

УДК 004.81

Управление когнитивной нагрузкой в производственных информационных системах: нейроэргономический подход и метрики

Чечнев Василий Борисович

gegrev@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлена теоретическая рамка оценки и управления когнитивной нагрузкой пользователя в производственных информационных системах для планирования загрузки персонала. Предлагается мультимодальный подход, сочетающий физиологические показатели и поведенческие признаки взаимодействия. Формулируется интегральный индекс когнитивной нагрузки пользователя и контур адаптаций интерфейса при признаках перегрузки. В результате использования предлагаемого подхода ожидается умеренное снижение физиологических маркеров нагрузки и частоты ошибок при корректной калибровке индекса. Данная работа может быть использована при проектировании когнитивно-ориентированных пользовательских интерфейсов информационных систем.

Ключевые слова: нейроэргономика, когнитивная нагрузка, пупиллометрия, вариабельность сердечного ритма, информационные системы, поддержка принятия решений, планирование загрузки персонала

Cognitive load management in production information systems: a neuroergonomic approach and metrics

Chechnev Vasily Borisovich

gegrev@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. A theoretical framework for assessing and managing the user's cognitive load in production information systems for staff workload planning is presented. A multimodal approach is proposed that combines physiological indicators and behavioral signs of interaction. The integral index of the user's cognitive load and the contour of interface adaptations in case of signs of overload are formulated. As a result of using the proposed approach, a moderate decrease in physiological markers of stress and error rate is expected with the correct calibration of the index. This work can be used in the design of cognitively oriented user interfaces of information systems.

Keywords: neuroergonomics, cognitive load, pupillometry, heart rate variability, information systems, decision support, staff workload planning

Введение. Цифровизация производственных процессов предъявляет повышенные требования к устойчивости внимания и качеству принятия решений в информационных системах планирования загрузки персонала. Ручные расче-

ты в электронных таблицах создают избыточную внешнюю когнитивную нагрузку (КН), так как пользователю приходится тратить значительную часть времени на сбор и подготовку первичных данных. Возрастает и внутренняя КН, так как в процессе планирования необходимо учитывать большое число различных ограничений и критериев корректности разрабатываемого варианта плана. Это ведет к когнитивным перегрузкам, а, следовательно, к росту времени на выполнение задач, числу ошибок и снижению «смысловой» обработки результатов [1]. Одним из шагов к решению данной проблемы является разработка мультимодального подхода с интегральным индексом КН, позволяющим измерять и регулировать с помощью контура адаптации интерфейса когнитивные перегрузки.

Методы и материалы; результаты. Рассматривается система поддержки принятия решений (СППР), которая заменяет ручные операции пошаговой обработкой с многокритериальной оценкой альтернатив. Контур измерений КН включает в себя следующие блоки:

Пупиллометрию как быстрый индикатор когнитивных усилий: фиксируется базовый уровень при стабильной освещенности и контрасте экрана, после этого в процессе выполнения задач оценивается задача-обусловленный мидриаз зрачка относительно базовых параметров [2, 3].

Вариабельность сердечного ритма (ВРС) как фоновый индикатор регуляции: рассчитываются стандартное отклонение интервалов между нормальными ударами сердца и корень из среднего квадрата разностей соседних интервалов между нормальными ударами сердца на окнах, обеспечивающих надежность оценки, с контролем позы, дыхания и артефактов [4].

Поведенческие признаки взаимодействия: длительность этапов, число исправлений, частота обращений к подсказкам.

Интегральный индекс нагрузки предлагается задавать с помощью линейной свертки критериев:

$$I = w_z Z_{\text{зрачок}} + w_v Z_{\text{вариабельность}} + w_p Z_{\text{поведение}}, w_z + w_v + w_p = 1,$$

где $Z_{\text{зрачок}}$ — стандартизованный задача-обусловленный мидриаз зрачка, $Z_{\text{вариабельность}}$ — инвертированная стандартизованная метрика ВРС, монотонно возрастающая при увеличении КН, $Z_{\text{поведение}}$ — единая поведенческая метрика, веса w_z, w_v, w_p определяются регрессией по калибровочным сценариям. Правила адаптации формулируются через пороги индекса: при повышении — сегментация этапов, упрощение графики и добавление контекстных подсказок, а при стабильно низком значении — поэтапное уменьшение внешней поддержки пользователя.

Заключение. Предложенный подход объединяет доступные физиологические и поведенческие показатели в интегральный индекс и задает управляемые правила адаптации интерфейса, что позволяет целенаправленно снижать избыточную внешнюю нагрузку в производственных СППР и повышать эффективность выполнения задач.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Sweller J. Cognitive Load Theory. *Psychology of Learning and Motivation*, 2011, no. 55, pp. 37–76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>
- [2] Kahneman D., Beatty J. Pupil Diameter and Load on Memory. *Science*, 1966, no. 3756, pp. 1583–1585. <https://doi.org/10.1126/science.154.3756.1583>
- [3] Van der Wel P., van Steenbergen H. Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks. *Psychonomic Bulletin Review*, 2018, no. 25, pp. 2005–2015. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1432-y>
- [4] Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*, 2001, № 3, с. 108–127.