

УДК 004.94+519.24

# УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНОСТЬЮ ЗАДАЧ: ПОСТАНОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

**О.В. Жвалевский**

*Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН*  
Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., дом 39  
E-mail: ozh@iias.spb.su

**С.Б. Рудницкий**

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*  
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: sbr@spiiras.ru

**Ключевые слова:** эргатическая система, оператор сложной системы, функциональное состояние, тренажер, симулятор, биологическая обратная связь, функциональный тест.

**Аннотация:** В работе рассматривается проблема создания специализированных игровых сред (симуляторов) предназначенных для оценки текущего уровня трудоспособности оператора сложной эргатической системы. Рассмотрена организация простого измерительного эксперимента и описывается возможность построения на его базе серий функциональных тестов постепенно увеличивающегося уровня сложности. Такие измерительные эксперименты могут стать основой для создания объективных шкал, оценивающих текущий уровень трудоспособности оператора.

## 1. Введение

*Эргатическая* система — это сложная система, неотъемлемой частью которой является *оператор* — человек, выполняющий при помощи данной системы определенный круг задач. Это может быть водитель транспортного средства, диспетчер (на железной дороге или в авиации), оператор атомной электростанции и других критически важных систем. Еще один важный класс систем, которые также естественно рассматривать как эргатические, составляют всевозможные *тренажеры*, предназначенные для обучения операторов профессиональным навыкам. Это могут быть системы как в виде относительно простых решений на базе персональных компьютеров, до полноценных имитаторов рабочего места оператора, дополненного виртуальной реальностью.

Одна из важнейших проблем — это оценка функционального состояния (ФС), и, в целом, профессиональной пригодности оператора решать поставленные перед ним задачи [1-3]. Прежде всего, необходимо оценить то, как, в целом, оператор справляется с решением своих текущих задач. В этом случае составляется набор типовых тестов, проверяющих уровень владения навыками, и, если оказывается, что уровень владения недостаточен, предлагается набор типовых заданий, позволяющих оператору более полно овладеть профессиональными навыками. Кроме того, целесообразно оценивать эффективность действий оператора непосредственно во время выполнения им своих прямых обязанностей. Если текущая производительность оператора падает, то может быть принято управленческое решение о необходимости отдыха для данного оператора или снижения нагрузки на него путем передачи части выполняемых им задач другому

оператору. Оценка ФС оператора, осуществляемая во время его работы, позволит предупреждать опасные ситуации (засыпание, потеря сознания и т.п.). Особое значение оценка ФС представляет для обнаружения признаков возможного в ближайшее время снижения эффективности работы оператора, когда уровень его текущей трудоспособности оценивается как по тому, как оператор выполняет свои задачи, так и по тому, как меняется его ФС.

Для того, чтобы оценивать эффективность действий оператора, а также оценивать и повышать уровень его профессиональной пригодности, целесообразно создавать специализированные тренажеры или симуляторы, которые содержат расширяемый набор функциональных тестов увеличивающегося уровня сложности. В настоящей работе рассматривается организация простого измерительного эксперимента и описывается возможность построения на его базе серий функциональных тестов постепенно увеличивающегося уровня сложности. Работа завершается основными выводами и описанием перспективного плана дальнейших исследований.

## 2. Организация измерительного эксперимента

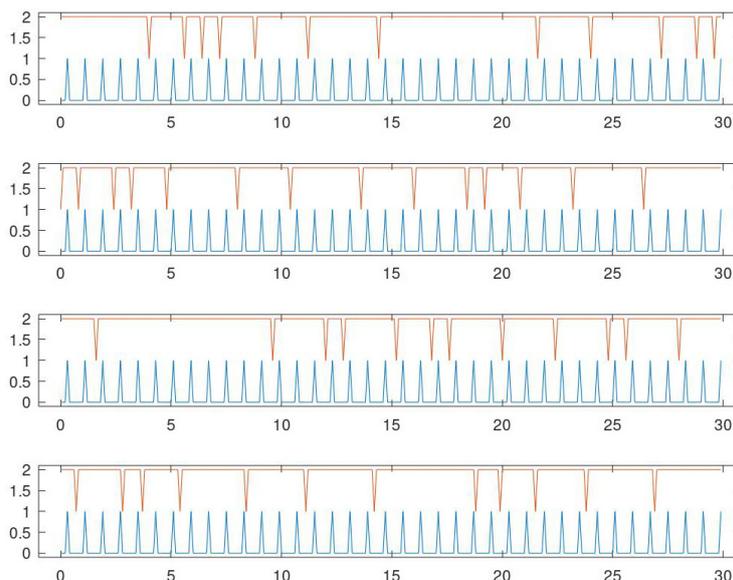
Симулятор — это программная система, представляющая для пользователя вид игровой среды. Внутри игровой среды имеются объекты, которыми может управлять пользователь системы. Управление заключается в совершении каких-либо действий, осуществляемых при помощи клавиатуры, манипулятора «мышь», джойстика или какого-нибудь более сложного манипулятора, соответствующего реальному органу управления конкретной системы, например, пульта управления беспилотного летательного аппарата. Симулятор может полностью имитировать рабочую обстановку и служить средством для обучения оператора всем необходимым профессиональным навыкам, но, в общем случае, это может быть «абстрактная» игровая среда, позволяющая работать с «абстрактными» игровыми объектами. Наиболее продвинутый вариант симулятора — это полноценная виртуальная реальность.

Для того, чтобы адекватно оценивать уровень текущей трудоспособности оператора, необходимо иметь объективную шкалу сложности решаемых им задач. Тогда оценка будет заключаться в прохождении оператором некоторой компьютерной «игры». Такую компьютерную «игру» можно представить в виде последовательности функциональных тестов постепенно увеличивающейся сложности. В первом приближении, представляется целесообразным предъявлять пользователю некоторые стимулы или воздействия. В этом случае, основная задача пользователя будет заключаться в своевременной реакции на предъявляемые ему стимулы. Опишем самый простой измерительный эксперимент указанного здесь вида.

Предположим, имеется набор простых геометрических фигур: круг, квадрат и треугольник. Самая простая «компьютерная игра» состоит в предъявлении оператору данных геометрических фигур, при этом оператор должен отмечать фигуры только какого-то одного определенного вида. С каждой фигурой (помимо, собственно, вида самой фигуры, определяющего алгоритм ее отрисовки) связаны два параметра: период (длительность) присутствия (отображения) на экране  $T$  и период (длительность)  $T^*$ , когда фигура отсутствует на экране. Управляя двумя данными параметрами, можно исследовать то, как меняется реакция оператора на предъявляемые ему фигуры. Если период  $T$  отображения фигуры слишком мал, то у оператора может быть крайне мало времени для того, чтобы заметить фигуру. В то же время, если сами фигуры предъявляются слишком часто, и период  $T^*$  слишком мал, то оператор может пропустить нужную фигуру, особенно, если время его реакции слишком велико. Таким образом, с каждым появлением фигуры связаны два момента времени: момент времени

$t_i$  ( $i = \overline{1, K}$ ), когда фигура непосредственно появляется на экране, и момент времени  $t_i^*$  ( $i = \overline{1, K}$ ), когда фигура стирается с экрана, а  $K$  — это общее количество предъявляемых оператору фигур.

В простейшем функциональном тесте предъявляемая оператору фигура отображается на экране определенное (одно и то же) время и с некоторой также определенной (заранее заданной) частотой. При этом, используются фигуры трех типов (квадрат, треугольник и круг), и оператору необходимо отмечать появление треугольника (фигура типа 2). В результате, получается картина, пример которой представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Пример экспериментальных данных. Имеется три типа фигур (три верхних графика) и реакция оператора (нижний график), помеченная красным цветом. Распределение типов фигур равномерное. Целевая фигура имеет тип 2 (второй сверху график). Синим цветом отмечены моменты времени, соответствующие исчезновению каждой фигуры с экрана.

Увеличение сложности функционального теста связывается, прежде всего, с увеличением частоты отображения фигур. Если, при этом, остается фиксированным период  $T$ , то увеличение частоты происходит за счет уменьшения периода  $T^*$ . Период  $T^*$  не может быть слишком маленьким, чтобы у оператора не происходило слияние фигур различных типов (и чтобы различные фигуры не сильно накладывались друг на друга по времени). Если, наоборот, остается фиксированным период  $T^*$  (сохраняя оператору возможность вовремя среагировать на целевую фигуру, а также — «переключиться» с одной фигуры на другую), то увеличение частоты происходит за счет уменьшения периода  $T$ . Период  $T$  не быть слишком маленьким, чтобы у оператора сохранялась возможность заметить каждую фигуру. Таким образом, имеются, по крайней мере, два, во многом, противоположных сценария, при помощи которых можно строить серии функциональных тестов постепенно повышающегося уровня сложности. Кроме того, возможно применение и смешанной стратегии, когда одновременно изменяются оба периода (и  $T$ , и  $T^*$ ) в соответствии с некоторым заранее заданным законом.

Дальнейшие усложнения функциональных тестов заключаются уже в увеличении общего количества типов отображаемых фигур, в увеличении количества одновременно отображаемых фигур, в изменении способа отображения самих фигур. В

частности, можно задавать динамически изменяемую интенсивность отображения каждой фигуры и исследовать, насколько эта интенсивность влияет на способность оператора правильно реагировать. Также могут усложняться и сами задания, когда, скажем, оператору необходимо будет реагировать на треугольники только какого-то одного цвета или какого одного размера. Требуемые цвет и размер могут указываться прямо во время проведения эксперимента.

Представляется очевидным необходимость в существенной рандомизации проводимых измерительных экспериментов. В частности, здесь необходимо исследовать влияние на результаты экспериментов выбора отображаемых цветов, размера игрового поля. В этом случае, для получения полных данных потребуются проводить дополнительное психологическое тестирование, позволяющее определить психологический тип оператора, общий подход оператора к восприятию и принятию решений, а также к восприятию цвета и формы отображаемых фигур.

Более сложная организация построения измерительного эксперимента заключается в построении динамических фигур. Такие фигуры можно рассматривать, в первом приближении, как последовательность обыкновенных (статических) фигур, достаточно тесно расположенных во времени. В этом случае, уже необходимо отдельно исследовать способность каждого оператора воспринимать поток статических фигур как единую (динамическую) фигуру.

Следующий шаг в развитии симулятора — это появление на экране статических элементов и введение в «игру» законов взаимодействия объектов различных типов, что превращает симулятор в полноценную компьютерную игру, где оператору придется выполнять (под контролем экспериментатора) задания более сложные, чем отмечание фигуры заданного типа. Это означает, что при программной реализации симулятора можно взять за основу любую существующую игру (например, тот же «Тетрис») и дополнить его модулем управления сложностью и модулем аналитической обработки экспериментальных данных.

Особый интерес представляет построение симуляторов с применением биологической обратной связи, когда результаты оценки текущей производительности оператора оказывают влияние на функционирование игровой среды. В этом случае, появляется возможность целенаправленного изменения типов и степени сложности используемых функциональных тестов, что позволяет строить индивидуальный план эксперимента для исследования каждого отдельного оператора.

### 3. Заключение

Оценка уровня текущей эффективности оператора сложной эргатической системы — актуальная задача, требующая разработки новых подходов. Один из возможных подходов к решению этой задачи — это построение специализированных сред для предиктивного анализа поведения — симуляторов, позволяющих формировать серии функциональных тестов постепенно увеличивающегося уровня сложности. Основная задача — это построение шкал, позволяющих объективно оценивать сложность выполняемых оператором задач, а, значит, и оценивать его уровень работоспособности. При этом, важно отметить, что, фактически, у каждого оператора имеется своя собственная норма, а это значит, что построение серии измерительных экспериментов должно быть направлено на выявление именно этой индивидуальной нормы. В работе представлена схема простейшего измерительного эксперимента подобного рода, показаны сценарии построения серий функциональных тестов постепенно увеличивающегося уровня сложности. Дальнейшие исследования будут направлены, прежде всего, на реализацию и экспериментальную проверку теоретических

предположений, а также на разработку методов адекватного математического анализа получаемых таким образом экспериментальных данных. С одной стороны, здесь предполагается математическое моделирование, опирающееся на теорию точечных процессов [4], теорию очередей [5] и теорию восстановления [6]. С другой стороны, здесь целесообразно использовать подход, основанный на анализе ошибок классификации и построении ROC-кривых и их более продвинутых аналогов [7]. Кроме того, представляет интерес и построение матричных профилей [8].

Исследование проведено в рамках проекта FFZF-2022-0003.

## Список литературы

1. Жвалецкий О.В., Рудницкий С.Б. К вопросу о построении аппаратно-программных комплексов для оценки функционального состояния операторов сложных систем // Человеческий фактор в сложных технических системах и средах (Эрго-2018): Труды Третьей международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 07 июля 2018 года / Под редакцией А.Н. Анохина, А.А. Обознова, П.И. Падерно, С.Ф. Сергеева. С.Пб.: Межрегиональная общественная организация «Эргономическая ассоциация», 2018. С. 151-158. EDN YUOOVF.
2. Жвалецкий О.В. Управление сложностью задач в эргатических системах на основе оценки функционального состояния оператора // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019, Москва, 17-20 июня 2019 года. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2019. С. 1628-1632. DOI 10.25728/vspu.2019.1628. EDN SVWCNR.
3. Zhvalevsky O., Roudnitsky S. Modelling And Simulation with Biofeedback for Operators Of Human-Machine Systems // In: Hasan Ayaz (Eds.) Neuroergonomics and Cognitive Engineering. AHFE 2022 International Conference. AHFE Open Access. 2022. Vol. 42. AHFE International, USA. <http://doi.org/10.54941/ahfe1001815>.
4. Cox D.R., Isham V. Point Processes, Chapman & Hall/CRC, 1980.
5. Cox D.R., Smith W.L. Queues. Methuen, 1961.
6. Cox D.R. Renewal Theory. Methuen, 1962.
7. Swamidass S. J., Azencott C., Daily K., Baldi P. A CROC stronger than ROC: measuring, visualizing and optimizing early retrieval // Bioinformatics. 2010. Vol. 26, No. 10. P. 1348-1356.
8. Yeh C.C.M., Zhu Y., Ulanova L., Begum N., Ding Y., Dau H.A., Silva D.F., Mueen A., Keogh E. Matrix Profile I: All Pairs Similarity Joins for Time Series: A Unifying View that Includes Motifs, Discords and Shapelets // IEEE ICDM 2016.