

# Применение показателя когнитивной нагрузки графического элемента для обоснования требований к системе визуализации РЛС дальнего обнаружения.

С.В. Мацевич<sup>1,А</sup>, У.А. Владко<sup>2,В</sup>, А.Д. Зюзина<sup>3,С</sup>, М.Н. Мочалов<sup>4,Д</sup>, А.С. Захаров<sup>5,А</sup>

<sup>А</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>В</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия

<sup>С</sup> Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны,  
Ярославль, Россия

<sup>Д</sup> АО «Концерн Воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей», Москва, Россия

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1311-2194, [cvmac@mail.ru](mailto:cvmac@mail.ru)

<sup>2</sup> ORCID: 0009-0007-5907-3879, [ulya.vladko@mail.ru](mailto:ulya.vladko@mail.ru)

<sup>3</sup> ORCID: 0009-0000-6618-6862, [zyuzina9696@mail.ru](mailto:zyuzina9696@mail.ru)

<sup>4</sup> ORCID: 0009-0005-8501-0009, [m.mochalov@almaz-antey.ru](mailto:m.mochalov@almaz-antey.ru)

<sup>5</sup> ORCID: 0009-0000-2617-5317, [zakharov.as17@physics.msu.ru](mailto:zakharov.as17@physics.msu.ru)

## Аннотация

В статье представлены результаты исследования по применению показателя когнитивной нагрузки на оператора РЛС дальнего обнаружения (ДО) при его взаимодействии с графическим элементом системы визуализации РЛС ДО в условиях влияния деструктивных факторов.

Предложена оригинальная методика обоснования требований к структуре системы визуализации, основанная на комплексировании положений теории инженерной психологии, эргономики, когнитивной графики с учётом когнитивных ресурсов оператора РЛС.

Методика формализована в виде задачи минимизации общего критерия, характеризующего эффективность работы операторов и их пропускной способности по информации в системе «человек-машина», с учётом показателя когнитивной нагрузки.

Показано, что применение показателя позволяет обосновать требования к структуре системы визуализации, а именно графическому интерфейсу, способному снизить влияние негативных факторов на оператора РЛС ДО, особенно в условиях жестких временных ограничений.

Приведены результаты вычислительного эксперимента по оценке эффективности применения показателя когнитивной нагрузки при выборе графического элемента системы визуализации, демонстрирующие повышение функциональных характеристик оператора РЛС при выполнении задач.

**Ключевые слова:** система визуализации, графический интерфейс, когнитивная нагрузка, когнитивная графика, радиолокационная станция дальнего обнаружения.

## 1. Введение

Радиолокационная станция дальнего обнаружения (РЛС ДО) является сложной эргатической системой [1]. РЛС ДО выполняет непрерывное наблюдение за околоземным космическим пространством (ОКП). Уровень цифровизации современных РЛС приводит к росту потока технической и фоно-целевой информации, обрабатываемого персоналом РЛС – операторами. Кроме того, развитие ракетно-космической техники, совершенствование информационно-телекоммуникационных технологий, а также мас-

совое внедрение интеллектуальных алгоритмов и систем приводит к существенному усложнению технической составляющей РЛС в процессе ее эксплуатации [2-6]. Поэтому с точки зрения функционирования станции, необходимо учесть особенности деятельности операторов РЛС, как неотъемлемой части всей системы.

На эффективность работы оператора РЛС влияют негативных факторов различной природы (рис. 1). Можно выделить три основные группы факторов:

- связанные с контролем фоно-целевой обстановки;
- связанные с контролем технического состояния систем РЛС;
- когнитивная нагрузка оператора РЛС.

Поскольку около 90% информации о функционировании РЛС операторы получают через систему визуализации (графический интерфейс), то наибольшее влияние негативных факторов оказывается именно при взаимодействии с графическим интерфейсом, что приводит к повышению когнитивной нагрузки на оператора и снижению эффективности выполнения задач.

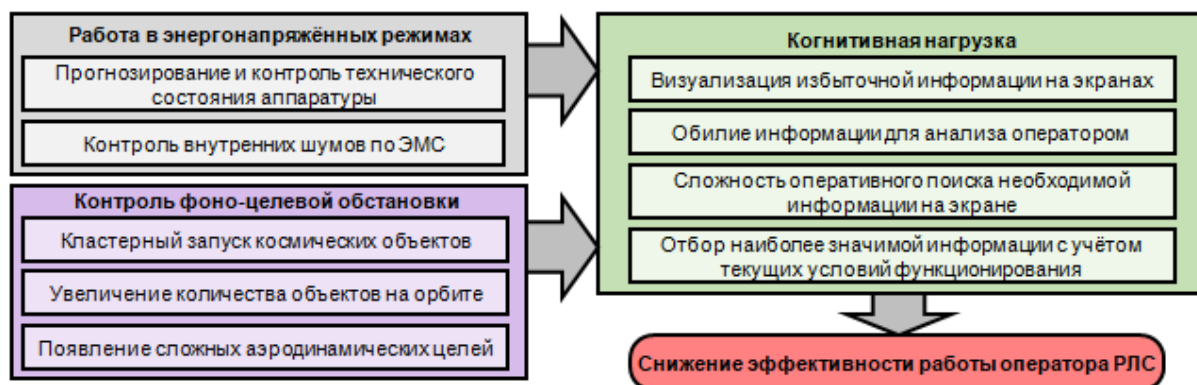


Рис. 1. Влияние негативных факторов на снижение эффективности работы оператора РЛС

Под когнитивной нагрузкой (КН) подразумевается разница между когнитивными требованиями задачи и допустимыми когнитивными ресурсами оператора. Когнитивные ресурсы оператора РЛС – это способность поддерживать концентрацию при выполнении работы: это включает использование памяти (оперативной и долговременной), скорость реакции как на фоно-целевую обстановку, так и на контроль технического состояния РЛС, включающий в себя контроль нештатных ситуаций.

Среди негативных эффектов, обусловленных высокой когнитивной нагрузкой на оператора, можно выделить:

- увеличение количества допускаемых ошибок;
- снижение скорости реакции и взаимодействия.

На данный момент наблюдается активное развитие технологий, имеющих прямое влияние на рост потока целей [7]. В таблице 1 показано влияние факторов фоно-целевой обстановки на РЛС.

Таблица 1. Влияние негативных факторов потока целей на РЛС

Негативный фактор	Влияние на РЛС
Рост числа объектов на околоземной орбите (более 100 тыс. к 2030 году), в том числе появление сложных аэродинамических целей	Избыточность информации для визуализации, ухудшение качества сопровождения целей в условиях воздействия пассивных помех, выдача ложной информации оператору, снижение временного ресурса оператора для принятия решений, необходимость в постоянном контроле за техническим состоянием РЛС при работе в энергонапряженном режиме.

Кластерный запуск космических объектов (Star-link)	Близко-летающие цели («перепутывание траекторий»), повышение вероятности выдачи ложной информации оператору
--	---

Исследования в области систем визуализации [8-12], проведенные зарубежными компаниями, позволили разработать перечень требований к задачам системы визуализации радиолокационных систем в современных условиях усложнения космической обстановки:

- представление информации операторам в трехмерном виде для однозначного восприятия;
- объемная визуализация космической обстановки с полным отображением динамики объектов ОКП;
- повышение скорости восприятия информации, за счёт отображения интенсивной информации на большом ЖК-экране;
- разработка новых способов визуализации многомерной информации с учетом опыта игровых индустрий.

Последнее требование связано с тем, что многие зарубежные компании используют опыт игровых индустрий, в частности опыт разработки удобного и эргономичного графического интерфейса, при модернизации существующих систем мониторинга [13]. Это связано с тем, что создание игровых графических интерфейсов основано в первую очередь на понятности и простоте использования, а также большом размере группы респондентов.

Таким образом, указанные требования обуславливают актуальность разработки новой методики обоснования требований и структуры системы визуализации РЛС ДО на основе показателя когнитивной нагрузки.

## 2. Подходы к обоснованию структуры системы визуализации РЛС

Исходя из предоставляемой операторам информации [14, 15], основными критериями качества системы визуализации РЛС будут:

- время, необходимое на принятие решения в каждой из возможных ситуаций, в том числе нештатной;
- сложность освоения, интуитивность и удобство графического интерфейса для оператора станции;
- понятность и достаточность отображаемой информации в контексте ситуации;
- количество возможных мест произвольных ошибок оператора при взаимодействии с графическим интерфейсом.

Второй и третий критерии можно по смыслу объединить в один общий – когнитивная нагрузка при взаимодействии с системой визуализации.

На данный момент можно выделить 3 основных подхода к обоснованию структуры системы визуализации: когнитивная графика [16], инженерная психология и эргономика [17], а также смешанный психологический подход [18].

Согласно [16], когнитивная графика – это совокупность методов обработки и визуализации многомерной информации в виде компактных изображений (когнитивных образов), предназначенных для ускорения понимания текущей ситуации. Формализацией этой методики является максимизация функционала  $\Phi(G)$ , который описывается параметрами выбранного когнитивного образа с учётом весовой оценки параметров экспертами:

$$\Phi(G) = \sum \lambda_i \Phi_i(G), \quad (1)$$

где  $G$  – когнитивно-графическое представление ситуации, определяемое тройкой  $\langle V, D, L \rangle$ , где  $V$  – множество индикаторов (визуальных сигналов),  $D$  – взаимное располо-

жение индикаторов,  $L$  – множество уровней иерархии в системе когнитивных образов [16]. Визуальный сигнал  $V = \langle Color, Form, Size, Position, Change, Orientation \rangle$ , где *Color* – цвет, *Form* – форма, *Size* – размер, *Position* – позиция, *Change* – изменение во времени, *Orientation* – пространственная ориентация. Параметры  $\lambda$  – весовые коэффициенты, определяемые эмпирически для различных образов и различных ситуаций.

Ключевым достоинством когнитивной графики являются:

- рассмотрение таких информационных характеристик, как количество перерабатываемой информации, её ценность, избыточность, информативность, насыщенность;
- рассмотрение характеристик воспринимаемости информации или когнитивных характеристик элементов системы визуализации: наглядность, селективность, простота, интерпретируемость, лаконичность, структурность и целостность.

Второй подход заключается в выяснении закономерностей деятельности человека по приему, переработке и передаче информации в системе "человек - машина" на основании инженерной психологии [17]. При разработке структуры системы визуализации проводится исследование отклонений от критерия

$$N = t \cdot \xi, \quad (2)$$

где  $t$  – время решения задачи,  $\xi$  – количество ошибок за время выполнения задачи. Поскольку данная методика основывается на инженерной психологии, на данный момент она является основной при обосновании структуры системы визуализации РЛС, поскольку учитывает ключевые параметры качества работы оператора РЛС [15].

Третий подход основан на объединение методов гештальт-психологии, экопсихологии, когнитивной психологии и пространственной психологии при обосновании структуры визуализируемого объекта [18]. Ключевым преимуществом данного подхода является качественный учет того, насколько оператору РЛС будет удобно взаимодействовать с графическим интерфейсом, поскольку при обосновании структуры учитываются общие психологические особенности человека.

Однако указанные выше подходы не учитывают специфику функционирования РЛС ДО: необходимость в оперативные и правильные принятия решений в условиях воздействия новых деструктивных факторов. Влияние когнитивной нагрузки на оператора РЛС ДО является важным критерием этой необходимости.

Таким образом, при проектировании системы визуализации для РЛС ДО необходимо использовать усовершенствованную методику обоснования требований и структуры системы визуализации, основанную на совместном использовании когнитивной графики, инженерной психологии и учете когнитивной нагрузки на оператора.

### 3. Формализация

В основе методики лежит общий критерий  $N$  работы оператора, основанный на показателях эффективности работы оператора РЛС ДО [15]: своевременность (вероятность решения оператором задачи за определённый временной интервал) и правильность (число безошибочно выполненных действий к общему числу) принятия решений.

В формализованном виде задача выбора оптимальной структуры системы визуализации предоставляет собой решение двух подзадач: минимизация критерия успешности выполнения задачи, а также контроль величины потока информации при выполнении данной задачи. Первая подзадача строится на методе инженерной психологии и имеет следующий вид:

$$N_k = \min(\tau(Z, G) \cdot \pi(Z, G)), \quad (3)$$

где  $N_k$  – общий критерий для  $k$ -й задачи;  $\tau$  – время для решения  $k$ -й задачи, выполняющее роль показателя своевременности и зависящее от  $Z$  – компетентностных характеристик оператора РЛС и  $G$  – когнитивных характеристик системы визуализации;  $\pi$  – вероятность совершить ошибку при выполнении необходимых действий, выполняющее роль показателя правильности принятия решений. В основе требования миними-

зации общего критерия лежит требование по снижению времени для выполнения задачи, а также снижению вероятности совершить ошибку при её выполнении. В общем случае задача представляет собой поиск минимума сложной двумерной функции. Одной из особенностей данной подзадачи является поиск глобального минимума.

Повышение эффективности работы сводится к минимизации критерия  $N$ , однако важно учитывать и физиологические ограничения. Человек обладает предельными значениями воспринимаемой информации [19-21], которые накладывают ограничения, как на время выполнения задачи, так и на вероятность допустить ошибку. По этой причине вторая подзадача в формализованном виде имеет следующий вид:

$$\Delta I(t) = I_{\text{общ}}(t) - I_{\text{ТС}}(t) \geq 0, \quad \forall t \in [0, \tau] \quad (4)$$

где  $I_{\text{ТС}}$  – поток информации, поступающий оператору от различных источников, включая систему визуализации;  $I_{\text{общ}}$  – поток информации, перерабатываемый человеком, который определяется следующей формулой:

$$I_{\text{общ}}(t) = \int_0^t j(T, \text{КН}(x), x) dx \quad (5)$$

где  $j$  – «пропускная способность» человека, участие памяти при обработке информации, (согласно [22], 10-50 бит/с для отработанных действий до автоматизма, 0.5-5 бит/с для оперативной памяти, 0.04-0.2 бит/с – для долгосрочной);  $T$  – решаемая оператором задача;  $\text{КН}$  – когнитивная нагрузка на оператора;  $t$  – время взаимодействия с системой визуализации. Определить точное значение когнитивной нагрузки невозможно, поскольку это субъективная оценка, получаемая после проделанной работы, однако, её можно рассматривать как величину  $\text{КН}(x)$ , описывающую верхний предел  $j$  «пропускной способности» человека по визуализируемой информации. В таком случае для оценки этой величины будет достаточно её максимального значения – максимальное падение «пропускной способности» человека.

Важно учитывать прямую связь между этими двумя подзадачами. На рисунке 2 представлен график, демонстрирующий зависимость потоков информации от времени выполнения задачи. Как видно из графика на рисунке 2А, чем меньше есть времени у оператора на выполнение задачи, тем больше информации в секунду ему необходимо предоставить и обработать, что приводит к образованию креста на графике – когда поток информации, перерабатываемый оператором, оказывается меньше, чем поток, поступающий от системы визуализации. На графике 2Б также показан обобщённый график зависимости вероятности совершить хотя бы одну ошибку от времени, данного на выполнение задачи. На данном графике также учтена зависимость от компетенций оператора, поскольку чем больше у него опыта, тем чаще он полагается на рефлекс, что значительно снижает вероятность ошибки.

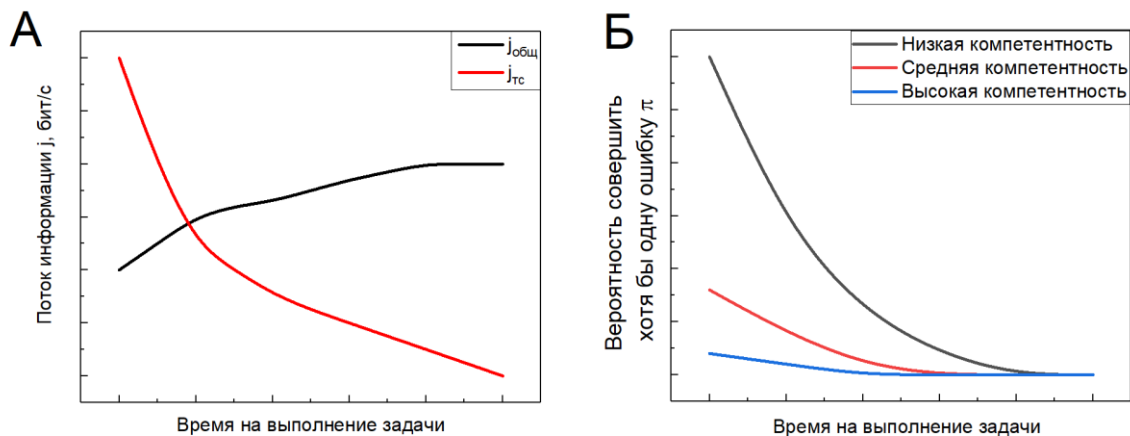


Рис. 2. А) график зависимости потока информации от времени на выполнение задачи; Б) график зависимости вероятности ошибки от времени на выполнение задачи.

Таким образом, для определения структуры системы визуализации, способного снизить влияние негативных факторов и повысить эффективность выполнения задачи оператором, необходимо учитывать не только общий критерий, но и способности по восприятию информации оператором.

#### 4. Расчёт когнитивной нагрузки графических элементов

Когнитивная нагрузка рассчитывается с помощью индекса целевой нагрузки НАСА (NASA-TLX) [23]. Это субъективный набор оценок, сообщаемый самостоятельно, и он не является объективной мерой рабочей нагрузки, которую следует измерять с использованием объективных показателей, проверяющих произведение скорости и точности выполнения операторами задачи, однако он позволяет оценить, насколько удобен графический интерфейс для выполнения определённых задач. Расчёт осуществляется по следующей формуле:

$$КН = a_1 МТ + a_2 ФТ + a_3 ВТ + a_4 Ч + a_5 У + a_6 П \quad (6)$$

- **МТ – ментальные требования** (Какая умственная и перцептивная активность требовалась?);
- **ФТ – физические требования** (Какая физическая активность была необходима?);
- **ВТ – временные требования** (Насколько сильно ощущалась нехватка времени из-за темпа выполнения задачи или элементов задачи?);
- **Ч – чувство разочарования** (Насколько сильными были раздражение и напряжение во время выполнения задания?);
- **У – усилие** (Насколько тяжело пришлось работать (умственно и физически), чтобы достичь уровня производительности);
- **П – производительность** (Насколько успешно справились с заданием?);
- **$a_1$ – $a_6$  – весовые коэффициенты**, определяемые эмпирическим путём для схожих задач

Все параметры в целевой нагрузке NASA определяются экспериментально на основе опроса нескольких групп людей, принимающих участие в эксперименте.

Был проведён эксперимент: сравнение двух различных графических элементов системы визуализации. Для этого были выбраны классическое выпадающее меню на основе стандартных программ, реализованных в ОС Windows, а также новое круговое меню, основанное на данных из работы [16] уже использующегося графического интерфейса взаимодействия. На рисунке 3 представлен общий вид кругового меню, классического выпадающего меню и их расширенные версии.

В работах [24, 25] было показано преимущества кругового меню в сравнении с другими типами реализации элементов системы визуализации. В частности, было показано, что когнитивная нагрузка для кругового типа меню оказалась ниже, чем для остальных: в частности, показатель ментальных требований для кругового меню в среднем оказался ниже на 10%, чем у остальных типов меню. Кроме того, круговое меню соответствует когнитивному образу «мишень» [16]. Такой способ визуализации наглядно представляет динамичное изменение отображаемых параметров, позволяет упорядочивать объекты наблюдения и производить их кластеризацию по различным критериям, и отображать дополнительные зависимости наблюдаемых объектов.

На основании приведённых выше результатов были подготовлены 5 различных тестовых заданий, заключающихся в последовательном нажатии на определённые кнопки, которые были формализованы с точки зрения подхода GOMS [26], который позволяет оценить требуемое время для выполнения тех или иных элементарных действий при взаимодействии с интерфейсом. Задания представляли собой последовательность действий операторов в различных ситуациях, в частности нештатных, совершаемые при взаимодействии с графическим интерфейсом согласно регламенту. Задания были

составлены экспертами, формирующими типовые задания для обучения и тестирования операторов на учебно-тренировочных средствах (УТС) из состава РЛС ДО.

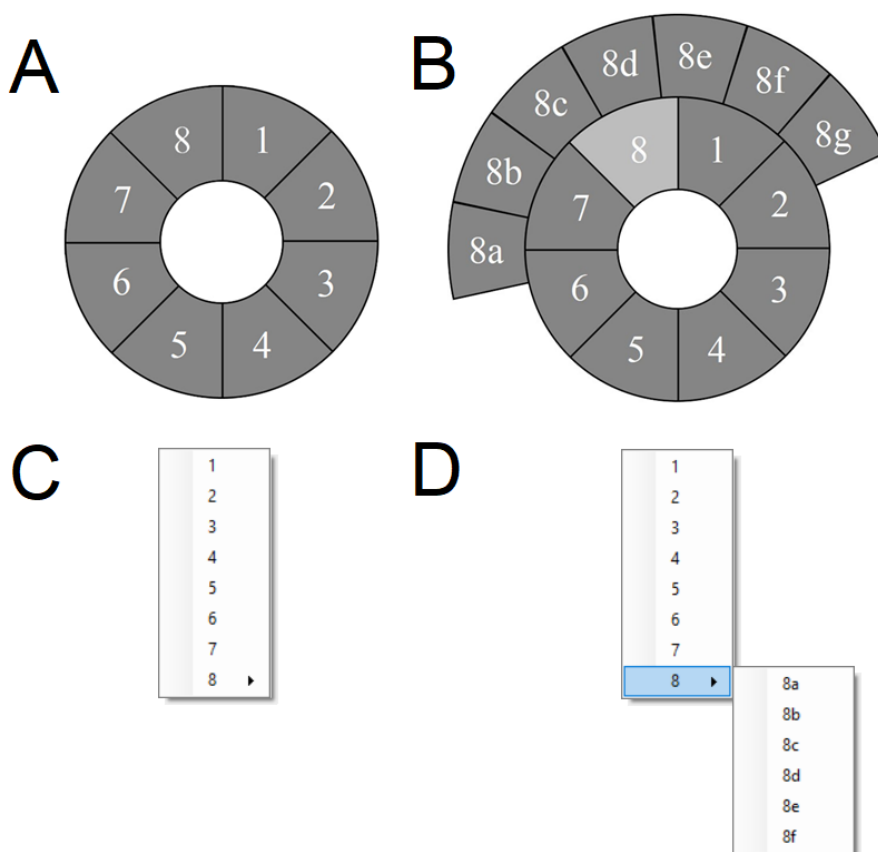


Рис. 3. А) Круговое меню; В) расширенное круговое меню; С) классическое выпадающее меню; D) расширенное выпадающее меню.

В эксперименте принимало участие 10 операторов (5 опытных и 5 проходящих обучение). Каждый из них выполнял задания на УТС, после чего оценивал свою когнитивную нагрузку с помощью методики NASA-TLX. Проверка правильности выполнения действий осуществлялась в рамках тестирования операторов на УТС.

На рисунке 4 представлены графики сравнения времени выполнения задач, рассчитанной в соответствии с GOMS, для стандартного выпадающего меню и для кругового меню (рисунок 4А). Также были оценены вероятности совершить хотя бы ошибку при совершении тех или иных действий (рисунок 4В), а также же рассчитан общий (комплексный) критерий N (рисунок 4С).

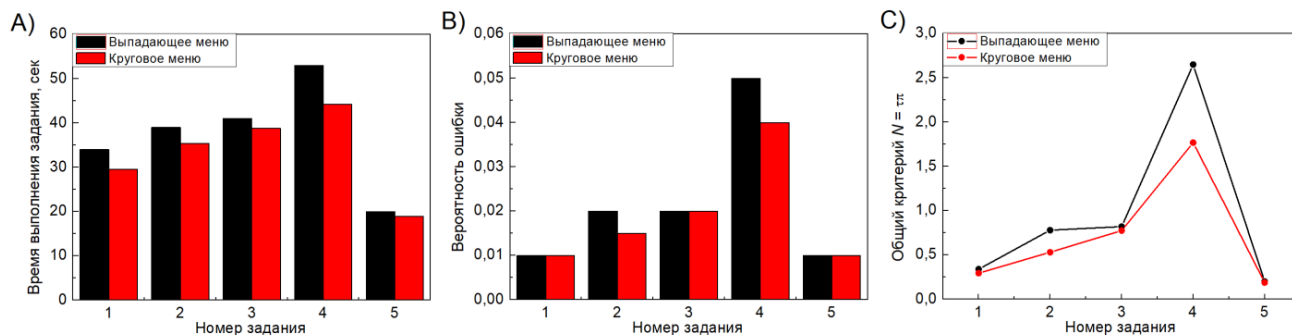


Рис. 4. Сравнение эффективности взаимодействия оператора с выпадающим меню (черный) и с круговым меню (красный) при выполнении задач.



Как видно из графиков, круговое меню позволяет снизить общее время выполнения задач, за счёт сокращения количества действий по перемещению компьютерной мыши, а также незначительно снизить вероятность совершения случайной ошибки. Как видно из графика зависимости общего критерия от номера задачи (рисунок 4С), для некоторых задач использование кругового меню не даёт каких-либо видимых улучшений, тем не менее, для остальных задач наблюдается уменьшение критерия, что говорит об более эффективном взаимодействии с графическим интерфейсом.

Таким образом, учёт когнитивной нагрузки и характеристик когнитивной графики позволяет разработать графический интерфейс, повышающий эффективность выполнения задач: снижение времени выполнения задачи и уменьшение вероятности совершения ошибки оператором.

## 5. Заключение

В настоящей статье была обоснована актуальность улучшения системы визуализации РЛС ДО. Применение предложенной методики обоснования требований к структуре системы визуализации позволяет учитывать как характеристики воспринимаемости графических элементов, так и способности к восприятию информации операторов на основании их компетентностных характеристик, что позволяет создать более удобную и понятную для взаимодействия систему визуализации.

В качестве дальнейших направлений исследования по разработке универсального интеллектуального графического интерфейса для операторов РЛС ДО можно выделить:

- 1) разработку нового универсального когнитивного образа технического состояния РЛС ДО, позволяющего обнаруживать неисправности и отказы аппаратуры в работе ее подсистем с использованием современных технологий;

- 2) разработку архитектуры интеллектуального графического интерфейса для поддержки принятия управляющих решений оператором РЛС ДО на основе анализа мультимодальной слабоструктурированной информации, способного обрабатывать графическую и текстовую информацию, речевые команды человека-оператора.

В качестве рекомендации по разработке графического интерфейса, авторы статьи предлагают:

- 1) формировать перечень графически элементов системы визуализации с наилучшими когнитивными характеристиками (наглядность, селективность, простота, интерпретируемость, лаконичность, структурность и целостность) в условиях высокой когнитивной нагрузки на операторов РЛС ДО;

- 2) учитывать профессионально-компетентностные портреты операторов при формировании структуры графического интерфейса за счёт реализации системы подсказок (отображение рекомендательной информации) для снижения когнитивной нагрузки.

## 6. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ, проект № 24-Ш01-04.

## Список литературы

1. Создание и эксплуатация радиолокационных станций дальнего обнаружения / С. Ф. Боев, А. А. Рахманов, А. П. Линкевичиус, С. В. Якубовский, П. В. Володин // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 5. С. 35–48. DOI 10.21778/2218-5453-2020-5-35-48 УДК 621.396.75
2. Gini F., «Grand Challenges in Radar Signal Processing», *Front. Signal Process.*, т. 1, с. 664232, мар. 2021, doi: [10.3389/frsip.2021.664232](https://doi.org/10.3389/frsip.2021.664232).
3. Перлов А. Ю., Мацеевич С. В., Тимошенко А. В., Панкратов В. А. Алгоритм повышения точности прогнозирования отказов аппаратуры РЭК на основе управления



- частотой опроса датчиков контроля технического состояния // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 1. С. 26-42. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-1-026-042.
4. Перлов А.Ю., Тимошенко А.В., Калеев Д.В., Казанцев А.М. Применение цифрового двойника РЛС на этапах жизненного цикла // Наноиндустрия. – 2023. – Т. 16, № S9-1(119). – С. 95-96. – DOI 10.22184/1993-8578.2023.16.9s.95.96.
5. Perlov A.Yu.; Shafir R.S.; Davydova M.A.; Korpusov M.O.; Timoshenko A.V; Algorithm for promptly maintaining the temperature regime of power amplification units of the radar transmitting complex based on a thermal model. // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2023, vol. 23, no. 6, pp. 1214–1222 (in Russian). Doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-6-1214-1222
6. Perlov A.Y.; Prorok V.Y.; Timoshenko A.V.; Bugayev V.S.; Lvov K.V.; Predicting of Radar Failure Based on the Operator Functional State // 2023 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO, Pskov, Russian Federation, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO57872.2023.10178671.
7. «Objects in orbit: the problem of space debris», Science in School. <https://www.scienceinschool.org/article/2023/objects-in-orbit-space-debris/>
8. D. M. Sunday и C. J. Duhon, «A Decade of Prototype Displays», JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, т. 22, вып. 4, 2001.
9. A. Vlasov, L. Juravleva, и V. Shakhnov, «Visual environment of cognitive graphics for end-to-end engineering project-based education», J Appl Eng Science, т. 17, вып. 1, сс. 99–106, 2019, doi: 10.5937/jaes17-20262.
10. «Advisory Board and Contents», Trends in Cognitive Sciences, т. 25, вып. 1, сс. i–ii, янв. 2021, doi: 10.1016/S1364-6613(20)30283-7.
11. D. Cavallo, S. Digiesi, F. Facchini, и G. Mummolo, «An analytical framework for assessing cognitive capacity and processing speed of operators in industry 4.0», Procedia Computer Science, т. 180, сс. 318–327, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.169.
12. D. C. Billing, G. R. Fordy, K. E. Friedl, и H. Hasselstrøm, «The implications of emerging technology on military human performance research priorities», Journal of Science and Medicine in Sport, т. 24, вып. 10, сс. 947–953, окт. 2021, doi: 10.1016/j.jsams.2020.10.007.
13. Зюзина А.Д., Мацеевич С.В., Воронин А.С., Мочалов М.Н. Современные системы визуализации текущей обстановки в ЗРК «Пэтриот» и интегрированной системе боевого управления IBCS, Вестник Воздушно-космической обороны, №4 (40), 2023, с 119-126.
14. Доброжанская О.Л., Леонов Д.Н., Бородина В.А., Стерхов Я.Н., Чернышова Е.А. Унифицированная технология разработки визуальных интерфейсов для рабочих мест операторов и имитационных стендов ЗРС ВКО// Вестник воздушно-космической обороны: Научно-технический журнал/ ПАО «НПО «Алмаз», 2016 г., № 2 (10), С. 66-74.
15. Справочник офицера воздушно-космической обороны/ Под ред. профессора Бурмистрова С.К. - Тверь, ВА ВКО, 2005 г.
16. Емельянова Ю.Г., Фраленко В.П. Методы когнитивно-графического представления информации для эффективного мониторинга сложных технических систем // Программные системы: теория и приложения. 2018. № 4. С. 117-158. DOI: 10.25209/2079-3316-2018-9-4-117-158.
17. Инженерная психология в применении к проектированию оборудования/ Под ред. Ломова Б.Ф. - М.: Знание, 1971.
18. Wickens C. D., Carswell C. M., «The Proximity Compatibility Principle: Its Psychological Foundation and Relevance to Display Design», Hum Factors, т. 37, вып. 3, сс. 473–494, сен. 1995, doi: 10.1518/001872095779049408.
19. Кучерявый А.А., Бортовые информационные системы: Курс лекций/ А.А. Кучерявый; под. ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева. - 2-е изд., переработанное и дополненное - Ульяновск: УлГТУ, 2004. 504 с.
20. Душков Б.А. и др., Основы инженерной психологии; под ред. Б. Ф. Ломова. - М.: Высшая школа, 1986. 448 с.

21. Зыков Н.В., Игнатова О.А., Торшенков А.И., Особенности применения технологий визуализации и представления данных для информационного обеспечения процесса управления полётами космических аппаратов // Космонавтика и ракетостроение. 2013. № 2 (71), С. 98.
22. Преснухин А.Н., Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. Учеб. для втузов по спец. «ЭВМ» и «Конструирование и производство ЭВА». - М.: «Высшая школа», 1986. 512 с.
23. Hart S. G., Staveland L. E., Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, Advances in Psychology, т. 52, Elsevier, 1988, сс. 139–183. doi:10.1016/S0166-4115(08)62386-9
24. Melguizo, M.C. & Vidya, Uti & Oostendorp, H. (2012). Seeking information online: The influence of menu type, navigation path complexity and spatial ability on information gathering tasks. Behaviour & IT. 31. 59-70. 10.1080/0144929X.2011.602425.
25. Kammerer, Yvonne & Scheiter, Katharina & Beinhauer, Wolfgang. (2008). Looking my Way through the Menu: The Impact of Menu Design and Multimodal Input on Gaze-based Menu Selection. Eye Tracking Research and Applications Symposium (ETRA). 213-220. 10.1145/1344471.1344522.
26. JEF RASKIN. The humane interface. New directions for designing interactive systems. Pearson Education, Inc (ADDISON-WESLEY LONGMAN), 2005.

# Application of the Cognitive Load Indicator of a Graphic Element to Justify the Requirements for a Long-Range Discrimination Radar Visualization System.

S.V. Matseevich<sup>1,A</sup>, U.A. Vladko<sup>2,B</sup>, A.D. Zyuzina<sup>3,C</sup>, M.N. Mochalov<sup>4,D</sup>, A.S. Zakharov<sup>5,A</sup>

<sup>A</sup> Moscow State University named after. M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

<sup>B</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

<sup>C</sup> Yaroslavl Higher Military School of Air Defense, Yaroslavl, Russia

<sup>D</sup> JSC Aerospace Defense Concern Almaz-Antey, Moscow, Russia

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1311-2194, [cvmac@mail.ru](mailto:cvmac@mail.ru)

<sup>2</sup> ORCID: 0009-0007-5907-3879, [ulya.vladko@mail.ru](mailto:ulya.vladko@mail.ru)

<sup>3</sup> ORCID: 0009-0000-6618-6862, [zyuzina9696@mail.ru](mailto:zyuzina9696@mail.ru)

<sup>4</sup> ORCID: 0009-0005-8501-0009, [m.mochalov@almaz-antey.ru](mailto:m.mochalov@almaz-antey.ru)

<sup>5</sup> ORCID: 0009-0000-2617-5317, [zakharov.as17@physics.msu.ru](mailto:zakharov.as17@physics.msu.ru)

## Abstract

The article presents the results of a study on the use of an indicator of cognitive load on the operator of a long-range discrimination (LRD) radar when interacting with the graphic element of the visualization system of the LRD radar under the influence of destructive factors.

An original method for substantiating the requirements for the structure of a visualization system is proposed, based on combining the principles of the theory of engineering psychology, ergonomics, cognitive graphics, taking into account the cognitive resources of the radar operator.

The technique is formalized in the form of a problem of minimizing a general criterion characterizing the efficiency of operators and their capacity for information in the “man-machine” system, taking into account the cognitive load indicator.

It is shown that the use of the indicator makes it possible to justify the requirements for the structure of the visualization system, namely a graphical interface that can reduce the influence of negative factors on the operator of the radar station, especially under strict time constraints.

The results of a computational experiment to evaluate the effectiveness of using the cognitive load indicator when choosing a graphic element of a visualization system are presented, demonstrating an increase in the functional characteristics of the radar operator when performing tasks.

**Keywords:** visualization system, graphical interface, cognitive load, cognitive graphics, early warning radar.

## References

1. Creation and operation of long-range detection radar stations [Sozdanie i ekspluatatsiya radiolokatsionnykh stancij dal'nego obnaruzheniya] / S. F. Boev, A. A. Rakhmanov, A. P. Linkevichius, S. V. Yakubovsky, P. V. Volodin // Issues of radio electronics. 2020. No. 5. pp. 35–48. DOI 10.21778/2218-5453-2020-5-35-48 UDC 621.396.75
2. Gini F., «Grand Challenges in Radar Signal Processing», Front. Signal Process., т. 1, с. 664232, map. 2021, doi: 10.3389/frsip.2021.664232.

3. Perlov A. Yu., Matseevich S. V., Timoshenko A. V., Pankratov V. A. Algorithm for increasing the accuracy of predicting failures of REC equipment based on controlling the polling frequency of technical condition monitoring sensors [Algoritm povysheniya tochnosti prognozirovaniya otkazov apparatury REK na osnove upravleniya chastotoj oprosa datchikov kontrolya tehničeskogo sostoyaniya] // Control, Communication and Security Systems. 2024. No. 1. P. 26-42. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-1-026-042.
4. Perlov A.Yu., Timoshenko A.V., Kaleev D.V., Kazantsev A.M. Application of a digital twin of a radar at stages of its life cycle [Primenenie cifrovogo dvojnika RLS na etapah zhiznennogo cikla] // Nanoindustry. – 2023. – T. 16, No. S9-1(119). – pp. 95-96. – DOI 10.22184/1993-8578.2023.16.9s.95.96.
5. Perlov A. Yu.; Shafir R.S.; Davydova M.A.; Korpusov M.O.; Timoshenko A.V; Algorithm for promptly maintaining the temperature regime of power amplification units of the radar transmitting complex based on a thermal model. // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2023, vol. 23, no. 6, pp. 1214–1222 (in Russian). Doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-6-1214-1222
6. Perlov A.Y.; Prophet V.Y.; Timoshenko A.V.; Bugayev V.S.; Lvov K.V.; Predicting of Radar Failure Based on the Operator Functional State // 2023 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO, Pskov, Russian Federation, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO57872.2023.10178671.
7. «Objects in orbit: the problem of space debris», Science in School. <https://www.scienceinschool.org/article/2023/objects-in-orbit-space-debris/>
8. D. M. Sunday и C. J. Duhon, «A Decade of Prototype Displays», JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, т. 22, вып. 4, 2001.
9. A. Vlasov, L. Juravleva, и V. Shakhnov, «Visual environment of cognitive graphics for end-to-end engineering project-based education», J Appl Eng Science, т. 17, вып. 1, сс. 99–106, 2019, doi: 10.5937/jaes17-20262.
10. «Advisory Board and Contents», Trends in Cognitive Sciences, т. 25, вып. 1, сс. i–ii, янв. 2021, doi: 10.1016/S1364-6613(20)30283-7.
11. D. Cavallo, S. Digiesi, F. Facchini, и G. Mummolo, «An analytical framework for assessing cognitive capacity and processing speed of operators in industry 4.0», Procedia Computer Science, т. 180, сс. 318–327, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.169.
12. D. C. Billing, G. R. Fordy, K. E. Friedl, и H. Hasselstrøm, «The implications of emerging technology on military human performance research priorities», Journal of Science and Medicine in Sport, т. 24, вып. 10, сс. 947–953, окт. 2021, doi: 10.1016/j.jsams.2020.10.007.
13. A.D. Zyuzina, S.V. Matseevich, A.S. Voronin, M.N. Mochalov, Modern systems for visualizing the current situation in the Patriot air defense system and the integrated combat control system IBCS [Sovremennyye sistemy vizualizacii tekushchej obstanovki v ZRK «Patriot» i integrirovannoj sisteme boevogo upravleniya IBCS], Bulletin of Aerospace Defense, No. 4 (40), 2023, pp. 119-126.
14. Dobrozhashanskaya O.L., Leonov D.N., Borodina V.A., Sterkhov Ya.N., Chernyshova E.A. Unified technology for the development of visual interfaces for operator workstations and simulation stands of VKO air defense systems [Unificirovannaya tekhnologiya razrabotki vizual'nyh interfejsov dlya rabochih mest operatorov i imitacionnyh stendov ZRS VKO] // Bulletin of Aerospace Defense: Scientific and Technical Journal / PJSC NPO Almaz, 2016, No. 2 (10), pp. 66-74.
15. Directory of aerospace defense officer [Spravochnik oficera vozdushno-kosmcheskoj oborony] / Ed. Professor Burmistrova S.K. - Tver, VA VKO, 2005
16. Emelyanova Yu.G., Fralenko V.P. Methods of cognitive-graphical presentation of information for effective monitoring of complex technical systems [Metody kognitivno-graficheskogo predstavleniya informacii dlya effektivnogo monitoringa slozhnyh tekhnicheskikh sistem] // Software systems: theory and applications. 2018. No. 4. pp. 117-158. DOI: 10.25209/2079-3316-2018-9-4-117-158.

17. Engineering psychology as applied to equipment design [Inzhenernaya psihologiya v primeneni k proektirovaniyu oborudovaniya] / Ed. Lomova B.F. - M.: Knowledge, 1971.
18. Wickens C. D., Carswell C. M., "The Proximity Compatibility Principle: Its Psychological Foundation and Relevance to Display Design," Hum Factors, vol. 37, no. 3, ss. 473–494, Sep. 1995, doi: 10.1518/001872095779049408.
19. Kucheryavii A.A., On-board information systems: Course of lectures [Bortovye informacionnyye sistemy: Kurs lekciy] / A.A. Curly; under. ed. V.A. Mishina and G.I. Klyueva. - 2nd ed., revised and expanded - Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 2004. 504 p.
20. Dushkov B.A. et al., Fundamentals of Engineering Psychology [Osnovy inzhenernoj psihologii]; edited by B.F. Lomova. - M.: Higher School, 1986. 448 p.
21. Zykov N.V., Ignatova O.A., Torshenkov A.I., Features of the use of visualization and data presentation technologies for information support of the spacecraft flight control process [Osobennosti primeneniya tekhnologij vizualizacii i predstavleniya dannyh dlya informacionnogo obespecheniya processa upravleniya polyotami kosmicheskikh apparatov] // Cosmonautics and Rocket Science. 2013. No. 2 (71), p. 98.
22. Presnukhin A.N., Shakhnov V.A. Design of electronic computers and systems. Textbook for colleges and specialists "Computers" and "Design and production of EVA" [Konstruirovaniye elektronnykh vychislitel'nykh mashin i sistem. Ucheb. dlya vtuzov po spec. «EVM» i «Konstruirovaniye i proizvodstvo EVA»]. - M.: "Higher School", 1986. 512 p.
23. Hart S. G., Staveland L. E., Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, Advances in Psychology, vol. 52, Elsevier, 1988, pp. 139–183. doi:10.1016/S0166-4115(08)62386-9
24. Melguizo, M.C. & Vidya, Uti & Oostendorp, H. (2012). Seeking information online: The influence of menu type, navigation path complexity and spatial ability on information gathering tasks. Behavior & IT. 31.59-70. 10.1080/0144929X.2011.602425.
25. Kammerer, Yvonne & Scheiter, Katharina & Beinhauer, Wolfgang. (2008). Looking my Way through the Menu: The Impact of Menu Design and Multimodal Input on Gaze-based Menu Selection. Eye Tracking Research and Applications Symposium (ETRA). 213-220. 10.1145/1344471.1344522.
26. JEF RASKIN. The humane interface. New directions for designing interactive systems. Pearson Education, Inc (ADDISON-WESLEY LONGMAN), 2005.