

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МУЛЬТИРОЛЕВЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ С 3D-ФУНКЦИОНАЛОМ

М. В. Шматко¹ [0000-0002-7255-8885], Е. В. Евдущенко² [0000-0003-3692-2587]

¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

²Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения, г. Санкт-Петербург, Россия

¹marin298@gmail.com, ²elena.online_ktilp@mail.ru

Аннотация

Исследована когнитивная нагрузка пользователей мультиролевой 3D-платформы. В эксперименте (71 участник: 34 дизайнера, 37 покупателей; 639 наблюдений) объективными метриками и субъективными шкалами выявлены разные профили нагрузки: дизайнеров замедляют формы ввода, покупателей – 3D-контент. На основе 34 проблемных зон сформулированы семь принципов проектирования интерфейса и классификация задач по уровню когнитивной сложности с учетом ролевой специфики. Повторное тестирование (21 участник) подтвердило эффективность: время выполнения задач сократилось на 21–28%, ошибки – на 33–44%, фрустрация – на 25–35%, использование 3D-функций выросло с 40.5% до 90.9%. Разработанная трехкомпонентная модель (таксономический, диагностический, проектный уровни) рекомендована для проектирования аналогичных мультиролевых платформ с 3D-функционалом.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, мультиролевые веб-приложения, пользовательские 3D-интерфейсы, NASA-TLX, SMEQ, когнитивное моделирование, UX-исследования, человеко-компьютерное взаимодействие.

ВВЕДЕНИЕ

Мультиролевые веб-приложения – от маркетплейсов (Amazon, AliExpress, Ozon, Wildberries) и платформ для трудоустройства (Upwork, SuperJob, Rabota.ru) до образовательных порталов (Coursera, Учи.ру, InternetUrok) и госу-

дарственных цифровых сервисов (Госуслуги, Gov.uk) – все чаще становятся многофункциональными экосистемами, объединяющими разные категории пользователей: производителей, продавцов, покупателей, граждан, представителей бизнеса и госорганов (B2B, B2C, B2G). Проектирование таких экосистем сталкивается с фундаментальным вызовом: как создать интерфейс, одинаково эффективный для пользователей с различными задачами и компетенциями? Внедрение интерактивных технологий: 3D-конфигураторов, AR-примерок, инструментов кастомизации и геймификации – с одной стороны, повышает вовлеченность, с другой – увеличивает когнитивную нагрузку. Исследования показали [1, 2], что высокая когнитивная нагрузка ведет к росту числа ошибок, увеличению времени выполнения задач, снижению конверсии и отказу от использования.

На стыке указанных областей наблюдается дефицит систематических исследований, а среди разработчиков мультиролевых веб-приложений с 3D-функционалом – потребность в практических рекомендациях по оптимизации пользовательского взаимодействия.

Ранее нами была разработана архитектура, определен технологический стек и создан прототип мультибрендовой цифровой платформы со встроенным 3D-конфигуратором для кастомизации одежды [3]. Платформа ориентирована на две ключевые категории пользователей: 3D-дизайнеров (профессионалов, создающих цифровые модели одежды и управляющих ассортиментом и заказами – 37 сценариев) и покупателей (конечных потребителей, использующих платформу для поиска, кастомизации и заказа одежды – 25 сценариев). Предварительный анализ этих сценариев позволил предположить, что уровень когнитивной нагрузки будет существенно различаться не только между ролями, но и внутри каждой роли – в зависимости от сложности задачи. При этом реальный уровень нагрузки может не совпадать с ожидаемым. Именно расхождение между моделью и реальностью, а также между предполагаемой и фактической когнитивными нагрузками представляет для нас исследовательский интерес. В связи с этим в качестве методологической базы исследования было выбрано когнитивное моделирование, которое рассматривается как процесс построения модели взаимодействия пользователей в процессе восприятия и обработки информации. Основами этого процесса выступают три взаимосвя-

занных уровня: таксономический, диагностический и проектный. Такой подход позволяет не только диагностировать проблемы взаимодействия, но и предсказывать эффекты проектных решений, обеспечивая переход от описательной диагностики к конструктивному проектированию.

Цель настоящего исследования – разработать, эмпирически обосновать и валидировать принципы проектирования интерфейса мультиролевого веб-приложения с 3D-функционалом, направленные на снижение когнитивной нагрузки пользователей.

Научная новизна исследования представлена следующими результатами:

- разработана и апробирована методика комплексной оценки когнитивной нагрузки пользователей, сочетающая объективные метрики (время выполнения, количество ошибок, число кликов) с субъективными шкалами (NASA-TLX, SMEQ) и качественным анализом применительно к взаимодействию с 3D-контентом в мультиролевой среде;
- сформулированы и валидированы принципы проектирования интерфейсов для мультиролевых платформ с 3D-функционалом, направленные на снижение когнитивной нагрузки пользователей;
- предложена модель когнитивного взаимодействия пользователей с мультиролевой 3D-платформой.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ В МУЛЬТИРОЛЕВЫХ 3D-ИНТЕРФЕЙСАХ

Вопрос о том, почему одни интерфейсы воспринимаются как интуитивно понятные, а другие вызывают усталость и раздражение, лежит в плоскости когнитивной нагрузки – меры умственных усилий, требуемых для выполнения задачи.

Теория когнитивной нагрузки (Cognitive Load Theory), разработанная Джоном Свеллером в конце 1980 г., изначально применялась в педагогической психологии, но сегодня составляет фундамент исследований в области UX и HCI. Согласно этой теории, наша рабочая память имеет ограниченный объем. Когда интерфейс требует выполнения множества умственных операций, наступает когнитивная перегрузка, ведущая к ошибкам и замедлению работы [4].

Особую актуальность эта проблема приобретает в контексте современных цифровых платформ. Длительная работа с интерфейсами, создающими высокую когнитивную нагрузку, может приводить не только к ситуативным ошибкам, но и к хроническому стрессу, снижению удовлетворенности и отказу от использования цифрового продукта [5, 6].

Для оценки когнитивной нагрузки исследователями разработан целый ряд методик. Наиболее признанным инструментом остается NASA-TLX (Task Load Index), предложенный Сандрой Харт и Лоуэллом Ставелендом [7]. Этот многомерный опросник оценивает нагрузку по шести шкалам: ментальные, физические, временные требования, усилие, фрустрация и оценка собственной успешности.

Альтернативой NASA-TLX выступает шкала SWAT (Subjective Workload Assessment Technique), оценивающая нагрузку по трем параметрам: временная нагрузка, психологический стресс и умственные усилия. В ситуациях, требующих быстрой повторяющейся оценки, исследователи обращаются к одномерным шкалам – Пааса (Paas Cognitive Load Scale) или SMEQ (Subjective Mental Effort Questionnaire). Эти инструменты занимают 10–15 с, но хорошо коррелируют с более сложными многомерными методиками [8, 9].

Цифровая платформа со встроенным 3D-конфигуратором для кастомизации одежды относится к классу систем, которые в западной традиции обозначают как multi-sided platforms или B2B2C-платформы. Их основная особенность состоит в одновременном обслуживании пользователей с разными ролями, целями, компетенциями и паттернами поведения. Как констатируют эксперты, такие платформы требуют уникального сочетания корпоративных продуктовых и дизайнерских возможностей, тесно интегрированных с потребительским опытом высшего уровня. Это более сложная специализация, чем разработка только для корпоративного или только для потребительского сегмента [6, 10].

Трехмерная визуализация добавляет еще один уровень сложности в проектирование интерфейса B2B2C-платформ. С одной стороны, она позволяет получить более полное и реалистичное представление о продукте, с другой – взаимодействие с 3D-объектом требует освоения новых моторных навыков и создает дополнительную когнитивную нагрузку. Исследования последних лет

подтверждают, что «пространственные 3D-цифровые среды часто рассматриваются как превосходящие 2D-интерфейсы для обмена информацией и знаниями» [11]. Ключевой нюанс: такие улучшения не возникают автоматически – если 3D-представление возможно с меньшими перемещениями, то это будет приводить к более эффективному снижению когнитивной нагрузки [11].

Таким образом, теоретический анализ показал, что когнитивная нагрузка не является однородной величиной, она зависит от сложности задачи, способа представления информации и индивидуальных особенностей пользователя. Для мультиролевой платформы с 3D-функционалом, объединяющей профессиональных и непрофессиональных пользователей, важно дифференцировать задачи по уровню ожидаемой нагрузки, чтобы затем сопоставить эти ожидания с эмпирическими данными.

МЕТОДОЛОГИЯ ЭМПИРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Эмпирическое исследование проводилось в лабораторных условиях для минимизации отвлекающих факторов, критически влияющих на когнитивную нагрузку. При этом следует учитывать ограничение внешней валидности: для профессиональных дизайнеров лабораторная среда может создавать дополнительную искусственную нагрузку [12].

Процедура сбора данных включала три последовательных этапа, общая продолжительность которых составила 11 недель.

Этап 1. Организация эмпирического исследования

На данном этапе были определены 62 пользовательские задачи (37 для 3D-дизайнеров и 25 для покупателей), которые были классифицированы по трем уровням когнитивной нагрузки [13]. Классификация осуществлялась методом экспертной оценки с привлечением трех специалистов в области UX-исследований и проектирования интерфейсов (с опытом работы более 7 лет).

Сначала эксперты произвели оценку 62 задач независимо друг от друга, а затем обсудили расхождения и выработали консенсус относительно их распределения по трем уровням когнитивной нагрузки (см. табл. 1). В результате был достигнут высокое значение коэффициента согласованности, или конкордации Кендалла, $W = 0.82$, найденное по формуле [14]

$$W = \frac{12 S}{m^2(n^3 - n)},$$

где S – сумма квадратов отклонений рангов от их среднего; m – количество экспертов; n – количество параметров.

Табл. 1. Распределение пользовательских задач по уровням когнитивной нагрузки.

Уровень когнитивной нагрузки	Количество задач (доля от общего числа, %)	
	для дизайнеров	для покупателей
Низкий	12 задач (32.4%)	14 задач (56.0%)
Средний	16 задач (43.3%)	8 задач (32.0%)
Высокий	9 задач (24.3%)	3 задачи (12.0%)

На основе распределения, представленного в табл. 2, для каждой роли пользователей было отобрано по 9 ключевых задач, проверенных на репрезентативность и важность для бизнес-процессов платформы. По завершению этапа были сформированы две группы участников (34 дизайнера и 37 покупателей), проведены инструктаж и знакомство с интерфейсом и процедурой «думай вслух».

Этап 2. Проведение лабораторного эксперимента

Участники под наблюдением модераторов выполняли по 9 задач в рандомизированном порядке. Для контроля эффекта научения применялась частичная контрбалансировка по схеме латинского квадрата, порядковый номер задачи использовался как ковариата. Сразу после решения каждой задачи участники заполняли SMEQ для минимизации ретроспективного искажения. Сессии длились 45–60 мин, проводились в первой половине дня для контроля циркадных ритмов [15].

Этап 3. Качественная оценка результатов

На этом этапе совместно с участниками были заполнены полные версии NASA-TLX и проведено посттестовое интервью для сбора качественных комментариев о трудностях работы с интерфейсом.

Методы и инструменты сбора эмпирических данных: в соответствии с задачами исследования выбран комплексный подход, основанный на применении объективных метрик (табл. 2) и субъективных шкал.

Табл. 2. Объективные метрики для сбора эмпирических данных.

№	Метрики	Описание
1	Время выполнения задачи	От момента окончания инструкции до момента достижения результата (в случае тайм-аута фиксировалось максимальное значение – 300 с)
2	Количество ошибок	Фиксация следующих случаев при выполнении задачи: – неверный выбор опции; – попытка выполнить действие меню или разделе, не предназначенном для него; – неправильное заполнение полей формы; – отмена или прерывание действия
3	Количество кликов	Общее число нажатий на интерактивные элементы тестируемого интерфейса, включая ошибочные и повторные; дополнительно фиксировались «неэффективные клики» (действия, не приближающие к результату)

Помимо объективных метрик (см. табл. 2) в исследовании были задействованы субъективные шкалы – одномерная SMEQ для оперативных замеров после каждой задачи (вертикальная линия 150 мм, от «совсем нет усилий» до «чрезвычайно высокие усилия») [16] и многомерная NASA-TLX для итоговой оценки с процедурой попарного взвешивания (для минимизации вариативности NASA-TLX применялись бумажные бланки) [17].

Качественные методы включали протокол «думай вслух» [18] для выявления логики действий пользователей и полуструктурированное посттестовое интервью для определения сложных и понятных элементов интерфейса.

Выборка исследования была сформирована методом критериального отбора с использованием доступных источников – региональных профессиональных сообществ и студенческих групп. Ее суммарный объем составил 71 человек ($n = 71$), что превышает рекомендованные для юзабилити-тестирования 10–15 человек на роль пользователей [19] и обеспечивает достаточную статистическую мощность для обнаружения эффектов среднего размера при однофакторном дисперсионном анализе [20]. В группу дизайнеров вошли 34 человека со средним стажем 3D-моделирования 4.7 года, почти все они имели опыт работы с онлайн-платформами для продажи одежды (91%). В группу покупателей вошли 37 человек: больше половины из них совершают онлайн-покупки 2–3 раза в месяц, 43% имеют опыт кастомизации одежды, а 27% – опыт использования 3D-конфигураторов.

Статистический анализ: для обработки данных использовался комплекс статистических методов [21]. Информация о них представлена в табл. 3.

Табл. 3. Статистические методы и цели их применения.

Цель анализа	Используемый метод	Критерии/уточнения
Описание данных	Средние (M), стандартные отклонения (SD), медианы (Mdn), интерквартильные размахи (IQR)	Для всех количественных переменных
Проверка нормальности	Критерий Шапиро – Уилка	Фиксация величин асимметрии и эксцесса
Сравнение двух групп респондентов	t -критерий Стьюдента (при нормальности)/ U -критерий Манна – Уитни (при отсутствии)	При множественных сравнениях – поправка Бонферрони [22]
Сравнение внутри группы (разные уровни сложности)	Однофакторный ANOVA с повторными измерениями	Апостериорное сравнение – критерий Тьюки; при нарушении сферичности – поправка Гринхауса – Гейссера; контроль эффекта научения – порядковый номер задачи как ковариата
Совместное влияние факторов (роль и уровень сложности)	Многофакторный MANOVA с повторными измерениями	Метод оценки максимального правдоподобия

Выявление предикторов высокой нагрузки	Множественный линейный регрессионный анализ (пошаговое включение)	Зависимые переменные: NASA-TLX, SMEQ
Структура связей между показателями	Корреляционный анализ (Пирсон / Спирмен) и факторный анализ (метод главных компонент с варимакс-вращением)	Проверка соответствия теоретической модели трех типов нагрузки
Качественный анализ протоколов	Тематический анализ по процедуре Браун и Кларк [23]	Выделенные темы использовались для интерпретации количественных результатов
Размер эффекта	η^2 (эта-квадрат) для ANOVA, d -Коэна для t -тестов, r_s для корреляций	Интерпретация по рекомендациям Коэна [24]

Уровень статистической значимости во всех тестах установлен на уровне $p < 0.05$. Размер эффекта был рассчитан по формулам

$$\eta^2 = \frac{SS_{\text{effect}}}{SS_{\text{total}}}, \quad d = \frac{M_1 - M_2}{SD}$$

для η^2 (эта-квадрат) и d -Коэна соответственно. Здесь где SS_{effect} – сумма квадратов, обусловленная влиянием изучаемого фактора; SS_{total} – общая сумма квадратов, отражающая общую вариабельность данных; M_1 и M_2 – средние двух групп; SD – общее стандартное отклонение. Интерпретация размеров эффекта проведена в соответствии с рекомендациями Коэна: малый ($\eta^2 \approx 0.01$, $d \approx 0.2$), средний ($\eta^2 \approx 0.06$, $d \approx 0.5$) и большой ($\eta^2 \approx 0.14$, $d \approx 0.8$) [24].

Исследование было проведено в соответствии с установленными этическими принципами. Конфиденциальность была обеспечена присвоением каждому участнику уникального идентификационного кода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МУЛЬТИРОЛЕВОЙ 3D-ПЛАТФОРМЕ

В ходе исследования проведено 71 тестирование (34 дизайнера, 37 покупателей), каждый участник выполнил по 9 задач. Все 639 наблюдений включены в анализ. Проверка распределений критерием Шапиро – Уилка показала отклонение от нормальности для большинства показателей ($p < 0.05$), поэтому

наряду с параметрическими были использованы непараметрические методы и бутстреп.

Объективные метрики когнитивной нагрузки

Время выполнения задач: среднее время по всем задачам составило 87.3 с ($SD = 42.6$). Стандартные отклонения рассчитаны по формуле

$$SD = \sqrt{\frac{(x_i - M)^2}{n-1}},$$

где x_i – каждое значение в наборе данных; M – среднее арифметическое всей совокупности; n – размер выборки.

Дизайнеры выполняли задачи быстрее ($M = 74.2$ с, $SD = 31.8$), чем покупатели ($M = 99.1$ с, $SD = 48.3$), различия статистически значимы ($U = 34.5$, $p < 0.001$, $d = 0.62$ – средний эффект), расчет U -критерия выполнен по формуле

$$U = (n_1 n_2) + \frac{[n_x(n_x + 1)]}{2} - R_x,$$

где n_x – размер выборки с большей суммой рангов; n_1 – размер первой выборки (дизайнеры); n_2 – размер второй выборки (покупатели); R_x – сумма рангов этой выборки.

Наибольший разрыв между группами наблюдался на задачах высокого уровня сложности (121.3 с у дизайнеров против 162.0 с у покупателей, $d = 0.84$) (см. табл. 4).

Табл. 4. Среднее время выполнения задач по ролям пользователей и уровням сложности (в с).

Уровень сложности задач	Дизайнеры ($M \pm SD$)	Покупатели ($M \pm SD$)	Различие	p	Размер эффекта (d)
Низкий	32.4 (12.7)	41.8 (18.3)	+9.4	0.012	0.43
Средний	68.9 (24.1)	93.5 (36.2)	+24.6	< 0.001	0.71
Высокий	121.3 (41.2)	162.0 (57.4)	+40.7	< 0.001	0.84

Количество ошибок: всего было зафиксировано 347 ошибок: среднее количество на задачу – 0.54 ($SD = 0.31$). У покупателей ошибок в 2.2 раза больше,

чем у дизайнеров (0.89 против 0.41 на задачах высокого уровня сложности, $d = 0.92$) (см. табл. 5).

Табл. 5. Среднее количество ошибок на задачу по ролям пользователей и уровням сложности задач.

Уровень сложности задач	Дизайнеры ($M \pm SD$)	Покупатели ($M \pm SD$)	Различие	p	Размер эффекта (d)
Низкий	0.08 (0.03)	0.14 (0.06)	+0.06	0.045	0.31
Средний	0.23 (0.11)	0.47 (0.19)	+0.24	< 0.001	0.67
Высокий	0.41 (0.18)	0.89 (0.27)	+0.48	< 0.001	0.92

Качественный анализ показал, что наиболее частые ошибки покупателей связаны со следующими моментами:

- непониманием применения ткани к модели (23% всех ошибок) – отсутствие визуальной обратной связи при кастомизации;
- потерей ориентации в многошаговом процессе создания заказа (18%);
- неудачными попытками вращения или масштабирования 3D-модели (15%) – отсутствие явных элементов управления.

У дизайнеров основные ошибки обусловлены заполнением форм: пропуск обязательных полей (28% ошибок) и загрузка файлов в неподдерживаемом формате (22% ошибок) из-за отсутствия явных указаний.

Неэффективные клики: дизайнеры совершают меньше неэффективных кликов ($M = 1.8$ на задачу, $SD = 0.9$), чем покупатели ($M = 3.4$, $SD = 1.7$), $p < 0.001$ (U -критерий Манна – Уитни, $r_s = 0.46$, средний эффект). Коэффициент корреляции Спирмена r_s был рассчитан по формуле

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)},$$

где d_i – разность между рангами соответствующих признаков; n – количество наблюдений (пар значений).

Полученные результаты свидетельствуют о более «извилистом» пути выполнения задач покупателями.

Субъективные оценки когнитивной нагрузки

SMEQ (оперативные замеры): оценки SMEQ высоко согласованы с объективными метриками: корреляция Спирмена с временем выполнения – $r_s = 0.72$ ($p < 0.001$) и с количеством ошибок – $r_s = 0.68$ ($p < 0.001$). Для покупателей задачи высокого уровня сложности оценены в 104.8 балла из 150 (69.9% от максимума), что указывает на высокую, но не экстремальную нагрузку (см. табл. 6). Качественный анализ протоколов подтверждает дискомфорт: «Я уже третий раз выбираю эту ткань, но не понимаю, применилась она или нет».

Табл. 6. Средние баллы SMEQ по ролям пользователей и уровням сложности задач (шкала 0–150 мм).

Уровень сложности задач	Дизайнеры ($M \pm SD$)	Покупатели ($M \pm SD$)	Различие	p	Размер эффекта (d)
Низкий	28.4 (12.1)	34.7 (15.3)	+6.3	0.038	0.35
Средний	52.7 (18.4)	71.2 (22.8)	+18.5	< 0.001	0.73
Высокий	81.3 (24.6)	104.8 (28.4)	+23.5	< 0.001	0.89

NASA-TLX (интегральная оценка): профили когнитивной нагрузки выявили принципиально разные паттерны для двух групп (см. табл. 7):

– ментальные требования значительно выше у покупателей (78.3 против 62.4 у дизайнеров, $d = 0.81$). Покупатели прикладывают больше усилий для понимания интерфейса, что согласуется с объективными данными (большее время и количество ошибок).

– временные требования выше у дизайнеров (54.2 против 43.8 у покупателей, $d = 0.58$). Несмотря на более быстрое выполнение задач (74.2 с против 99.1 с), дизайнеры воспринимают время как более ограниченное, вероятно, из-за профессиональных ожиданий.

– фрустрация – самый большой разрыв между группами (63.7 у покупателей против 42.3 у дизайнеров, $d = 0.93$). Основные источники фрустрации покупателей – это невозможность понять, применилось ли действие, и неочевидность сброса фильтров.

– субъективная успешность (обратная шкала) у покупателей значительно ниже (52.6 против 35.1, $d = 0.89$), что может снизить готовность повторно использовать платформу.

Табл. 7. Профили когнитивной нагрузки по шкалам NASA-TLX.

Шкала	Дизайнеры ($M \pm SD$)	Покупатели ($M \pm SD$)	Различие	p	Размер эффекта (d)
Ментальные требования	62.4 (14.2)	78.3 (16.7)	+15.9	< 0.001	0.81
Физические требования	18.7 (8.3)	24.1 (11.2)	+5.4	0.024	0.42
Временные требования	54.2 (15.6)	43.8 (14.1)	–10.4	0.003	0.58
Усилие	58.9 (13.8)	71.4 (15.9)	+12.5	< 0.001	0.74
Фрустрация	42.3 (17.2)	63.7 (19.4)	+21.4	< 0.001	0.93
Успешность (обратная*)	35.1 (12.8)	52.6 (16.3)	+17.5	< 0.001	0.89

*Примечание: по шкале успешности более высокий балл означает более низкую оценку собственной успешности пользователя.

Совместное влияние факторов (MANOVA): для оценки совместного влияния роли пользователя (межгрупповой фактор) и уровня сложности задач (внутригрупповой фактор) был проведен двухфакторный MANOVA с повторными измерениями. Результаты представлены в табл. 8.

Табл. 8. Результаты двухфакторного MANOVA с повторными измерениями.

Эффект	Wilks' λ	F	df_1	df_2	p	η^2_p
Роль пользователя	0.67	18.4	6	64	< 0.001	0.12
Уровень сложности задач	0.52	24.7	12	140	< 0.001	0.15
Взаимодействие факторов (Роль $\times$ Уровень)	0.81	7.3	12	140	< 0.001	0.05

Лямбда Уилкса (Wilks' λ) представляет собой многомерный статистический тест для оценки значимости различий между факторами. Для расчета показателя размера эффекта η^2_p (частная эта-квадрат) применяют формулу

$$\eta_p^2 = \frac{df_1 \cdot F}{df_1 \cdot F + df_2'}$$

где F -статистика описывает отношение межгрупповой дисперсии к внутригрупповой; df_1, df_2 – это степени свободы, которые используются в процессе анализа; p – достигнутый уровень статистической значимости: если $p < 0.05$, то результат считают статистически значимым [24].

Получены значимые главные эффекты роли пользователя ($p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.12$ – средний эффект) и уровня сложности задач ($p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.15$ – средний/большой эффект), а также значимый эффект их взаимодействия ($p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.05$ – малый эффект). Это указывает на то, что влияние уровня сложности на когнитивную нагрузку неодинаково для двух групп: нагрузка покупателей в большей степени чувствительна к усложнению задач.

Качественный анализ проблемных зон: на основе анализа объективных метрик, протоколов «думай вслух» и посттестовых интервью выявлены 34 проблемные зоны, сгруппированные в три категории: навигация (№ 1), управление 3D-контентом (№ 2) и формы ввода данных (№ 3). Их распределение подтвердило ролевую специфику: у дизайнеров преобладают трудности с формами ввода данных (6 из 11 проблем), у покупателей – с 3D-контентом (7 из 15).

Приведем примеры проблемных зон интерфейса из категории № 1: «Проблемы навигации».

1. Неочевидность перехода между разделами «Мои модели» и «Заказы»: 8 из 34 пользователей-дизайнеров (23.5%) при выполнении задачи «Найти заказ по конкретной модели» начинали поиск в разделе «Мои модели» и затрачивали в среднем 45 с на ошибочный путь, прежде чем перейти в нужный раздел.

Среднее время выполнения задачи у пользователей, столкнувшихся с этой проблемой, составило 112 с ($SD = 24.3$) против 67 с ($SD = 18.7$) у пользователей, не столкнувшихся с этой проблемой (различия статистически значимы: $U = 34.5$, $p = 0.008$, $d = 0.91$), также при выполнении данной задачи было зафиксировано в среднем 3.4 неэффективных клика.

2. Потеря фильтров при переходе между страницами каталога: 15 из 37 пользователей-покупателей (40.5%) применяли фильтры, а затем переходили на следующую страницу результатов и обнаруживали, что фильтры сбросились.

Это вызывало у них сильную фрустрацию, поэтому 11 пользователей (29.7%) начали процесс фильтрации заново, а 4 (10.8%) не завершили выполнение задачи (зафиксирован тайм-аут 300 с).

Далее приведены примеры проблемных зон интерфейса из категории № 2: «Проблемы управления 3D-контентом».

1. Необнаруживаемость функций вращения модели одежды в 3D-окне: 22 из 37 пользователей-покупателей (59.5%) не использовали функцию вращения 3D-модели, хотя она была им доступна. 17 из 22 участников, не использовавших вращение (77.2%), что составляет 46% от всей группы покупателей, в посттестовом интервью сказали, что не знали о такой возможности.

Среди использовавших вращение (15 пользователей) среднее время изучения кастомизированной 3D-модели составило 47 с ($SD = 12.3$), а среди не использовавших вращение – только 23 с ($SD = 8.7$). Различия статистически значимы ($t(35) = 3.8$, $p < 0.001$, $d = 1.24$ – большой эффект). Расчет t -критерия Стьюдента выполнен по формуле

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{SD_1^2}{n_1} + \frac{SD_2^2}{n_2}}},$$

где M_1 и M_2 – средние двух групп; SD_1 и SD_2 – стандартные отклонения групп, n_1 и n_2 – размеры выборок.

Однако интерпретация этого различия требует осторожности: участники, использовавшие вращение, могли просто дольше рассматривать модель, а не «изучать ее полнее».

2. Отсутствие обратной связи при применении ткани или цвета: как пользователи-покупатели, так и пользователи-дизайнеры не всегда понимали, применилось ли изменение к 3D-модели одежды. Особенно остро проблема проявлялась, когда выбранные ткань или цвет были близки к исходным вариантам либо модель загружалась с задержкой.

Так, например, 14 из 37 пользователей-покупателей (37.8%) повторно нажимали на уже выбранную опцию, думая, что первое нажатие «не сработало», а 9 пользователей-дизайнеров (26.5%) в посттестовом интервью отметили, что «иногда непонятно, обновилась 3D-модель или нет».

3. Затруднения с масштабированием модели: функция масштабирования не была интуитивно понятна для 51.4% пользователей-покупателей. Они пытались применять на компьютере жесты, привычные для мобильных устройств, либо не могли найти соответствующие кнопки.

В ходе тестирования 19 из 37 пользователей-покупателей (51.4%) не смогли приблизить 3D-модель для рассмотрения ее деталей самостоятельно. Этим участникам модератор предоставлял вербальную подсказку после фиксации факта затруднения. Среднее время, затраченное на попытки масштабирования до получения подсказки, составило 28 с ($SD = 9.4$).

Теперь приведем примеры проблемных зон интерфейса из категории № 3: **«Проблемы форм ввода данных»**.

1. Непонятные требования к форматам загружаемых файлов: при загрузке 3D-моделей дизайнеры получали сообщение об ошибке только после попытки загрузить файл. Сообщение было общим – «Ошибка загрузки файла» без указания причины.

В среднем пользователи-дизайнеры тратили 2.3 попытки ($SD = 1.1$, диапазон от 1 до 5) на успешную загрузку файла, 15 из 34 дизайнеров (44.1%) совершили хотя бы одну ошибку при выполнении данной задачи, затратив на нее в среднем на 52 с ($SD = 18.7$) больше, чем дизайнеры, выполнившие задачу с первой попытки.

2. Отсутствие индикации обязательных полей ввода данных: в формах создания карточки товара, а также в формах оформления заказа пользователи пропускали некоторые поля, обязательные для заполнения, и получали сообщение об ошибке при отправке формы.

Так, в ходе тестирования 21 участник из 71 (29.6%) столкнулся с этой проблемой, а 8 из них (38.1%) после получения сообщения об ошибке не смогли самостоятельно определить, какое конкретно поле пропущено в форме.

3. Слишком большое количество полей на одной странице: форма создания карточки товара в тестируемом варианте интерфейса содержала 14 полей ввода данных без логической группировки. Это вызвало у пользователей-дизайнеров когнитивную перегрузку и привело к пропуску некоторых полей.

Среднее время заполнения пользователями-дизайнерами данной формы составило 4.2 мин ($SD = 1.3$) против ожидаемых 2.5 мин по оценке экспертов (различия статистически значимы: $t(33) = 4.6$, $p < 0.001$, $d = 1.12$); 12 из них (35.3%) пропустили хотя бы одно поле при первом заполнении формы и обнаружили это только при неудачной попытке опубликовать карточку товара.

В ходе тестирования некоторые проблемные зоны были выявлены в обеих группах, но проявлялись они по-разному. Например, проблема с непониманием статуса загрузки 3D-модели: пользователи-дизайнеры беспокоились о технических аспектах (цитата из протокола «думай вслух»: «Долго грузится, наверное, модель тяжелая. Может, надо ее оптимизировать?»), а пользователи-покупатели интерпретировали это как поломку (цитата из протокола «думай вслух»: «Зависло. Надо обновить страницу»).

В табл. 9 представим результаты сопоставления предварительной экспертной классификации задач с полученными эмпирическими данными.

Табл. 9. Соответствие экспертной классификации задач по уровню когнитивной нагрузки эмпирическим данным.

Роль	Экспертная оценка уровня сложности задач	Совпадение с эмпирическими данными	Завышение уровня сложности задач	Занижение уровня сложности задач
Пользователи-дизайнеры	Низкий	100%	0%	0%
	Средний	75%	12.5%	12.5%
	Высокий	89%	11%	0%
Пользователи-покупатели	Низкий	93%	7%	0%
	Средний	62.5%	0%	37.5%
	Высокий	33%	0%	67%

Так, для покупателей 37.5% задач, отнесенных экспертами к среднему уровню, оказались высокосложными, а 67% задач, отнесенных экспертами к высокосложным, – значительно сложнее из-за необходимости одновременно управлять 3D-объектом, отсутствия обратной связи, потери ориентации в последовательности действий и отсутствия индикации прогресса. Для дизайнеров задачи, связанные с фильтрацией и сортировкой, оказались проще, чем ожидали эксперты, благодаря знакомым им паттернам интерфейса.

Выявленные отличия обусловлены тремя факторами, недостаточно учтенными в экспертной классификации: (1) новизной 3D-парадигмы для непрофессиональных пользователей, (2) профессиональной деформацией экспертов и (3) кумулятивным эффектом от сочетания нескольких мелких проблем, создающих «когнитивный шум» для непрофессиональных пользователей.

РАЗРАБОТКА И ВАЛИДАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА МУЛЬТИРОЛЕВОЙ 3D-ПЛАТФОРМЫ

На основе анализа 34 проблемных зон и их интерпретации были сформулированы принципы проектирования интерфейса новой цифровой платформы с 3D-функционалом, направленные на снижение когнитивной нагрузки для обеих ролей пользователей – дизайнеров и покупателей.

Принципы проектирования интерфейса

1. Принцип явного управления 3D-контентом: все функции для управления 3D-контентом должны быть представлены визуально различными элементами интерфейса, а также дублироваться через альтернативные способы взаимодействия.

2. Принцип многоуровневой обратной связи: каждое действие пользователя должно получать немедленную, явную и информативную обратную связь на нескольких уровнях: визуальном, текстовом и, при возможности, тактильном.

3. Принцип ролевой адаптации интерфейса: интерфейс должен динамически адаптироваться под текущую роль пользователя – «дизайнер» или «покупатель», изменяя плотность информации, сложность элементов управления и доступные функции.

4. Принцип превентивного информирования: вся информация, необходимая для корректного выполнения действия, должна быть доступна пользователю до начала действия, а не в момент ошибки.

5. Принцип сохранения контекста: состояния интерфейса (фильтры, сортировка, выбранные опции) должны сохраняться при навигации в пределах одной сессии, если иное не выбрано пользователем.

6. Принцип структурирования сложности: сложные многошаговые процессы должны быть разбиты на логические этапы с явной индикацией прогресса, большое количество полей – сгруппировано в визуально различимые блоки.

7. Принцип постепенного раскрытия функциональных возможностей (progressive disclosure): интерфейс должен показывать пользователю только те функции и опции, которые необходимы на текущем этапе работы, раскрывая их сложность по мере освоения.

На основе сформулированных принципов в прототип были внесены изменения. Наиболее значительные модификации произведены для экранной формы кастомизации для покупателей и формы создания карточки товара для дизайнеров.

Так, в модифицированной версии интерфейса для кастомизации (см. рис. 1) реализованы: явное управление 3D-контентом (кнопки вращения, слайдер масштабирования, анимация при загрузке, подсказки при наведении); многоуровневая обратная связь (подсветка выбранной ткани, плавное изменение текстуры, уведомление «Ткань применена»); ролевая адаптация (упрощенный режим для новых покупателей, кнопка «Больше опций»); «Мастер» кастомизации с прогресс-баром (шаг 1: выбор ткани, шаг 2: выбор фасона, шаг 3: выбор деталей).

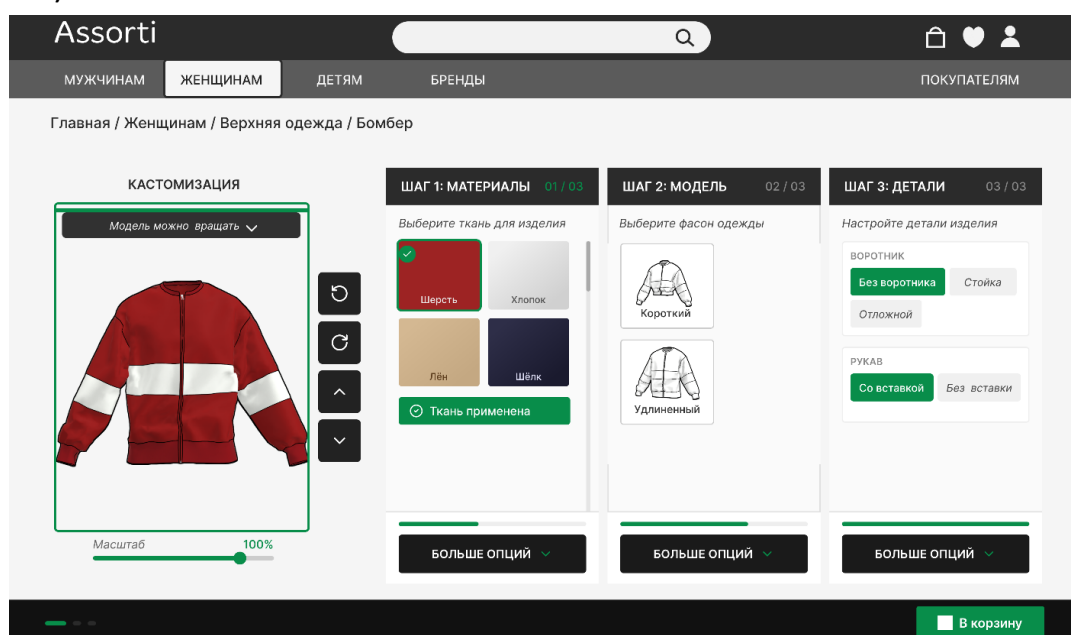


Рис. 1. Макет модифицированной экранной формы интерфейса для кастомизации модели одежды покупателем.

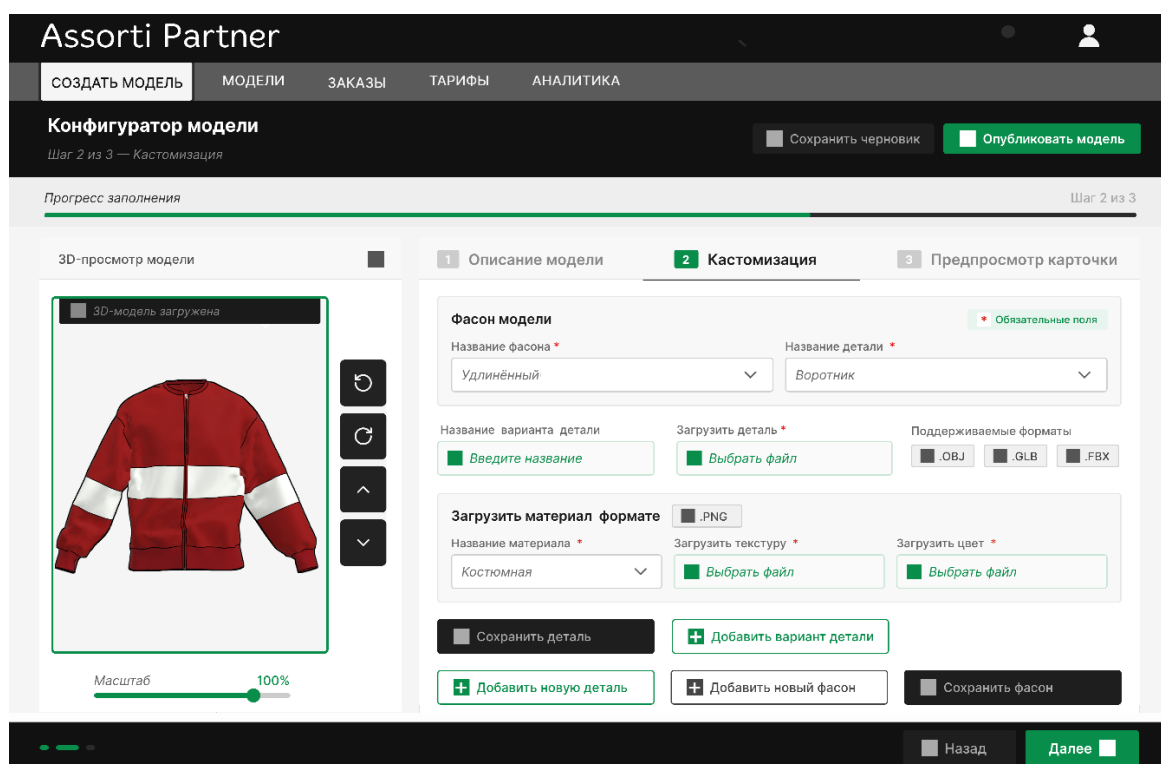


Рис. 2. Макет одной из экранных форм модифицированного интерфейса для создания карточки товара дизайнером.

На экранной форме для создания карточки товара (см. рис. 2) реализованы: структурирование сложности (форма разделена на три логических блока с аккордеоном, прогресс-бар); превентивное информирование (обязательные поля помечены звездочкой, указаны допустимые форматы с иконками, предпросмотр карточки до публикации, ссылка «Скачать модель» в режиме превью); сохранение контекста (сохранение введенных данных при переходах между блоками, возможность сохранить черновик).

Кроме того, были произведены и другие модификации: навигация (индикация связи между 3D-моделями и заказами и пр.); фильтры (сохранение состояния фильтров в URL и при пагинации и пр.); поиск (расширенный поиск для дизайнеров, упрощенный с автодополнением для покупателей).

Для оценки эффективности предложенных изменений проведено повторное тестирование с 21 новым участником (10 дизайнеров и 11 покупателей, не принимавших участия в первом этапе). Использовались те же задачи.

Сравнительный анализ метрик до и после модификации представлен в табл. 10 и 11. Наибольший эффект для дизайнеров дали превентивное ин-

формирование и структурирование сложности: снижение количества попыток загрузки на 48% ($d = 0.68$), снижение времени на 21% ($d = 0.51$). Для покупателей наибольший эффект дали явное управление 3D-контентом и многоуровневая обратная связь: рост использования 3D-функций на 50.4 процентных пункта (с 40.5% до 90.9%), снижение фрустрации на 35% ($d = 0.69$), снижение ошибок на 44% ($d = 0.64$). Важно отметить, что изменения интерфейса, направленные на снижение когнитивной нагрузки в одной группе, не ухудшили показатели в другой.

Табл. 10. Динамика показателей в группе пользователей-дизайнеров после модификации в интерфейсе.

Показатель	До модификации	После модификации	Изменение	p	Размер эффекта (d)
Среднее время выполнения задач, сек.	74.2	58.6	-15.6 (-21%)	< 0.01	0.51
Среднее количество ошибок на задачу	0.27	0.18	-0.09 (-33%)	< 0.05	0.42
Средний балл SMEQ	54.1	42.3	-11.8 (-22%)	< 0.01	0.47
Фрустрация (NASA-TLX)	42.3	31.7	-10.6 (-25%)	< 0.01	0.44
Количество попыток загрузки файла	2.3	1.2	-1.1 (-48%)	< 0.01	0.68

Табл. 11. Динамика показателей в группе пользователей-покупателей после модификации в интерфейсе.

Показатель	До модификации	После модификации	Изменение	p	Размер эффекта (d)
Среднее время выполнения задач, сек.	99.1	71.3	-27.8 (-28%)	< 0.01	0.58
Среднее количество ошибок на задачу	0.52	0.29	-0.23 (-44%)	< 0.01	0.64
Средний балл SMEQ	70.2	48.6	-21.6 (-31%)	< 0.01	0.63
Ментальные требования (NASA-TLX)	78.3	58.4	-19.9 (-25%)	< 0.01	0.52

Фрустрация (NASA-TLX)	63.7	41.2	-22.5 (-35%)	< 0.01	0.69
Использование вращения 3D-модели	40.5%	90.9%	+50.4%	< 0.01 (χ^2)	–

В результате исследования предложена модель когнитивного взаимодействия пользователей с мультиролевой 3D-платформой. Ее ключевой особенностью является замкнутость: три компонента опираются друг на друга и во взаимосвязи обеспечивают эффективность подхода.

1. Таксономический компонент – классификация задач для дизайнеров и покупателей с учетом когнитивной нагрузки (коэффициент конкордации Кендалла $W = 0.82$) и эмпирическая валидация, выявившая систематические расхождения между экспертной оценкой и практикой (для покупателей 67% задач, отнесенных к высокому уровню, продемонстрировали нагрузку, превышающую медианные значения).

2. Диагностический компонент – построение профилей когнитивной нагрузки на основе NASA-TLX (у дизайнеров – временное давление 54.2, у покупателей – фрустрация 63.7) и идентификация 34 проблемных зон (навигация – 10, управление 3D-контентом – 10, формы ввода данных – 14).

3. Проектный компонент – формулировка 7 принципов проектирования, их реализация в прототипе и эмпирическая валидация (снижение времени на 21–28%, ошибок на 33–44%, фрустрации на 25–35%; размеры эффекта d от 0.42 до 0.69).

Разработанные принципы проектирования интерфейса, а также модель когнитивного взаимодействия разных групп пользователей с 3D-платформой прошли эмпирическую валидацию. С учетом ограничений, связанных с междугрупповым дизайном и меньшим объемом выборки в повторном тестировании ($n = 21$), они могут быть рекомендованы для применения в аналогичных мультиролевых веб-приложениях, в том числе со сложным 3D-функционалом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана, эмпирически обоснована и проверена на практике модель когнитивного взаимодействия пользователей с мультиролевой 3D-платформой

для кастомизации одежды. В эксперименте участвовали 34 дизайнера и 37 покупателей. Всего осуществлено 639 наблюдений.

Объективными метриками (время, ошибки, неэффективные клики) и субъективными шкалами (SMEQ, NASA-TLX) выявлены разные профили когнитивной нагрузки: дизайнеров замедляют формы (временное давление 54.2), покупателей – 3D-контент (фрустрация 63.7). На основе анализа 34 проблемных зон сформулированы 7 принципов проектирования интерфейса: явное управление 3D, многоуровневая обратная связь, ролевая адаптация, превентивное информирование, сохранение контекста, структурирование сложности и progressive disclosure. Повторное тестирование прототипа подтвердило их эффективность: время выполнения задач сократилось на 21–28%, количество ошибок – на 33–44%, фрустрация снизилась на 25–35%, использование 3D-функций выросло с 40.5% до 90.9%.

В качестве направлений для дальнейших исследований можно выделить проверку прогностического потенциала разработанной когнитивной модели, а также ее адаптацию для других предметных областей – конфигураторов обуви, интерьеров и пр. Для разрабатываемой платформы перспективна адаптация предложенных принципов под мобильные устройства, чтобы изучить сенсорные паттерны взаимодействия с 3D-контентом. Отдельный интерес представляет интеграция с VR и анализ источников когнитивной нагрузки в иммерсивных средах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Guo J., Zhao Y., Wenqian Z., Lu K., Feng X., Xia T. The influence of the information richness of interfaces on consumers' purchase intention: the sequential mediating effects of cognitive load, mental imagery, and flow experience // Behavioral Sciences. 2025. Vol. 15, No 5. P. 673. https://doi.org/10.3390/bs15050673?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
2. Kumari A. The Future of Commerce: How Customer Expectations Are Redefining B2B and B2C. Acorel Blog, 2025. URL: <https://blog.acorel.nl/2025/12/the-future-of-commerce-how-customer-expectations-are-redefining-b2b-and-b2c/> (дата обращения 02.04.2026).

3. Евдущенко Е.В., Шматко М.В. Разработка цифровой платформы со встроенным 3D-конфигуратором для кастомизации одежды // Электронные библиотеки. Т. 29. Вып. 1. С. 207–239.

<https://doi.org/10.26907/1562-5419-2026-29-1-207-239>

4. Paas F., Renkl A., Sweller J. Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments // Educational Psychologist. 2003. Vol. 38, No 1. P. 1–4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1

5. Raees M., Khan V.J., Papangelis K. UX Challenges in Implementing an Interactive B2B Customer Segmentation Tool. In Companion Publication of the 2025 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'25), 2025.

<https://doi.org/10.1145/3706599.3706687>

6. Wasilewski A., Kolaczek G. One size does not fit all: multivariant user interface personalization in e-commerce // IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 65570–65582. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3398192>

7. Hart S.G., Staveland L.E. Development of NASA-TLX: Results of Empirical and Theoretical Research // Advances in Psychology. 1988. Vol. 52. P. 139–183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)

8. Jin H., Xiao M., Liu L., Kan S., Fu Y, Zhang D. Relationship between physical fatigue and mental fatigue based on multimodal measurement under different load levels // Ergonomics. 2024. Vol. 67(11). P. 1748–1763.

<https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2364667>

9. Von Janczewski N., Kraus J., Engeln A., Baumann M. A subjective one-item measure based on NASA-TLX to assess cognitive workload in driver-vehicle interaction. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior. 2022. Vol. 86. P. 210–225. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.02.012>

10. Qiu Y., Duan H., Xie H., Ding X., Jiao Y. Design and development of a web-based interactive twin platform for watershed management // Transactions in GIS. 2022. Vol. 26. P. 1299–1317. <https://doi.org/10.1111/tgis.12904>

11. Sudár A., Csapó Á.B. Comparing desktop 3d virtual reality with web 2.0 interfaces: identifying key factors behind enhanced user capabilities // Heliyon. 2024. Vol. 10, No 11. P. e31717. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31717>

12. *Albert B., Tullis T.* Measuring the User Experience (3rd ed.). Morgan Kaufmann, 2022. 384 p.

URL: <https://www.educate.elsevier.com/book/details/9780128180808> (дата обращения 10.04.2026).

13. *Wickens C.D., Hollands J.G., Banbury S., Parasuraman R.* Engineering Psychology and Human Performance (4th ed.). Pearson, 2013. 518 p.

URL: <https://studentebookhub.com/wp-content/uploads/2024/preview/9781032042145.pdf> (дата обращения 20.04.2026).

14. *Kendall M.G., Babington Smith B.* The problem of m rankings // The Annals of Mathematical Statistics. 1939. Vol. 10, No. 3. P. 275–287.

<https://doi.org/10.1214/aoms/1177732186>

15. *Schmidt C., Collette F., Cajochen C., Peigneux P.* A time to think: Circadian rhythms in human cognition // Cognitive Neuropsychology. 2007. Vol. 24, No. 7. P. 755–789. <https://doi.org/10.1080/02643290701754158>

16. *Sauro J., Dumas J.S.* Comparison of three one-question, post-task usability questionnaires // In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. 2009. P. 1599–1608. <https://doi.org/10.1145/1518701.1518946>

17. *Taylor S.S., Bolton M.L.* Design matters: Scale design and rounding ratings impacts NASA-TLX results. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 2025. Vol. 69, No 1. P. 1192–1194.

<https://doi.org/10.1177/10711813251371038>

18. *Голова М.* Протокол «Думай вслух»: что это такое и как его использовать. 4brain.ru, 2024. URL: <https://4brain.ru/blog/protokol-dumay-vsluh-cto-eto-takoe-i-kak-ego-ispolzovat/> (дата обращения 03.04.2026).

19. *Nielsen J.* How Many Test Users in a Usability Study? Nielsen Norman Group, 2012. URL: <https://www.nngroup.com/articles/how-many-test-users/> (дата обращения 04.04.2026).

20. *Faul F., Erdfelder E., Lang A.G., Buchner A.* G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences // Behav. Res. Methods. 2007. Vol. 39, No. 2. P. 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>

21. *Tabachnick B.G., Fidell L.S.* Using Multivariate Statistics. Seventh edition. New York: Pearson, 2019. 850 p. URL: <https://pdf4pro.com/view/seventh-edition-using-multivariate-statistics-692f15.html> (дата обращения 04.05.2026).

22. *Armstrong R.A.* When to use the Bonferroni correction // *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2014. Vol. 34, No. 5, P. 502–508. <https://doi.org/10.1111/opo.12131>

23. *Braun V., Clarke V.* Thematic Analysis: A Practical Guide. SAGE Publications. 2021. 376 p. URL: https://books.google.ru/books/about/Thematic_Analysis.html?id=mToqEAAAQBAJ&redir_esc=y (дата обращения 18.04.2026).

24. *Cohen J.* Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.). NY: Routledge. 1988. 567 p. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

COGNITIVE MODELING OF USER INTERACTION IN MULTI-ROLE WEB APPLICATIONS WITH 3D FUNCTIONALITY

M. V. Shmatko¹ [0000-0002-7255-8885], **E. V. Evdushenko**² [0000-0003-3692-2587]

¹*Omsk State Technical University, Omsk, Russia*

²*Military Engineering Institute of the Military Logistics Academy, Saint Petersburg, Russia*

¹marin298@gmail.com, ²elena.online_ktilp@mail.ru

Abstract

The article investigates cognitive load in users of a multi-role 3D platform. An experiment (71 participants: 34 designers, 37 customers; 639 observations) using objective metrics and subjective scales revealed different load profiles: designers are slowed down by data entry forms, while customers are hindered by 3D content. Based on 34 problem areas, seven interface design principles and a task classification by cognitive complexity level, accounting for role-specific factors, were formulated. Retesting (21 participants) confirmed their effectiveness: task completion time decreased by 21–28%, errors by 33–44%, frustration by 25–35%, and the use of 3D features increased from 40.5% to 90.9%. The developed three-component model

(taxonomic, diagnostic, and design levels) is recommended for designing similar multi-role platforms with 3D functionality.

Keywords: *cognitive load, multi-role web applications, user 3D interfaces, NASA-TLX, SMEQ, cognitive modeling, UX research, human-computer interaction.*

REFERENCES

1. Guo J., Zhao Y., Wenqian Z., Lu K., Feng X., Xia T. The influence of the information richness of interfaces on consumers' purchase intention: the sequential mediating effects of cognitive load, mental imagery, and flow experience // Behavioral Sciences. 2025. Vol. 15, No. 5. P. 673.
https://doi.org/10.3390/bs15050673?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
2. Kumari A. The Future of Commerce: How Customer Expectations Are Redefining B2B and B2C. Acorel Blog, 2025. URL: <https://blog.acorel.nl/2025/12/the-future-of-commerce-how-customer-expectations-are-redefining-b2b-and-b2c/>.
3. Evdushchenko E.V., Shmatko M.V. Razrabotka cifrovoy platformy so vstroennym 3D-konfiguratorom dlya kastomizacii odezhdy [Development of a digital platform with an integrated 3D configurator for clothing customization]. Russian Digital Libraries Journal. 2026. Vol. 29, No. 1. S. 207–239.
<https://doi.org/10.26907/1562-5419-2026-29-1-207-239>
4. Paas F., Renkl A., Sweller J. Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments // Educational Psychologist. 2003. Vol. 38, No. 1. P. 1–4.
https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1
5. Raees M., Khan V.J., Papangelis K. UX Challenges in Implementing an Interactive B2B Customer Segmentation Tool. In Companion Publication of the 2025 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'25), 2025.
<https://doi.org/10.1145/3706599.3706687>
6. Wasilewski A., Kolaczek G. One size does not fit all: multivariant user interface personalization in e-commerce // IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 65570–65582.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3398192>
7. Hart S.G., Staveland L.E. Development of NASA-TLX: Results of Empirical and Theoretical Research // Advances in Psychology. 1988. Vol. 52. P. 139–183.
[https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)

8. Jin H., Xiao M., Liu L., Kan S., Fu Y., Zhang D. Relationship between physical fatigue and mental fatigue based on multimodal measurement under different load levels // *Ergonomics*. 2024. Vol. 67(11). P. 1748–1763.

<https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2364667>

9. Von Janczewski N., Kraus J., Engeln A., Baumann M. A subjective one-item measure based on NASA-TLX to assess cognitive workload in driver-vehicle interaction. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*. 2022. Vol. 86. P. 210–225. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.02.012>

10. Qiu Y., Duan H., Xie H., Ding X., Jiao Y. Design and development of a web-based interactive twin platform for watershed management // *Transactions in GIS*. 2022. Vol. 26. P. 1299–1317. <https://doi.org/10.1111/tgis.12904>

11. Sudár A., Csapó Á.B. Comparing desktop 3d virtual reality with web 2.0 interfaces: identifying key factors behind enhanced user capabilities // *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No 11. P. e31717. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31717>

12. Albert B., Tullis T. *Measuring the User Experience* (3rd ed.). Morgan Kaufmann, 2022. 384 p.

URL: <https://www.educate.elsevier.com/book/details/9780128180808> (accessed: April 10, 2026).

13. Wickens C.D., Hollands J.G., Banbury S., Parasuraman R. *Engineering Psychology and Human Performance* (4th ed.). Pearson, 2013. 518 p.

URL: <https://studentebookhub.com/wp-content/uploads/2024/preview/9781032042145.pdf> (accessed: April 10, 2026).

14. Kendall M.G., Babington Smith B. The problem of m rankings // *The Annals of Mathematical Statistics*. 1939. Vol. 10, No. 3. P. 275–287.

<https://doi.org/10.1214/aoms/1177732186>

15. Schmidt C., Collette F., Cajochen C., Peigneux P. A time to think: Circadian rhythms in human cognition // *Cognitive Neuropsychology*. 2007. Vol. 24, No. 7. P. 755–789. <https://doi.org/10.1080/02643290701754158>

16. Sauro J., Dumas J.S. Comparison of three one-question, post-task usability questionnaires // In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*. Association for Computing Machinery, New York. NY, USA. 2009. P. 1599–1608. <https://doi.org/10.1145/1518701.1518946>

17. *Taylor S.S., Bolton M.L.* Design matters: Scale design and rounding ratings impacts NASA-TLX results. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 2025. Vol. 69, No. 1. P. 1192–1194.

<https://doi.org/10.1177/10711813251371038>

18. *Golova M.* Protokol «Dumaj vsluh»: chto ehto takoe i kak ego ispol'zovat'. 4brain.ru. 2024. URL:<https://4brain.ru/blog/protokol-dumay-vsluh-chto-eto-takoe-i-kak-ego-ispolzovat/>.

19. *Nielsen J.* How Many Test Users in a Usability Study? Nielsen Norman Group, 2012. URL: <https://www.nngroup.com/articles/how-many-test-users/> (accessed: April 10, 2026).

20. *Faul F., Erdfelder E., Lang A.G., Buchner A.* G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences // Behav. Res. Methods. 2007. Vol. 39, No. 2. P. 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>

21. *Tabachnick B.G., Fidell L.S.* Using Multivariate Statistics. Seventh edition. New York: Pearson, 2019. 850 p. URL: <https://pdf4pro.com/view/seventh-edition-using-multivariate-statistics-692f15.html> (accessed: April 10, 2026).

22. *Armstrong R.A.* When to use the Bonferroni correction // Ophthalmic and Physiological Optics. 2014. Vol. 34, No. 5. P. 502–508. <https://doi.org/10.1111/opo.12131>

23. *Braun V., Clarke V.* Thematic Analysis: A Practical Guide. SAGE Publications. 2021. 376 p. URL: https://books.google.ru/books/about/Thematic_Analysis.html?id=mToqEAAQBAJ&redir_esc=y (accessed: April 10, 2026).

24. *Cohen J.* Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.). NY: Routledge. 1988. 567 p. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ШМАТКО Марианна Владимировна – к. филос. н., доцент кафедры «Математические методы и информационные технологии в экономике» ОмГТУ. Сфера научных интересов – разработка новых цифровых продуктов, UX-аналитика и юзабилити информационных систем, гейм-дизайн. Сфера практической деятельности – разработка технологических стартап-проектов.

Marianna Vladimirovna SHMATKO – Candidate of Philosophical Sciences, associate professor at the Department "Mathematical Methods and Information Technologies in Economics" of Omsk State Technical University. Research interests: digital product development, UX analytics, information systems usability, and game design. Practical activities: development of technology startup projects.

email: marin298@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7255-8885



ЕВДУЩЕНКО Елена Владимировна – к. техн. н., доцент кафедры «Военная архитектура, автоматизированные системы проектирования, естественнонаучные дисциплины» ВИ (ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург. Сфера научных интересов – 3D-моделирование одежды, развитие ИТ-продуктов.

Elena Vladimirovna EVDUSHCHENKO – Candidate of Technical Sciences, associate professor at the Department "Military Architecture, Automated Design Systems and Natural Sciences" of the Military Engineering Institute of the Military Logistics Academy, St. Petersburg. Research interests include 3D modeling of clothing and the development of IT products.

email: elena.online_ktilp@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3692-2587

Материал поступил в редакцию 22 июня 2026 года