

Моделирование изменений бдительности оператора при осуществлении на него внешних воздействий

К. А. Уваров

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
uvarovkirill73@gmail.com

Аннотация. Бдительность является важной когнитивной характеристикой человека, которая очень важна в различных сферах деятельности человека. Программное моделирование данной характеристики необходимо для развития средств контроля и поддержки бдительности человека. В статье представлен обзор современных моделей и способов измерения бдительности оператора. В рамках работы также был спроектирован и реализован эксперимент, в рамках которого производится количественная оценка изменения бдительности оператора.

Ключевые слова: когнитивные измерения, бдительность, PVT, моделирование

I. ВВЕДЕНИЕ

Внимание и бдительность, как особая форма внимания, играют важную роль в получении и использовании информации из окружающей среды. Эти когнитивные характеристики были важны как многие сотни лет назад, когда человека постоянно окружала опасность, так и в современном мире.

Многие виды деятельности требуют, чтобы уровень бдительности человека поддерживался на высоком уровне постоянно. Примером является вождение автомобиля. Невнимательность и сонливость человека является одной из основных причин дорожно-транспортных происшествий [1]. Поэтому, с каждым годом всё активнее развиваются программные и аппаратные комплексы для поддержки бдительности человека. Для предотвращения дорожных происшествий по причине нахождения водителя в «отвлеченном» состоянии возрастает необходимость следить за состоянием водителей, а также выявлять аномалии в поведении на ранней стадии. Производители автомобилей разрабатывают и внедряют специальные интеллектуальные системы мониторинга водителей. Система мониторинга водителя состоит из 2 основных частей: система обнаружения и система противодействия.

Система обнаружения, анализируя данные с различных источников (например, видеокамер, носимых устройств, датчиков автомобиля), определяет состояние водителя. Система противодействия использует различные контрмеры для повышения бдительности человека во время движения автомобиля. Существующие доступные системы противодействия могут предоставлять обратную связь в виде уведомлений или предупреждений на приборной панели или информационно-развлекательной системе. Примером

такого предупреждения может быть отображение «чашки кофе», которое может сопровождаться звуковым оповещением. Также, некоторые системы могут просто информировать водителя об уровне бдительности, выводя эту информацию в виде шкалы бдительности.

При создании подобных средств, разработчики сталкиваются с проблемой первоначального тестирования разработанных устройств или программных продуктов. В случае разработки системы помощи водителю, тестирование подобных систем на реальных водителях может привести к аварии. Выходом из данной ситуации, является проведение тестирования на вычислительной модели бдительности оператора. Модель на основе некоторых параметров генерирует и моделирует бдительность, которая меняется во времени.

Способность прогнозировать работоспособность и усталость в той или иной ситуации востребована людьми в различных сферах деятельности. Это включает в себя отдельных лиц, пытающихся максимально использовать свое время и эффективность, работодателей, делающих то же самое для своих сотрудников, и сотрудников службы безопасности, пытающихся определить, подходит ли оператор для выполнения их работы. Например, модель бдительности требуется для прогнозирования усталости пилотов в авиационной промышленности, поскольку ухудшение летных способностей пилотов может привести к большой потере денег и даже жизни.

В данной статье рассматривается проектирование и разработка эксперимента для количественной оценки изменения бдительности человека, а также оценки влияния внешних воздействий на уровень бдительности человека.

II. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ БДИТЕЛЬНОСТИ

Исследования способов моделирования и прогнозирования усталости и производительности проводятся течение длительного времени. Основная проблема при разработке подобных моделей заключается в том, что внимание и бдительность – это сложные когнитивные процессы, на которые влияет большое количество факторов. Чтобы имитировать человеческое поведение в дополнение к характеристикам, которые можно вычислить, требуется знать когнитивные и психологические законы, по которым работает человеческий мозг, и с помощью которых он принимает различные решения. В целом, все реальные модели, имитирующие внимание или усталость человека, можно разделить на 2 типа:

- Модели, созданные с использованием когнитивных архитектур.
- Биоматематические модели бдительности.

А. Модели, созданные с использованием когнитивных архитектур

Для моделирования сложных задач, связанных с поведением человека, активно используются различные когнитивные архитектуры, которые позволяют описывать процесс принятия решений. Когнитивная архитектура – это общая структура для определения вычислительных поведенческих моделей когнитивной деятельности человека. Архитектура воплощает в себе как возможности, так и ограничения человеческой системы – например, такие способности, как забывание и запоминание, обучение, восприятие и двигательные действия; и ограничения, такие как ухудшение памяти, фoveальное и периферическое зрение, а также ограниченная двигательная активность. Таким образом, когнитивная архитектура помогает гарантировать, что когнитивные модели, разработанные в рамках этой системы, являются строгими и психологически обоснованными, тем самым соблюдая все ограничения человеческой системы. Когнитивные архитектуры продемонстрировали способность моделировать задачи, варьирующиеся от базовых лабораторных задач до более высокого уровня познания и принятия решений в сложных динамических задачах (например, пилотирование истребителей). Примеры подобных архитектур: ACT-R [2], QN-MHP [3], CASCaS [4] и т. д.

В. Биоматематические модели бдительности

Второй тип моделей, которые позволяют моделировать когнитивные параметры, такие как усталость и бдительность, – это биоматематические модели. В моделях такого типа математически заданы формулы биологических процессов, происходящих в организме человека. Примерами таких моделей являются:

- Трехпроцессная модель бдительности [5].
- FAST [6].
- SAFE [7].

Почти все модели этого типа принимают значения графика сна человека в качестве входных параметров и формируют уровни его бдительности в течение нескольких дней. Поскольку модель генерирует значения бдительности человека в течение нескольких дней, то такая модель не предусматривает никакой возможности повышения уровня бдительности.

Для разработки систем корректирования бдительности оператора, возможностей данных моделей не хватает. В дополнение к моделированию уровня бдительности, также требуется моделирование реакции человека на воздействие, а также учёт работы механизма привыкания к воздействию. В психологии существуют такие теории, как теория возбуждения и теория привыкания. Эти теории концептуально описывают процессы, которые происходят, когда человек подвергается воздействию, как меняется его уровень бдительности и как он привыкает к тем же воздействиям. Но на данный момент в обзоре литературы не найдено математически адекватных моделей, которые

моделируют не только уровень бдительности человека, но и позволяют смоделировать реакцию бдительности на различные воздействия.

III. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БДИТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

По причине отсутствия компьютерных моделей было принято решение провести эксперимент, целью которого является измерение количественных параметров бдительности человека и разработка математической модели бдительности на основе результатов экспериментов. В первую очередь для проведения эксперимента необходим способ, который позволяет количественно оценить текущий уровень бдительности человека. Существуют различные способы оценки бдительности человека:

- Опросы.
- Анализ биологических показателей.
- Задача «Стимул-Реакция».

А. Опросы

Опросы представляют собой самый простой метод оценки бдительности человека. Он не требует никакого дополнительного оборудования или сложного анализа входящих данных. Самым известным примером метода опросов является NASA TLX (NASA task load index) [8]. NASA TLX – инструмент для измерения и проведения оценки субъективной умственной нагрузки. Он оценивает производительность по шести измерениям, чтобы определить общий значение рабочей нагрузки. NASA TLX измеряет рабочую нагрузку с помощью набора вопросов. Однако, несмотря на широкое использование TLX во множестве отраслей, субъективный характер задачи может поставить под угрозу результаты и не дает представления об изменениях рабочей нагрузки на протяжении всей задачи.

В. Анализ биологических показателей

При различных состояниях бдительности биологические показатели человека различаются. Снятие биологических показателей с человека и дальнейший анализ позволит показать уровень бдительности человека. Основными методами для анализа бдительности человека по биологическим показателям являются: электроэнцефалография и кожно-гальваническая реакция.

а) Электроэнцефалография

Электроэнцефалограмма регистрирует электрические сигналы клеток головного мозга и позволяет выявить определенные нейрофизиологические состояния человека. Например, бодрость, усталость, депрессию и др. Анализ графика ЭЭГ позволяет определить изменение бдительности человека в реальном времени. Данный метод является надежным для оценки нейрофизиологических состояний и хорошо показал себя в различных работах. [9][10] Но у электроэнцефалографии также имеются и минусы. В основном это сложность сбора и анализа данных. Для сбора данных требуется специальное дорогостоящее оборудование. Также электроэнцефалограмма очень подробна и в ней фиксируются многие действия человека (например, моргание глаз), которые необходимо фильтровать для получения необходимого набора данных.

b) Кожно-гальваническая реакция

Электрическая активность кожи (ЭАК), ранее именовалась как кожно-гальваническая реакция — биоэлектрическая реакция, которая регистрируется с поверхности кожи, показатель активности вегетативной нервной системы, широко применяемый в психофизиологии. Данный метод также используется для анализа психо-физиологического состояния. [11]

С. Задача «Стимул-Реакция»

Задания типа «Стимул-Реакция» представляют собой альтернативный подход к измерению бдительности человека. Задачи «Стимул-Реакция» широко используются в когнитивной психологии, часто для исследования способности обработки восприятия; также подобный тип задач используется для исследования внимания, возбуждения, усталости и отвлечения внимания. Задачи «Стимул-Реакция» просто требуют, чтобы участники как можно быстрее реагировали на внешние раздражители. Существуют различные вариации таких задач, которые отличаются длительностью, типами стимулов (визуальные, звуковые, тактильные), а также инструментами, с помощью которых их проводят. Примерами таких задач являются: Задача на психомоторную бдительность, Задача реагирования на обнаружение, Задача реагирования на остановку, Задача на устойчивое внимание к ответу.

a) Задача на психомоторную бдительность

Задача на психомоторную бдительность (англ. Psychomotor Vigilance Task – PVT) – это простая задача, когда субъект нажимает кнопку, как только появляется световой индикатор. Свет будет включаться случайным образом каждые несколько секунд в течение 5–10 минут. Цель PVT состоит в том, чтобы измерить устойчивое внимание и дать числовую меру сонливости путем подсчета количества упущений во внимании испытуемого. Результатом теста является набор статистических характеристик реакции нажатия. PVT – является классическим примером методики «Простой зрительно-моторной реакции». Существуют различные способы проведения эксперимента PVT: внешние устройства, реализация на персональный компьютер или реализация на мобильных платформах. Также существуют различные разновидности эксперимента PVT, каждый из которых отличается по временной длительности как самого эксперимента, так и по длительности промежутка между стимулами.

b) Задача реагирования на обнаружение

Задача реагирования на обнаружение (англ. Detection Response Task – DRT) – задача типа «Стимул-Реакция» в которой могут быть несколько типов стимулов: визуальный и тактильный. В случае визуального стимула на испытуемого надевается специальный шлем, на котором находится светодиод, который периодически светится. Это является стимулом, на который участник эксперимента должен среагировать и нажать кнопку. В случае тактильного стимула к участнику крепят вибрирующее устройство, которое вибрирует в случайный момент времени, что тоже является стимулом, на который испытуемый должен среагировать. DRT стандартизован – ISO 17488:2016 Road vehicles – Transport information and control systems – Detection-response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving. В абсолютном

большинстве случаев данный метод используется для анализа бдительности водителей в задаче вождения автомобилем. Также особенностью этого метода является то, что во время эксперимента испытуемый проходит трассу в симуляторе вождения и всё его внимание приковано именно к этому процессу. Так что данный метод позволяет оценить бдительность человека в более реальных условиях.

с) Задача реагирования на остановку

В задаче реагирования на остановку (англ. Brake Response Task) испытуемый, как и в DRT проходит эксперимент, как водитель в автосимуляторе. В автосимуляторе ставится задача следования за впереди движущимся автомобилем, который в случайные промежутки времени резко останавливается – это является стимулом для испытуемого. Нажатие на педаль тормоза – это реакция на стимул, которая ожидается от испытуемого.

d) Задача на устойчивое внимание к ответу

Данная задача относится не только к типу задач «Стимул – Реакция», но также относится к типу «Go/No go» (идти/не идти), которая требует от участников воздержаться от поведенческой реакции на единственную, нечастую цель. Задача на устойчивое внимание к ответу (англ. Sustained Attention to Response Task – SART) относится к методике «Сложной зрительно-моторной реакции», когда в зависимости от зрительного стимула пользователь должен реагировать на «правильный» стимул и не должен реагировать на «неправильный». В рамках задачи на экране компьютера появляются различные числа, при появлении которых испытуемый должен нажать клавишу клавиатуры. Также существует определенное число, при появлении которого испытуемый не должен нажимать клавишу (часто цифру 3). Существуют доказательства, подтверждающие роль SART как показателя рабочей памяти, устойчивого внимания и контроля импульсов/торможений. Чтобы хорошо проходить данный тест, испытуемые должны оставаться достаточно внимательными к своим реакциям, чтобы при появлении цели они могли подавить доминирующую преимущественную двигательную реакцию и заменить ее непосредственно антагонистической реакцией (т.е. воздержаться от нажатия кнопки).

IV. РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальные исследования проводятся с целью разработки вычислительной модели бдительности человека. Данная модель должна моделировать следующие свойства: количественное изменение бдительности во времени, а также изменение уровня бдительности при внешних воздействиях. На этапе проектирования эксперимента были сформированы 2 гипотезы, которые будут проверяться в рамках эксперимента: монотонная деятельность приводит к снижению уровня бдительности человека, внешние стимулы могут повысить бдительность человека.

В качестве метода определения бдительности была выбрана задача на основе подхода «Стимул-Реакция». В основе используемого способа был выбран метод PVT. Основные отличия от классического способа PVT в том, что в рамках разрабатываемого эксперимента исследуется не только значение бдительности в определенный промежуток времени, а также изменение

бдительности в течение длительного времени. Как было сказано ранее, существуют различные версии PVT, которые различаются по длительности (3, 5 и 10 минут). Разрабатываемый эксперимент длится 40 минут. Большая длительность эксперимента выбрана для того, чтобы зафиксировать изменение бдительности во времени. Также в большинстве программных реализаций PVT в качестве визуального стимула используется числовое значение миллисекунд, которое прошло с начала стимула. В разрабатываемом эксперименте, используется просто визуальный стимул в виде слова «Stimul» на экране. Данная модификация была сделана с целью избежать дополнительной стимуляции человека, в виде желания улучшить свой предыдущий результат.

А. Программная реализация эксперимента

В течение почти двух десятилетий психологи и ученые-бихевиористы используют Интернет для сбора данных для своих исследований. Два ключевых фактора способствовали быстрому развитию веб-исследований. Во-первых, стало намного проще набирать участников, используя коммерческие панели и позволяя исследователям проводить эксперименты, которые могут занять недели в лаборатории, за считанные дни или часы. Во-вторых, веб-технологии активно развились до того уровня, чтобы относительно легко проводить эксперименты в режиме онлайн. Данный эксперимент также разрабатывался с учетом того, что он будет проводиться в Интернете.

На данный момент существует несколько программных модулей и продуктов, которые позволяют конструировать психологические и поведенческие эксперименты. Основные продукты и программные модули: PsychToolBox, PsychoPy, NBS Presentation, E-Prime, Experiment, OpenSesame, Gorilla, jsPsych, Testable, Lab.js. Для реализации нашего эксперимента был выбран программный пакет PsychoPy. Он был выбран по нескольким причинам:

- Имеет возможность разработки экспериментов, как для проведения в лаборатории, так и для проведения онлайн-экспериментов.
- Бесплатное использование.
- Имеет собственную онлайн-платформу для запуска, хранения и распространения экспериментов.
- Показал лучшие результаты в точности времени реакции при проведении онлайн-эксперимента среди сравнения различных аналогичных пакетов [12].

Общая схема эксперимента представлена на рис. 1. В начале эксперимента каждому участнику показывается инструкция по прохождению эксперимента. После инструкции начинается цикл с заданиями «Стимул-Реакция». В начале каждой итерации цикла генерируется случайное значение МИ (межстимульный интервал), по окончании которого происходит показ стимула испытуемому, обработка реакции от него, а также обратная связь испытуемому в виде сообщения на экране. После окончания каждой итерации цикла происходит проверка длительности проведения эксперимента, на основе которой определяется, продолжать эксперимент или нет. Параметрами

длительности проведения эксперимента являются: общая длительность эксперимент – 40 минут, интервал генерации ISI – [14 сек.; 56 сек.]. Данный интервал был выбран по как пропорциональное увеличение интервала для PVT длительностью 3 минуты. На рис. 2 показан график прохождения эксперимента одним из испытуемых. Красной линией отмечена временная метка, когда включался звуковой стимул.



Рис. 1. Общая схема эксперимента

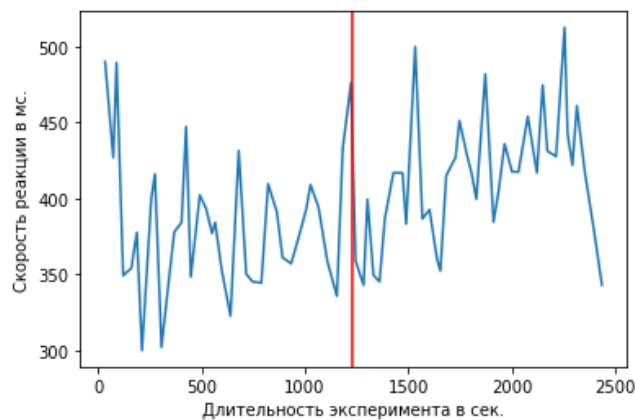


Рис. 2. График прохождения эксперимента одним из испытуемых

Одной из гипотез, которые проверяются в эксперименте, является гипотеза о том, что внешние стимулы могут повлиять на бдительность человека. Для проверки данной гипотезы была разработана модифицированная версия эксперимента. После 20 минут эксперимента в доработанной версии появлялось звуковое воздействие, которое длилось 3 минуты. Чтобы опровергнуть или подтвердить данную гипотезу, участники эксперимента были разбиты на

2 группы: группа, которая проходит стандартный эксперимент без воздействий (контрольная группа) и группа, которая проходит версию эксперимента с воздействиями.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы была рассмотрена проблема измерения значения бдительности человека. Бдительность человека – когнитивная характеристика, которая очень важна в различных сферах деятельности человека. Для разработки различных средств контроля и поддержания бдительности человека требуются вычислительные модели, которые позволят смоделировать данную характеристику. На данный момент подобных моделей не найдено и был разработан эксперимент, на основе результатов которого будет построена модель бдительности человека. Данная модель должна будет моделировать изменение бдительности человека во времени, а также моделировать изменение бдительности человека при внешних воздействиях на него.

Следующим этапом данной работы выделено 2 направления:

- Обработка данных эксперимента и разработка вычислительной модели бдительности человека.
- Проведение более сложного эксперимента, который позволит оценить влияние различных видов воздействий (звуковое, визуальное, тактильное).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Organization W.H. Summary: Global Status Report on Road Safety 2018. World Health Organization. 2018.
- [2] Anderson J.R., Lebiere C.J. The Atomic Components of Thought // *At. Components Thought*. 2014. Т. 3, № 2. С. 1999.
- [3] Liu Y., Feyen R., Tsimhoni O. Queueing Network-Model Human Processor (QN-MHP): A Computational Architecture for Multitask Performance in Human-Machine Systems. 2006. Т. 13, № 1. С. 37–70.
- [4] Lüdtkе A., Osterloh J., Mioch T., Rister F., Looije R. Cognitive modelling of pilot errors and error recovery in flight management tasks // *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*. 2010. Т. 5962 LNCS. С. 54–67.
- [5] Åkerstedt T., Folkard S. The three-process model of alertness and its extension to performance, sleep latency, and sleep length // *Chronobiol. Int.* 1997. Т. 14, № 2. С. 115–123.
- [6] Hursh S.R., Balkin T., Miller J., Eddy D. The fatigue avoidance scheduling tool: Modeling to minimize the effects of fatigue on cognitive performance // *SAE Tech. Pap.* 2004. № November 2014.
- [7] Spencer M.B., Robertson K.A. The application of an alertness model to ultra-long-range civil air operations // *Somnologie*. 2007. Т. 11, № 3. С. 159–166.
- [8] Hart S.G. NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later // *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc.* 2006. С. 904–908.
- [9] Berka C., Levendowski D., Lumicao M., Yau A., Davis G., Zivkovic V.T., Olmstead R. E., Tremoulet P.D., Craven P.L. EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks // *Aviat. Sp. Environ. Med.* 2007. Т. 78, № 5 II.
- [10] Zhao N., Lu D., Hou K., Chen M., Wei X., Zhang X., Hu B.. Fatigue detection with spatial-temporal fusion method on covariance manifolds of electroencephalography // *Entropy*. 2021. Т. 23, № 10. С. 1–21.
- [11] Boon-Leng L., Dae-Seok L., Boon-Giin L. Mobile-based wearable-type of driver fatigue detection by GSR and EMG // *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*. 2016. Т. 2016-January. С. 1–4.
- [12] Bridges D., Bridges D., Pitiot A., MacAskill M., Peirce J. The timing mega-study: comparing a range of experiment generators, both lab-based and online. 2020. С. 1–29.