

# СОВРЕМЕННЫЕ ШЛЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ: ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ ДИСКОМФОРТА И СПОСОБЫ ИХ ИСПРАВЛЕНИЯ

В ПРОШЛОМ НОМЕРЕ ЖУРНАЛА БЫЛ ПРЕДСТАВЛЕН ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ: ОТ ПРОСТЫХ СТЕРЕОСКОПОВ ДО ПОЛНОЦЕННЫХ ИГРОВЫХ АРКАДНЫХ СИСТЕМ, ЗАВЕРШАВШИЙСЯ ОПИСАНИЕМ ПЕРИОДА РАЗОЧАРОВАНИЯ В VR И КОНСТАТАЦИЕЙ СОКРАЩЕНИЯ РАЗРАБОТОК ПО ЭТОЙ ТЕМАТИКЕ. ОДНАКО, РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СНОВА СДЕЛАЛО ВИРТУАЛЬНУЮ РЕАЛЬНОСТЬ АКТУАЛЬНОЙ ТЕМОЙ. БОЛЕЕ ТОГО, НЫНЕШНИЙ ГОД БЫЛ НАЗВАН НЕКОТОРЫМИ СМИ «ГОДОМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ». НАПРИМЕР, ЕСЛИ ВВЕСТИ В ПОИСКОВЫХ СИСТЕМАХ ЗАПРОС О ПОКУПКЕ VR ШЛЕМА, ТО БУДЕТ ПРЕДЛОЖЕН ШИРОЧАЙШИЙ АССОРТИМЕНТ УСТРОЙСТВ СТОИМОСТЬЮ ОТ ПЯТИСОТ ДО НЕСКОЛЬКИХ СОТЕН ТЫСЯЧ РУБЛЕЙ. НО В ЧЕМ ЖЕ МЕЖДУ НИМИ РАЗНИЦА? КАК РАЗВИВАЕТСЯ ЭТА ТЕХНОЛОГИЯ? О КАКИХ ДАЛЕКИХ ГОРИЗОНТАХ СЕГОДНЯ МЕЧТАЮТ ИНЖЕНЕРЫ И КУДА УЖЕ ПРИВЕЛИ НАС ИХ МЕЧТЫ? | [Мария Грачева, Андрей Большаков](#) |

Многие из тех, кто впервые надевает современные шлемы виртуальной реальности, говорят, что удивлены качеством их работы. Современные устройства достигли уровня, когда воспринимаемый образ действительно может быть принят за реальность. Однако технологии, используемые в данных девайсах, по-прежнему имеют недостатки и многие из них значительно тормозят широкое использование решений в этой области.

На сегодняшний день любой VR-шлем, вне зависимости от цены и производителя, состоит из нескольких основных элементов:

- 1. дисплей;**
- 2. оптическая система,** позволяющая зрителю фокусировать плоскость дисплея (система линз и механизмов передвижения линз и дисплея относительно глаз пользователя);
- 3. датчики определения параметров движения и положения головы** пользователя (гироскопы и акселерометры);
- 4. корпус** – каркас, фиксирующий устройство на голове пользователя, поддерживающий все элементы;

**5. программное обеспечение** – служебные программы, обеспечивающие предъявление контента и сам контент, содержащий предъявляемую зрителю сцену;

**6. система внешнего отслеживания** положения устройства, позволяющая уточнить положение пользователя в пространстве (опционально).

Одним из факторов, существенно влияющих на стоимость шлемов виртуальной реальности, является дисплей, не только из-за собственной стоимости, но и из-за вклада вычислительных и программных компонентов, необходимых для его обслуживания. По типу задействованного дисплея сегодня можно выделить две группы устройств: шлемы, имеющие собственные встроенные дисплеи (Oculus Rift, HTC Vive, Sony Playstation VR и др.) и шлемы, использующие в качестве средства предъявления дисплей мобильного телефона, закрепляемого в корпусе (Google Cardboard и его обновленная версия Google Daydream, Samsung Gear VR, Fibrum и др.). Как правило, устройства, рассчитанные на использование смартфона (зачастую не только дисплея, но и датчиков положения) стоят

дешевле устройств первой группы – но нужно понимать, что к этой стоимости еще добавится стоимость самого смартфона, иногда конкретной марки и модели. Например, для Samsung Gear VR вам потребуется смартфон Samsung (конкретно Note 6, S6 или S7).

Все существующие схемы шлемов предполагают, что дисплей расположен достаточно близко от глаз, менее 15 сантиметров от лица: такое расположение позволяет небольшому в диагонали экрану занимать большую часть поля зрения, не сильно утяжеляя конструкцию массивными дисплеями (ведь пользователь должен иметь возможность свободно двигать головой). В нормальной жизни так близко мы смотрим редко и недолго, и зрительная система не приспособлена к фокусировке на столь малых расстояниях – на помощь здесь приходят фокусирующие линзы. Тут и начинаются сложности: современные дисплеи хоть и обладают сравнительно мелкими пикселями, однако при таком увеличении и приближении они становятся различимы, и порой это выглядит как наложенная поверх виртуальной реальности мелкая сетка. Данный эффект снижается, если экран расположен дальше от линз (и сами линзы в данном случае имеют меньшую оптическую силу), однако в таком случае для покрытия поля зрения требуется большая площадь экрана, что ведет к увеличению веса и трудностям рендеринга изображения. К примеру, конструкция Samsung Gear VR предполагает расположение телефона примерно в два раза ближе к глазам пользователя, чем Google Cardboard, и, соответственно, первая требует более сильных линз, из-за чего проявляются недостатки, связанные с их использованием: заметность пикселей и абберрации. При этом поле зрения Gear VR – 96°, а поле зрения Google Cardboard – 90° (Oculus Rift – 100–110°, HTC Vive – 110°). Без шлема и каких-либо ограничений поле обзора человека (при подвижных глазах, разумеется) – порядка 270°.



Рис. 1. Современный шлем, использующий дисплей смартфона

Как уже было упомянуто, помимо появления зернистости изображения, фокусирующая система, как правило, в большей или меньшей степени добавляет в изображение абберрации: дисторсию и хроматическую абберацию. На сегодняшний день существуют различные алгоритмы, позволяющие частично компенсировать это программными методами (контент изначально подается с обратными «абберациями»). Но такое двухступенчатое искажение не всегда работает идеально и, к тому же, снижает качество итогового изображения. Из-за этого работы по поиску наилучшего алгоритма компенсации искажений ведутся довольно активно. Вполне вероятно, что повышение качества в этом направлении имеет предел, который, к слову, пока не достигнут. Помимо этого, еще одним недостатком использования сильных линз можно назвать вклад в вес устройства: толстые линзы могут быть довольно тяжелыми.

Важно также иметь в виду расположение линз: межлинзовое расстояние и положение относительно дисплея и глаз. Межлинзовое расстояние в идеале должно соответствовать межзрачковому расстоянию пользователя, так как при их несопадении зритель смотрит через периферическую часть линзы, что вносит непредсказуемый призматический компонент – это может приводить к дополнительной зрительной нагрузке. Ряд устройств имеют возможность регулировки межлинзового расстояния, но встречается это довольно



редко. Возможно, это связано с трудностью генерации линзо-зависимого контента (например, компенсации аберраций: если вы не знаете точно, где относительно дисплея будет расположен центр линзы, вы не можете и компенсировать периферические аберрации), а также с тем, что пользователь не всегда может корректно отрегулировать межлинзовое расстояние, поэтому данная опция не принесит никаких положительных изменений.

Сегодня многие производители встраивают возможность перемещения линз относительно глаз: таким образом, меняется фокусное расстояние и можно в определенном диапазоне компенсировать собственные аметропии пользователя (недостатки оптической системы глаза, такие как близорукость и дальнозоркость). В некоторых устройствах существует возможность настраивать фокусное расстояние отдельно для каждого глаза, что кажется еще более удобным.

Некоторые оптические нарушения зрения (например, астигматизм) трудно компенсировать простыми линзами. В принципе производители шлемов не исключают возможность использования

**Рис. 2.** Современный шлем, имеющий встроенный дисплей и дополнительную систему отслеживания положения устройства

шлема поверх прописанных врачом очков, но, как показывает практика, часто это само по себе некомфортно из-за плотного прилегания корпуса устройства, и к тому же вызывает более быстрое запотевание линз во многих устройствах. В целом этот недостаток должен устраняться правильным проектированием корпуса (системой вентиляции), но пока что на рынке много устройств, которые либо плохо изолированы от проникновения света из внешней среды, либо плохо вентилируются и плохо садятся с корректирующими очками пользователя. Также дополнительный дискомфорт от самого корпуса устройства часто возникает в связи с его весом.

Важнейшей частью виртуальной реальности является ее контент и вспомогательное программное обеспечение, используемое для предъявления. Сегодня существуют специальные среды разработки контента, дающие разработчикам довольно богатые возможности. Однако физиологические особенности восприятия в условиях VR вносят некоторые ограничения, которые следует соблюдать при разработке виртуальной среды. Например, это касается высоты виртуального персо-

нажа (она не должна быть сильно меньше роста в реальности из-за ряда факторов) и расстояний до основных объектов, с которыми происходит взаимодействие (так как это вносит излишнюю диспаратность между изображениями для правого и левого глаза и создает классический для любого 3D-устройства конфликт аккомодации и конвергенции, о котором еще будет сказано дальше). Дополнительно, если пользователь работает в системе, позволяющей ему передвигаться в пространстве и отселяющейся его передвижения, нужно обязательно соблюдать соотношения величины реального пространства и виртуального мира. Некоторые разработчики за счет масштабирования пытаются уместить в маленькую реальную комнату огромное виртуальное помещение, что, конечно возможно, и тогда пользователь, сделав один шаг, преодолевает гораздо большее расстояние в виртуальном мире. Это очень заманчивая схема, но не для пользователей: от такого несоответствия восприятия собственного движения и видимого виртуально окружения у большинства начинает кружиться голова и появляется тошнота, как при укачивании в транспорте.

В принципе система внешнего трекинга устройства – то есть, система, отслеживающая перемещения человека и согласованно генерирующая контент – кажется инструментом, существенно расширяющим возможности виртуальной реальности. Но приходится опасаться ее подводных камней: некорректный трекинг (неправильное отслеживание движения пользователя) или задержки при передаче информации от трекера в устройство и при генерации контента могут вносить существенный вклад в дискомфорт пользователя: наши рецепторы очень быстро передают сигнал о том, куда и как мы шагнули, и если этот сигнал не совпадает с видимой сценой, то организм начинает чувствовать неладное. Тем не менее, сегодня некоторые производители предлагают свои системы трекинга (Oculus Rift, HTC Vive).

Большинство ошибок, связанных с неправильным созданием контента, сегодня уже описаны и в свободном доступе представлены в руководстве для разработчиков от Oculus Rift.

Одной из существенных проблем шлемов виртуальной реальности, решенной к настоящему времени, является задержка смены изображения при изменении положения головы: при каждом повороте окружающий мир предстает с другой точки зрения, и виртуальная реальность должна меняться довольно быстро. Эти изменения произошли благодаря совершенствованию «железа» и прогрессу в области разработки программного обеспечения. Полное устранение задержки в виртуальной реальности невозможно, так как датчики должны сначала детектировать изменение положения головы, затем устройство должно сгенерировать и вывести на экран новое изображение. Плюс существуют нормы задержек (20 мс) при которых пользователь уже не чувствует их наличия. Современные устройства отслеживания положения (гироскопы и акселерометры) работают и сами по себе очень хорошо (так как они параллельно активно развивались и сейчас являются неотъемлемой частью каждого смартфона). Также существенно снизить задержку позволяют различные алгоритмы, учитывающие физические особенности движения головы (инерцию, например) и производящие так называемый предсказательный трекинг (predictive tracking), позволяющий оценивать, куда поворачивается голова пользователя и генерировать изображение для будущего положения головы заранее.

Своеобразное «укачивание» от виртуальной реальности по-прежнему остается проблемой (в специализированной литературе для этого эффекта есть специальные термины *vection* и *simulator sickness*). Как и с обычным укачиванием, механизм и причины этого явления ясны не до конца, однако основная гипотеза заключается в том, что при рассогласовании некоторых органов чувств (например, рецепторов

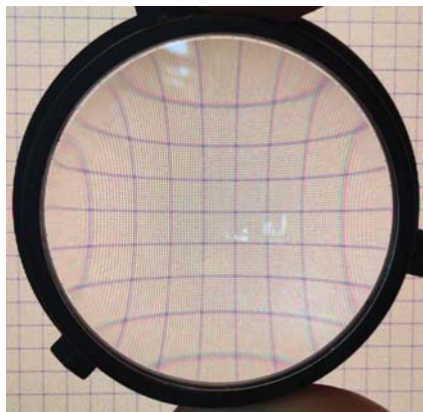


Рис. 3.  
Аберрации  
линзы:  
хроматическая  
и дисторсия

тела, регистрирующих движения, и зрительной системы) организм реагирует на рассогласованность как на симптом отравления и пытается ответить выведением отравляющего вещества. Соответственно, уменьшение рассогласованности сигналов (например, уменьшение задержки при повороте головы, корректный внешний трекинг устройства) снижают вероятность возникновения неприятных ощущений.

Недавно компания Samsung с продуктом Entrim 4D анонсировала новую технологию для устранения укачивания при использовании шлемов виртуальной реальности: устройства, воздействующие электрическими импульсами, «обманывают» внутреннее ухо (посредством гальванической вестибулярной стимуляции), что позволяет имитировать ощущение движения пользователя.

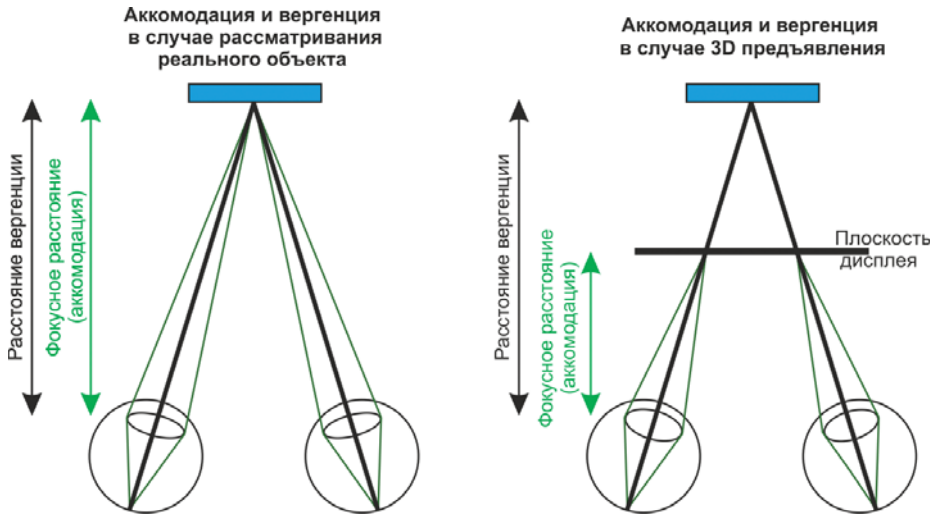
Другая серьезная проблема, связанная с возникновением у пользователей зрительного дискомфорта – общая проблема всей области 3D-технологий – конфликт аккомодации и вергенции. Суть проблемы заключается в том, что при рассмотривании изображения на неподвижном экране зрительная система должна фокусироваться на экранной плоскости (аккомодация), при этом оси глаз перемещаются с объекта на объект, и если виртуальные предметы расположены на разной глубине, то оси должны двигаться в противоположных направлениях (вергенция).

В обычной жизни эти две системы, как правило, работают очень согласованно, но при использовании 3D предъявления они работают немного по-разному, и это зачастую вызывает зрительный дискомфорт и напряжение.

Разработки в области дисплеев, создающих адекватные аккомодационные стимулы, сегодня ведутся довольно активно. Некоторые производители предлагают использовать системы линз, переключающиеся с высокой частотой синхронно с изображениями на экране. Таким образом, линзы создают несколько плоскостей аккомодации, а синхронизированное изображение генерируется с соответствующими областями расфокусировки, согласно расположению объектов в трехмерной сцене. Другие разработчики предлагают использовать вибрирующие зеркальные мембраны, работающие в некоторой степени аналогично с системами линз: меняя необходимое расстояние для фокусировки изображения и синхронно изменяя подаваемый контент. Также существуют системы позволяющие предъявлять изображения на нескольких слоях дисплеев. Все эти технологии пока нашли лишь узкое применение (часть и вовсе остаются лишь экспериментальными образцами), при этом все они создают только несколько фокусных плоскостей, а не протяженную аккомодационную область.

В настоящее время довольно активно разрабатывается технология дисплеев светового поля, и, судя по заявлениям разработчиков, она имеет большие перспективы, как в области виртуальной реальности, так и для применения к обычным экранам. Однако пока трудно оценить, насколько эта технология перспективна из-за отсутствия широкого доступа к прототипам. Утверждается, что она позволяет создавать полноценное световое поле и изображение, подобное голографическому, но без использования лазеров и другого сложного оборудования.

В последнее время набирает обороты еще одна близкая по философии технология – дополненной и смешанной реаль-



ности. Она предполагает модификацию изображений внешнего мира вместо его полной генерации в VR. Очень вероятно, что первые массовые приложения будут созданы именно на ее основе. Обзор возможностей и особенностей этой технологии не входит в данную статью и может быть найден в одном из следующих выпусков журнала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Список проблем по-прежнему широк, однако прогресс в их устранении является бесспорным. Многие существующие недостатки систем VR могут быть устранены в обозримом будущем, если в их разработку и дальше будут вкладываться деньги. При этом желание финансировать технологию, конечно же, зависит от интереса потребителей.

Можно заключить, что если работа продолжится с той же скоростью, то впереди нас ждет дивный новый мир затягивающих виртуальных развлечений, однако, как и любая область развлекательной индустрии, виртуальная реальность может потерять доверие и спрос из-за собственных недостатков.

Подобно другим не жизненно необходимым технологиям, имеющим узкую область

Рис. 4. Принцип возникновения конфликта аккомодации и конвергенции: в случае 3D предъявления аккомодация и вергенция работают на разные расстояния

применения, VR нуждается в корректном позиционировании и применении. Рынок все еще находится в состоянии ожидания приложения, по-настоящему интересующего пользователей: по некоторым сведениям, среднее время общего использования программ виртуальной реальности сейчас не превышает нескольких минут.

На сегодняшний день технология находится, как это называют, в теории систем, в точке бифуркации: в том самом неустойчивом состоянии, переломном моменте, когда трудно предсказать ее дальнейшее будущее.

Быть или не быть виртуальной реальности одной из ведущих технологий развлекательной индустрии – это мы узнаем, видимо, довольно скоро, учитывая современный темп развития рынков. Абсолютно точно можно сказать лишь, что даже если VR уйдет с пьедестала сейчас, ей все равно предстоит еще не раз триумфально вернуться, как это происходило и прежде. Ну, а пока мы живем в щедрый и плодородный сезон дождей, когда все крупные игроки рынка не скупятся на исследования в этой области, и, надо думать, шлемы виртуальной реальности ждет еще много чудесных преобразований в ближайшее время.