

УДК 004.777

https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/13

ЭФФЕКТ «ЖИДКОГО СТЕКЛА» В СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСАХ: ВЛИЯНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ТРЕНДА НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ОПЫТ

©*Ларюшкин А. А., Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
г. Москва, Россия, antonl03@yandex.ru*

©*Зеленова Ю. И., ORCID: 0000-0002-6979-2443, SPIN-код: 4568-0055, канд. техн. наук,
Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),
г. Москва, Россия, zelenova.julie@yandex.ru*

LIQUID GLASS EFFECT IN MODERN WEB INTERFACES: THE IMPACT OF VISUAL TREND ON USER EXPERIENCE

©*Laryshkin A., Russian Technological University (RTU MIREA),
Moscow, Russia, antonl03@yandex.ru*

©*Zelenova Ju., ORCID: 0000-0002-6979-2443, SPIN-code: 4568-0055, Ph.D.,
Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia, zelenova.julie@yandex.ru*

Аннотация. Рассматривается феномен визуального стиля «Жидкое стекло» (Liquid Glass), получивший распространение в контексте развития пространственных вычислений и роста производительности графических процессоров. Постепенно данный подход перестал восприниматься исключительно как декоративный прием и начал рассматриваться как технологически обусловленная модель проектирования интерфейсов, в которой имитация оптических свойств материала становится частью программной архитектуры. Визуальная эстетика в этом случае напрямую зависит от способа реализации графических эффектов и особенностей рендеринга. В работе проведен сравнительный анализ методов реализации прозрачных структур в веб-среде. Рассматриваются возможности CSS (в частности свойства `backdrop-filter`) и графических API WebGL и WebGPU с точки зрения производительности и степени приближения к физически мотивированной модели света. Анализируются особенности построения рендеринг-пайплайнов, ограничения декларативных подходов и потенциал шейдерных технологий для симуляции рефракции и хроматической дисперсии. Отдельное внимание уделено эргономике: эффекты «визуальной тактильности» могут усиливать ощущение материальности интерфейса, однако при неконтролируемом применении способны усложнять визуальную иерархию и ослаблять принцип разделения фигуры и фона. Вопрос доступности рассматривается как ключевой ограничивающий фактор. Прозрачные и динамические фоны повышают вариативность воспринимаемой контрастности, что затрудняет соблюдение требований веб-доступности (Accessibility). В статье анализируются перцептивные модели оценки контраста, включая APCSA, и обсуждаются адаптивные методы корректировки яркости и фоновых параметров. Делается вывод о необходимости инженерно выверенного подхода, при котором выразительность визуального решения согласуется с требованиями производительности и инклюзивного дизайна.

Abstract. The article examines the phenomenon of the “Liquid Glass” visual style, which has gained prominence alongside advances in spatial computing and the increasing performance of modern graphics processors. Over time, this approach has moved beyond a purely decorative technique and has begun to be treated as a technologically grounded model of interface design, in which the simulation of optical material properties becomes part of the rendering architecture itself. In this context, visual aesthetics are directly linked to implementation choices and the underlying

graphics pipeline. The study provides a comparative analysis of methods for implementing transparent structures in web environments. It contrasts declarative CSS solutions—particularly the backdrop-filter property—with low-level graphics APIs such as WebGL and WebGPU in terms of performance characteristics and their ability to approximate physically motivated light behavior. The analysis addresses pipeline structure, the constraints of compositing-based approaches, and the potential of shader-driven techniques for simulating refraction and chromatic dispersion. At the same time, ergonomic implications are considered: while “visual tactility” may enhance the perceived materiality of interface elements, its uncontrolled use can complicate visual hierarchy and weaken the figure–ground relationship. Accessibility is treated as a central constraint rather than a secondary consideration. Transparent and dynamically changing backgrounds increase variability in perceived contrast, which complicates compliance with web accessibility standards. The article therefore examines perceptual contrast models, including APCA, and discusses adaptive techniques for luminance and background adjustment. It is argued that the effective integration of Liquid Glass into web interfaces depends on a carefully balanced engineering strategy in which visual expressiveness is aligned with performance limitations and inclusive design requirements.

Ключевые слова: веб-интерфейс, жидкое стекло, WebGPU, пользовательский опыт, когнитивная нагрузка, веб-доступность, APCA.

Keywords: web interface, Liquid Glass, WebGPU, user experience, cognitive load, web accessibility, APCA.

Развитие визуальных трендов в цифровой среде происходит волнообразно и во многом определяется как технологическими возможностями, так и тем, как пользователи воспринимают интерфейсы. В начале 2000-х годов доминировали гиперреализм и скевоморфизм, ориентированные на имитацию физических объектов и материалов. Далее последовал переход к радикальному упрощению визуальной формы в рамках концепции Flat Design, где приоритетом стали функциональная ясность, минимализм и снижение визуального шума. Однако по мере роста вычислительных возможностей устройств и графических ускорителей стало возможным возвращение к более сложным моделям визуальной репрезентации, включающим глубину, многослойность и имитацию материальных свойств.

В 2024–2026 годах усилился интерес к интерфейсам, в которых активно используется глубина, многослойность и пространственная организация элементов. Данный сдвиг связан не только с эстетической переоценкой минималистичных подходов, но и с развитием пространственных вычислений (Spatial Computing), а также с релизом операционных систем нового поколения, таких как visionOS и iOS 26, что отражает общее направление развития экосистемы Apple [1].

В официальных рекомендациях Apple по проектированию для visionOS подчеркивается важность объемности, реалистичного освещения и материальности интерфейсных элементов, что институционально закрепляет тренд на пространственную выразительность цифровых сред [1].

В этом контексте сформировался стиль, условно называемый «Жидкое стекло» (Liquid glass). В отличие от «стекломорфизма» образца 2020 года, который в основном использовал статическую полупрозрачность и эффект размытия для создания визуального сходства с матовым стеклом, «Жидкое стекло» предполагает более сложную модель визуального поведения материала. Речь идёт не только о прозрачности, но и о моделировании оптических свойств, включая преломление, хроматическую дисперсию и реакцию поверхности на

движение пользователя или изменения освещения. Таким образом, этот стиль можно рассматривать как попытку интегрировать принципы физически корректного рендеринга в дизайн интерфейса.

Однако внедрение подобных эффектов в веб-среду сопряжено с рядом технологических и эргономических ограничений. С одной стороны, современные графические API (WebGL, WebGPU) позволяют реализовывать сложные шейдерные эффекты, включая многопроходный рендеринг, работу с картами нормалей и передачу света через полупрозрачные поверхности. С другой стороны, использование прозрачных и многослойных структур влияет на распределение внимания пользователя и может изменять когнитивную нагрузку. Классические исследования прозрачных многослойных интерфейсов показывают, что наложение визуальных слоев требует более тщательного управления фокусом и иерархией элементов, поскольку прозрачность может одновременно облегчать и усложнять восприятие информации [4]. Дополнительным фактором является проблема читаемости текста и элементов управления на сложных или динамических фонах. Экспериментальные исследования демонстрируют, что наличие текстурированного или контрастного заднего плана существенно влияет на скорость распознавания и субъективную оценку удобства чтения, особенно при использовании полупрозрачных подложек [3].

Это особенно актуально для интерфейсов в стиле Liquid Glass, где фон часто остается частично видимым через стеклянные элементы. С технологической точки зрения реализация эффекта Liquid Glass в браузерной среде представляет собой нетривиальную инженерную задачу. Стандартные средства каскадных таблиц стилей (CSS), включая свойство `backdrop-filter`, обеспечивают базовые эффекты размытия и цветовой модификации фона, однако их возможности ограничены в части имитации физически корректных оптических явлений. В частности, такие механизмы не позволяют воспроизводить полноценную рефракцию или динамическую дисперсию света. В этой связи в таблице 1 представлен сравнительный анализ подходов к рендерингу прозрачных интерфейсов, сопоставляющий декларативные CSS-решения и низкоуровневые графические API.

Использование прозрачных интерфейсных элементов требует учета требований доступности. Согласно стандарту WCAG 2.2, контрастность текста и интерактивных элементов должна соответствовать установленным пороговым значениям вне зависимости от характера фона [5]. Если фон изменяется динамически, поддержание стабильной воспринимаемой контрастности превращается в отдельную инженерную проблему, требующую применения моделей оценки контраста, учитывающих особенности зрительного восприятия и адаптивных методов рендеринга. В качестве промежуточного технологического решения для имитации рефракции могут рассматриваться SVG-фильтры (в частности, использование примитива `feDisplacementMap` в связке с картами шума). Однако для реализации комплексного эффекта Liquid Glass данный подход обладает рядом критических ограничений. SVG-алгоритмы остаются инструментарием двумерной постобработки и не поддерживают принципы физически корректного рендеринга (PBR). Они не способны рассчитать реальное преломление света, эффект Френеля или обеспечить многопроходный конвейер (multi-pass pipeline). Кроме того, архитектура браузерного рендеринга плохо масштабируется под анимацию сложных SVG-фильтров: динамическое обновление карты смещения вызывает избыточную нагрузку на CPU/GPU, делая метод непригодным для интерактивных интерфейсов. В связи с этим фундаментальный архитектурный выбор при проектировании прозрачных сред сводится к двум основным парадигмам: декларативным CSS-свойствам и низкоуровневым графическим API, сравнительный анализ которых представлен в Таблице.

Таблица

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЗРАЧНОСТИ И РЕФРАКЦИИ

Критерий анализа	CSS (свойство <i>backdrop-filter</i>)	WebGL / WebGPU (экосистема <i>Three.js</i>)
Визуальный эффект	Размытие (<i>blur</i>) и цветовые фильтры (<i>brightness</i> , <i>contrast</i> , <i>saturate</i>); ограниченная имитация стеклянной поверхности	Физически мотивированная рефракция, <i>transmission</i> , эффект Френеля, хроматическая дисперсия
Геометрические искажения	Ограничены рамками DOM-геометрии и 2D-трансформаций	Произвольные искажения геометрии, нормалей и UV-координат на уровне шейдера
Физическая модель	Не предполагает физически корректного расчета светопереноса	Поддержка PBR-подхода (<i>Physically Based Rendering</i>), моделирование отражения и преломления
Производительность рендеринга	Зависит от количества слоев и радиуса размытия; возможен рост GPU-нагрузки из-за <i>overdraw</i>	Зависит от сложности шейдеров и количества проходов; требует оптимизации пайплайна
Энергопотребление (Mobile)	Относительно стабильное при умеренном использовании эффектов	Может возрасти при использовании многопроходного рендеринга и динамических шейдеров
Сложность интеграции	Низкая: декларативная интеграция в CSS, без отдельного рендер-контекста	Высокая: настройка сцены, рендер-таргетов и синхронизация с DOM
Применимость в дизайне	Подходит для UI-компонентов (модальные окна, панели, меню)	Подходит для сложных интерактивных сцен, бренд-графики, hero-секций

Исследования производительности графических интерфейсов показывают, что использование CSS-свойства *backdrop-filter* в условиях активной анимации и множественных перекрывающихся слоёв может приводить к увеличению количества операций перерисовки (*overdraw*), особенно на мобильных устройствах. При наложении нескольких полупрозрачных элементов браузер вынужден повторно вычислять и композитить пиксели фонового слоя, что повышает нагрузку на графический процессор. В результате при недостаточной оптимизации возможно снижение стабильности кадровой частоты (FPS) и увеличение времени отклика интерфейса [4].

Степень данного эффекта зависит от архитектуры GPU, разрешения экрана и количества одновременно активных эффектов размытия. Для реализации более сложной модели «жидкого стекла» часто применяются графические API WebGL или WebGPU, позволяющие выполнять вычисления на стороне видеокарты с использованием шейдерных программ. В современных веб-приложениях для этого используются языки шейдеров (например, WGSL в WebGPU или GLSL в WebGL), а также экосистемы более высокого уровня, такие как *Three.js* [2].

Алгоритм рендеринга прозрачного материала, имитирующего рефракцию, как правило, включает многопроходную обработку: предварительный рендеринг сцены в текстуру (*render target*), последующее искажение UV-координат на основе карты нормалей объекта (*transmission pass*) и применение дополнительных оптических эффектов, таких как эффект Френеля или цветовая дисперсия. Подобная архитектура требует явного управления буферами и порядком проходов, что усложняет пайплайн по сравнению с декларативными CSS-решениями. В этой связи целесообразно использовать схему конвейера рендеринга (Рисунок), иллюстрирующую последовательность этапов обработки — от исходной текстуры фона и карты нормалей до формирования финального пикселя через шейдер рефракции.



Рисунок. Архитектура шейдерного конвейера для реализации эффекта Liquid Glass в веб-среде

Внедрение визуальных моделей типа Liquid Glass оказывает заметное влияние на когнитивные механизмы взаимодействия пользователя с цифровым контентом. С одной стороны, подобные интерфейсы реализуют концепцию так называемой «визуальной тактильности» (visual tactility), при которой визуальные свойства элемента имитируют поведение физического объекта. Динамические блики, вариативная прозрачность и мягкая реакция на действия пользователя создают ощущение физического объекта и делают интерфейс более «осязаемым». Эмпирические исследования читаемости и восприятия визуальных слоев показывают, что корректно реализованная микроинтерактивность может положительно влиять на субъективную оценку качества интерфейса и воспринимаемую удобочитаемость [3].

С другой стороны, прозрачность и многослойность несут потенциальные риски для юзабилити. Прежде всего, возникает вероятность ослабления принципа фигура–фон, поскольку частично видимый задний план продолжает конкурировать за внимание пользователя. При наложении полупрозрачного элемента на сложный или контрастный фон возрастает когнитивная нагрузка, связанная с необходимостью фильтрации визуального шума. Исследования прозрачных многослойных интерфейсов указывают на то, что неконтролируемое наложение слоев может осложнять распределение внимания и снижать эффективность восприятия информации [4].

Кроме того, чрезмерное использование «плавающих» стеклянных панелей, не привязанных к устойчивым границам экрана, может ослаблять гештальт-принцип общей области (Common Region) и приводить к размыванию визуальной иерархии. Наиболее дискуссионным аспектом применения Liquid Glass является соответствие требованиям веб-доступности. Согласно стандарту WCAG 2.2, текст и интерактивные элементы должны обеспечивать минимальный коэффициент контрастности (например, 4.5:1 для обычного текста) относительно фона [5].

В условиях прозрачного или динамически изменяющегося заднего плана обеспечение стабильного уровня воспринимаемой контрастности становится более сложной задачей. Статическая оценка контраста может оказаться недостаточной, поскольку визуальные характеристики фона изменяются в зависимости от содержимого страницы и положения элемента. В этой связи в профессиональном сообществе обсуждается применение перцептивных моделей оценки контраста, таких как APCA (Advanced Perceptual Contrast

Algorithm), которые стремятся учитывать особенности зрительного восприятия, включая полярность текста (светлый на темном и наоборот) и нелинейные характеристики чувствительности глаза. Хотя АРСА не входит в действующую версию WCAG 2.2 как обязательный стандарт, его принципы рассматриваются как перспективное направление развития методик оценки читаемости [6].

Для обеспечения устойчивой читаемости в условиях прозрачных интерфейсов целесообразно применять адаптивные методы рендеринга. В частности, возможна динамическая адаптация яркости, основанная на анализе локального фрагмента фонового изображения, а также модификация параметров размытия или цветовой насыщенности подложки с целью усиления разделения планов. Такие механизмы снижают вариативность воспринимаемой контрастности без отказа от визуальной концепции прозрачности.

В результате Liquid Glass может рассматриваться как инструмент эмоционального и выразительного дизайна, способный усиливать эффект присутствия и материальности интерфейса. Вместе с тем его применение требует системного инженерного подхода, включающего контроль производительности, управление визуальной иерархией и соблюдение требований доступности. Оптимальной представляется гибридная модель, при которой физически мотивированные графические эффекты реализуются средствами WebGL/WebGPU, а структура и семантика интерфейса сохраняются в рамках стандартного DOM и CSS. Баланс между эстетикой «новой материальности» и инклюзивностью цифрового продукта становится ключевым условием устойчивого внедрения данного визуального подхода.

Список литературы:

1. Apple Inc. Human Interface Guidelines: Designing for visionOS // Apple Developer Documentation. 2025.
2. W3C. WebGPU Shading Language (WGSL). W3C Candidate Recommendation Draft. 2026. <https://www.w3.org/TR/WGSL/>
3. Sawyer B. D., Wolfe B., Dobres J., Chahine N., Mehler B., Reimer B. Glimpseable, legible typography over complex backgrounds // *Ergonomics*. 2020. V. 63. №7. P. 864-883. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1758348>
4. Harrison B. L., Ishii H., Vicente K. J., Buxton W. A. Transparent layered user interfaces: An evaluation of a display design to enhance focused and divided attention // *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. 1995. P. 317-324.
5. W3C. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. W3C Recommendation, 2023. <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>
6. Myndex Research. APCA-W3: Advanced Perceptual Contrast Algorithm. GitHub Repository. <https://github.com/Myndex/apca-w3>

References:

1. Apple Inc. (2025). Human Interface Guidelines: Designing for visionOS. *Apple Developer Documentation*.
2. W3C. (2026). WebGPU Shading Language (WGSL). *W3C Candidate Recommendation Draft*. <https://www.w3.org/TR/WGSL/>
3. Sawyer, B. D., Wolfe, B., Dobres, J., Chahine, N., Mehler, B., & Reimer, B. (2020). Glimpseable, legible typography over complex backgrounds. *Ergonomics*, 63(7), 864-883. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1758348>

4. Harrison, B. L., Ishii, H., Vicente, K. J., & Buxton, W. A. (1995, May). Transparent layered user interfaces: An evaluation of a display design to enhance focused and divided attention. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 317-324).

5. W3C. (2023). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. *W3C Recommendation*, <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>

6. Myndex Research. APCA-W3: Advanced Perceptual Contrast Algorithm. GitHub Repository. <https://github.com/Myndex/apca-w3>

Поступила в редакцию
16.02.2026 г.

Принята к публикации
25.02.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Ларюшкин А. А., Зеленова Ю. И. Эффект «Жидкого стекла» в современных веб-интерфейсах: влияние визуального тренда на пользовательский опыт // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №4. С. 96-102. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/13>

Cite as (APA):

Laryshkin, A., & Zelenova, Ju. (2026). Liquid Glass Effect in Modern Web Interfaces: The Impact of Visual Trend on User Experience. *Bulletin of Science and Practice*, 12(4), 96-102. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/13>