распределения.

Результаты измерения отражаются в виде двух связанных таблиц, являющихся частью БД тестирования. Первая таблица отображает табельный номер оператора, Ф.И.О., дату рождения, пол, а вторая – время реакции и время измерения (см. http://www.swsys.ru/uploaded/image/2017_2/2017-2-dop/4.jpg).

Апробация и верификация программного комплекса показали, что средние значения времени простой аудио-моторной реакции оператора на описанные выше стимулы в одной серии измерения при повторении измерений ежедневно в течение месяца можно рассматривать как выборочную реализацию значений квазистационарного случай-

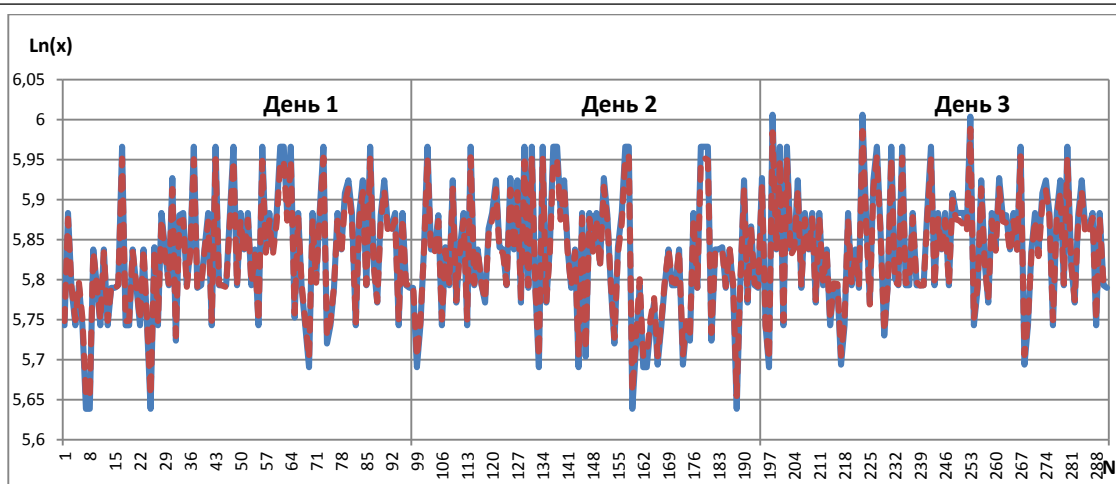


Рис. 2. Фрагмент выборочной реализации логарифма времени ($\ln(x)$) простой аудио-моторной реакции оператора при апробации программного комплекса

Fig. 2. A fragment of selected time log implementation ($\ln(x)$) of operator's simple audio motor reaction when testing a software package

ного процесса с логнормальным законом распределения (рис. 2). Это говорит о мультипликативном характере воздействия внешних факторов на время простой аудио-моторной реакции оператора АСУ химико-технологическим процессом. Причины и значимость учета вариабельности показателей времени реакции при исследованиях не рассматривались.

Для определения удобства работы оператора с комплексом при применении клавиатуры Microsoft Natural Ergonomic Keyboard 4000v1.0, встроенной аудиокарты GIGABYTE AMP-UP, головных телефонов Nama Insomnia H-51828 были проведены работы по оценке удобства пользования в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. В результате установлено, что интерфейс имеет положительную оценку удобства пользования.

В ходе работы с комплексом оператор открывает пять экранных меню (форм). В главном меню осуществляются переходы в меню База данных, Тестирование, Результаты тестирования, Информация о программе. Форма База данных предоставляет доступ к БД операторов и результатов измерения времени реакции оператора. Форма Тестирование предназначена для настройки параметров проведения теста. В ней выбирается тип звукового сигнала, устанавливаются число и интервал повторения сигнала. В ходе последовательного нажатия выбранной функциональной клавиши на клавиатуре с использованием данной формы осуществляется само измерение. Фиксация результатов измерения обеспечивается нажатием кнопки Результат. В меню Результаты тестирования отображаются результаты проведенного измерения. Результаты можно сохранить в текстовом формате или/и в БД. Форма Информация о программе содержит в себе инструкции по работе с программным комплексом.

Расчет среднего прогнозируемого времени аудио-моторной реакции оператора можно провести на основе определения антилогарифма, получаемого по модели авторегрессии третьего порядка от логарифмов средних результатов измерений в одной серии наблюдений. Для определения по-

рядка авторегрессии использовался подход, предложенный в [9]. В качестве основы для разработки математического обеспечения прогнозирования интегральной характеристики функционального состояния нервной системы по данным времени аудио-моторной реакции может использоваться методика из [10]. Время аудио-моторной реакции является одной из составляющих для оценки психомоторики оператора и выбора стратегии управления химико-технологическим процессом на основе минимизации потерь в ходе человеко-машинного взаимодействия.

Разработанный программный комплекс может выступить в качестве прототипа серийной разработки ПО для получения и прогнозирования оценок состояния центральной нервной системы оператора при функционировании в составе АСУ.

Литература

1. Епанешникова Е.К., Федоров В.К. Проблемы изучения человеческого фактора в инновационных процессах // Инновации. 2008. № 3. С. 56–59.
2. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (обзор) // Вестн. САФУ. Сер. Медико-биологические науки. 2015. № 1. С. 38–48.
3. Шутова С.В., Муравьева И.В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС // Вестн. ТвГУ. 2013. Т. 18. Вып. 5. С. 2831–2840.
4. Ахремчик О.Л. Характеристики аппаратно-программных комплексов для психофизиологического тестирования обучаемых // Вестн. ТвГТУ. 2014. № 2. С. 38–41.
5. Слета В., Гурьянов Л. От измерения и обработки тегов к объектам и быстрой разработке автоматизированных систем // Control engineering Россия. 2015. № 6. С. 20–23.
6. Дюк В.А., Эммануэль В.Л. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. СПб: Питер, 2003. 528 с.
7. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология в клинической и исследовательской практике. М.: 1999. 330 с.
8. Бобнев М.П. Генерирование случайных сигналов. М.: Энергия, 1971. 239 с.
9. Akaike H. Fitting autoregressive models for prediction. Annals of the institute of statistical mathematics, 1969, no. 21, pp. 243–247.
10. Лоскутова Т.Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции // Физиологический журнал СССР им. И.М. Сеченова. 1975. № 1. С. 3–11.

A SOFTWARE PACKAGE TO MEASURE TIME OF AUDIO MOTOR REACTION OF CHEMICAL TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL SYSTEM OPERATORS

*O.L. Akhremchik*¹, *Dr.Sc. (Engineering), Associate Professor;*

*I.I. Bazulev*¹, *Postgraduate Student, bazulevivan@gmail.com*

¹ *Tver State Technical University, Nikitin Quay 22, Tver, 170026, Russian Federation*

Abstract. Time of the operator's sensory-motor response is a basis for choosing models of information representation and the strategy of chemical and technological process control to minimize losses during human-computer interaction. Sound signal application for forming messages of abnormal and preventive alarms leads to the need of development of methods and monitoring aids of audio-motor response time.

The paper considers the structure, functional characteristics and the main components of a software package for measuring simple audio motor reaction time of a control system operator. According to the structural programming conception, Delphi means are selected to implement the complex. The paper describes screen forms types of the program complex and possible operator actions to use the forms.

As complex set-up parameters it is offered to use a type of a sound signal; time interval defining the moment of signal appearance; a number of signal presentations. The different frequency tone signals are used as incentives for measurement. Databases of sound signals, operators and measurement results are filled and used during measurement.

The software package might be applied to operate as a part of a control system of chemical and technological process. The package may be considered as a tool for indirect estimation of the status of the operator's central nervous system. A basis of measurement results transfer to other program systems is saving results as *.cds and *.txt.

The package approbation results show that the nature of influence of external factor set on operator's audio motor reaction time has a multiplicative character.

Keywords: audio signal, time, operator, software package, reaction.

References

1. Epaneshnikova E.K., Fedorov V.K. The problems of studying a human factor in innovation processes. *Innovatsii* [Innovations]. 2008, no. 3 (113), pp. 56–59 (in Russ.).
2. Nekhoroshkova A.N., Griбанov A.V., Deputat I.S. Sensomotor reactions in psychophysiological studies (review). *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federalnogo universiteta. Ser. "Mediko-biologicheskie nauki"* [Vestnik of Northern (Arctic) Federal Univ. Jour. of Medical and Biological Research]. 2015, no. 1, pp. 38–48 (in Russ.).
3. Shutova S.V., Muravyeva I.V. Sensorimotor reactions as characteristics of functional state of CNS. *Vestnik TGU. Ser. Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Tambov University Reports. Series Natural and Technical Sciences]. 2013, vol. 18, iss. 5, pp. 2831–2840 (in Russ.).
4. Akhremchik O.L. Characteristics of hardware and software packages for psychophysiological testing of trainees. *Vestnik Tverskogo gos. tekhnicheskogo univ.* [Bulletin of Tver State Technical Univ.]. 2014, no. 2 (26), pp. 38–41 (in Russ.).
5. Sleta V., Guryanov L. From measuring and tag processing to objects and fast development of automated systems. *Control engineering Rossiya* [Control Engineering Russia]. 2015, no. 6, pp. 20–23 (in Russ.).
6. Dyuk V.A., Emmanuel V.L. *Informatsionnye tekhnologii v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh* [Information Technologies in Biomedical Research]. St. Petersburg, Piter Publ., 2003, 528 p.
7. Kulaichev A.P. *Kompyuternaya elektrofiziolgiya v klinicheskoy i issledovatel'skoy praktike* [Computer Electrophysiology in Clinical and Research Practice]. Moscow, 1999, 330 p.
8. Bobnev M.P. *Generirovanie sluchaynykh signalov* [Random Signal Generation]. Moscow, Energiya Publ., 1971, 239 p.
9. Akaike H. Fitting autoregressive models for prediction. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*. 1969, no. 21, pp. 243–247.
10. Loskutova T.D. Estimation of human central nervous system functional status by simple motor reaction parameters. *Fiziologicheskyy zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova* [Physiological Journal n.a. I.M. Sechenov]. 1975, no. 1, pp. 3–11 (in Russ.).

Примеры библиографического описания статьи

1. Ахремчик О.Л., Базулев И.И. Программный комплекс для измерения времени аудио-моторных реакций операторов систем управления химико-технологическими процессами // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30. № 2. С. 328–332; DOI: 10.15827/0236-235X.118.328-332.
2. Akhremchik O.L., Bazulev I.I. A software package to measure time of audio motor reaction of chemical technological process control system operators. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2017, vol. 30, no. 2, pp. 328–332 (in Russ.); DOI: 10.15827/0236-235X.118.328-332.