

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R ВТ.2021-1
(02/2015)

**Методы субъективной оценки систем
стереоскопического 3D телевидения**

Серия ВТ
Радиовещательная служба
(телевизионная)



Международный
союз
электросвязи

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2016 г.

© ITU 2016

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R ВТ.2021-1

Методы субъективной оценки систем стереоскопического 3D телевидения

(2012-2015)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены методики оценки систем стереоскопического 3D телевидения, включая общие методы испытаний, шкалы оценок и условия просмотра.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что накоплен большой объем информации об используемых в различных лабораториях методах оценки важнейших характеристик показателей работы систем 3D телевидения;
- b) что изучение этих методов показывает, что между различными лабораториями наблюдается достаточно близкое совпадение по ряду аспектов таких испытаний;
- c) что для обмена информацией между различными лабораториями важно принять стандартизированные методы;
- d) что для внедрения услуг 3D телевидения может потребоваться разработка новых форматов изображений, методов обработки и передачи изображений, показатели работы которых потребуется оценивать посредством субъективных методик,

рекомендует,

1 чтобы для лабораторных экспериментов и, когда это возможно, для эксплуатационных оценок использовались общие методы испытаний, шкалы оценок и условия просмотра для оценки качества стереоскопического 3D телевизионного изображения, описанные в нижеследующем Приложении 1.

Приложение 1**1 Показатели (воспринимаемые) оценки**

Стереоскопическое 3D телевидение использует характеристики бинокулярной зрительной системы человека, воссоздавая условия, приводящие к восприятию относительной глубины объектов визуальной обстановки. В настоящее время основное требование к созданию стереоскопических изображений – наличие по меньшей мере двух видов одного места с двух находящихся на одной горизонтальной линии камер. Изображения присутствующих объектов будут иметь разные относительные положения на левостороннем и правостороннем изображениях. Это различие относительных положений в двух изображениях обычно называется расхождением изображений (или параллаксом) и, как правило, выражается в пикселях, физических величинах (например, мм) или относительных величинах (например, процентах ширины экрана). Расхождение изображений следует отличать от углового (относящегося к сетчатке глаза) расхождения. Фактически одна и та же информация о расхождении изображений даст различные угловые (относящиеся к сетчатке глаза) расхождения при различных расстояниях просмотра. Масштаб и направление восприятия глубины основывается на масштабе и направлении относящихся к сетчатке расхождений, вызываемых стереоскопическим изображением.

Факторы оценки, обычно применяемые к моноскопическим телевизионным изображениям, такие как разрешение, передача цвета, отображение движения, общее качество, резкость и т. д., можно применять и к стереоскопическим телевизионным системам. Наряду с этим многие факторы будут относиться только к стереоскопическим телевизионным системам. Это могут быть такие факторы, как разрешение по глубине, которое представляет собой пространственное разрешение в направлении глубины, движение по глубине, то есть равномерно ли передается движение в направлении глубины, и пространственные искажения. Два хорошо известных примера последних: *эффект кукольного театра*, когда объекты воспринимаются как неестественно большие или маленькие, и *эффект картона*, когда объекты воспринимаются стереоскопически, но выглядят неестественно тонкими.

Можно определить три основных воспринимаемых измерения, которые в совокупности влияют на оценку пользователем качества услуги, предоставляемой стереоскопической системой: *качество изображения*, *качество глубины* и *зрительный комфорт*. Некоторые исследователи утверждают, что психологическое воздействие технологий стереоскопической передачи изображений также можно измерить относительно более общих понятий, таких как *естественность* и *ощущение присутствия*.

Первичные воспринимаемые показатели

Под *качеством изображения* понимается воспринимаемое качество изображения, предоставляемого системой. Это один из основных определяющих показателей качества видеосистемы. На качество изображения в основном влияют технические параметры и ошибки, привносимые, например, процессами кодирования и/или передачи.

Под *качеством глубины* понимается способность системы передавать усовершенствованное ощущение глубины. Наличие монокулярных ориентиров, таких как линейная перспектива, размытие изображения, градиенты и т. д., создает определенное ощущение глубины даже в стандартных 2D изображениях. Вместе с тем стереоскопические 3D изображения также содержат информацию о расхождении изображений, которая дает дополнительную информацию по глубине и тем самым обостренное ощущение глубины по сравнению с 2D.

Под *зрительным (дис)комфортом* понимается субъективное ощущение (дис)комфорта, которое может быть связано с просмотром стереоскопических изображений. Недолжным образом заснятые или недолжным образом показываемые стереоскопические изображения могут быть серьезным источником дискомфорта.

Дополнительные воспринимаемые показатели

Под *естественностью* понимается восприятие стереоскопического изображения как верного отображения действительности (т. е. реализм восприятия). В стереоскопическом изображении могут присутствовать различные типы искажений, делающие его менее естественным. Так, стереоскопические объекты иногда воспринимаются как неестественно большие или маленькие (эффект кукольного театра), или же они кажутся неестественно тонкими (эффект картона).

Под *ощущением присутствия* понимается субъективное ощущение присутствия в одном месте или одной обстановке при фактическом нахождении в другом месте или другой обстановке.

В настоящей Рекомендации представлена информация относительно методов и процедур оценки трех первичных показателей: качества изображения, качества глубины и зрительного комфорта, кратко описанных выше. Методики оценки естественности и ощущения присутствия не включены в настоящую Рекомендацию, но их планируется включить позже.

2 Методики субъективной оценки

В Рекомендации МСЭ-Р ВТ.500 описываются различные методики оценки качества изображения. Во всех методах набор последовательностей видеок кадров, обработанный исследуемыми системами (например, алгоритм с различными параметрами; технология кодирования с различными скоростями передачи; различные сценарии передачи и т. д.), показывается группе зрителей в ходе ряда оценочных испытаний. В ходе каждого испытания зрителям предлагается оценить соответствующую характеристику (например, качество изображения) последовательности(ей) видеок кадров

по предписываемой шкале. Различные методы отличаются друг от друга в основном в отношении режима представления, т. е. способа, которым видеокadr(ы) представляются зрителям, и шкалы, используемой зрителями для ранжирования этих последовательностей кадров.

Испытательные изображения представляют собой бинокулярные стереоизображения, отобранные на основе критериев, перечисленных в разделе 4. Оценивающие дают оценку следующим трем показателям:

- качество изображения: воздействие на разрешение стереоскопических 3D изображений системы, в которой имеется путь между испытательными изображениями и монитором, используемым для показа изображений, которые предстоит оценить;
- качество глубины: воздействие на восприятие глубины стереоскопических 3D изображений системы, в которой имеется путь между испытательными изображениями и монитором, используемым для показа изображений, которые предстоит оценить;
- зрительный комфорт: воздействие на удобство просмотра стереоскопических 3D изображений системы, в которой имеется путь между испытательными изображениями и монитором, используемым для показа изображений, которые предстоит оценить.

В настоящую Рекомендацию включено шесть методов из Рекомендации МСЭ-R ВТ.500; эти методы успешно применяются на протяжении последних двадцати лет для решения исследовательских вопросов, связанных с качеством изображения, качеством глубины и зрительным комфортом технологий передачи стереоскопических изображений. Это следующие методы:

- метод с одним источником воздействия (SS);
- метод с двумя источниками воздействия и с использованием шкалы искажений (DSIS);
- метод с двумя источниками воздействия и с использованием непрерывной шкалы качества (DSCQS);
- метод сравнения воздействий (SC);
- метод непрерывной оценки качества при одном источнике воздействия (SSQE);
- метод непрерывной оценки с двумя источниками одновременного воздействия (SDSCE).

Когда это было целесообразно, методы использовались в слегка видоизмененной форме, например различные шкалы для зрительного комфорта. Режим представления и шкалы, связанные с методом оценки качества изображения, качества глубины и зрительного комфорта, представлены, соответственно, в таблицах 1, 2 и 3.

В настоящем разделе далее дается краткое описание каждой из методик. В последующих разделах представлены методические элементы, общие для всех методов.

2.1 Метод с одним источником воздействия (SS)

Процедура состоит из ряда оценочных испытаний, которые можно, когда это целесообразно, разбить на несколько испытательных сеансов, разделяемых перерывами. При каждом испытании представляется и независимым образом ранжируется по предписанной шкале только одна "испытываемая" последовательность видеокadrов.

2.1.1 Структура испытаний метода SS

В ходе каждого испытания представление "испытываемой" последовательности видеокadrов, подлежащей оценке, предворяется и завершается представлением среднесерого поля. Предшествующее среднесерое поле может содержать точку фиксации, например номер испытания, при нулевом расхождении, и должно длиться ≤ 3 с. Последующее среднесерое поле может содержать напоминание о проведении оценки, например фразу "время голосовать", и должно показываться достаточное время, для того чтобы зрители могли провести оценку (например, ≤ 10 с).

Продолжительность "испытываемой" последовательности видеок кадров обычно должна составлять примерно 10 с¹. Структура типового испытания SS показана на рис. 1.

2.1.2 Шкалы оценок при методе SS

Для оценки качества изображения могут использоваться две градуированные шкалы: дискретная пятибалльная шкала и стандартная непрерывная шкала качества МСЭ (см. таблицу 1). Обозначения качества следующие: "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "плохо" и "неприемлемо".

Те же шкалы могут применяться для оценки качества глубины (см. таблицу 2). В этом случае зрителям предлагается оценить качество представления глубины, а не качество самого изображения.

Для оценки зрительного комфорта могут использоваться две градуированные шкалы: дискретная пятибалльная шкала и непрерывная шкала комфорта (см. таблицу 3). Обозначения комфорта следующие "очень удобно", "удобно", "слегка неудобно", "неудобно" и "крайне неудобно".

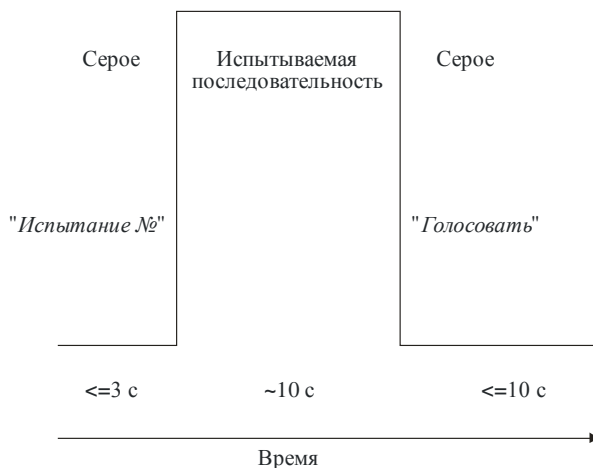
2.1.3 Данные субъективной оценки при методе SS

Ранжирование по каждой исследуемой последовательности называется "субъективной оценкой". Среднее значение таких оценок, получаемых в целом по каждой исследуемой системе, называется средней субъективной оценкой (MOS).

В набор последовательностей могут включаться "эталонные" последовательности видеок кадров, которые представляют собой версии испытательных последовательностей, не прошедшие какой-либо обработки (см. раздел 8). Включение "эталонных" последовательностей дает возможность вычислить "разность субъективных оценок", которая представляет собой арифметическую разность между оценками, данными "испытываемой" и "эталонной" версиям каждой исследуемой последовательности. Среднее значение разности субъективных оценок, полученных по каждой исследуемой системе, называется разностью средних субъективных оценок (DMOS).

РИСУНОК 1

Метод с одним источником воздействия – Структура испытания



ВТ.2021-01

¹ Ряд исследователей выступают за использование последовательностей большей продолжительности, в основном на основе предположения, что полностью оценить стереоскопический контент можно лишь за большее время, чем обычный моноскопический (2D) контент. На настоящий момент нет достаточных эмпирических данных в пользу или против такого утверждения.

2.2 Метод с двумя источниками воздействия и с использованием шкалы искажений (DSIS) ("метод ЕСР")

Метод с двумя источниками воздействия (ЕСР) – циклический, в нем оценщику сначала демонстрируется неискаженный эталон, а затем – то же самое изображение с искажениями. После этого его просят оценить второй образец относительно первого. Во время сеанса, который длится до получаса, оценщику демонстрируют наборы изображений или их последовательности в случайном порядке и со случайными искажениями, охватывая все возможные комбинации. Неискаженное изображение включается в изображения или последовательности, которые должны быть оценены. В конце серии испытаний вычисляют среднюю оценку для каждого условия испытаний и тестового изображения.

При этом методе используется шкала искажений, для которой обычно стабильность результатов выше при небольших искажениях, чем при значительных. Хотя этот метод иногда используется с искажениями, изменяющимися в ограниченном диапазоне, правильнее использовать его с полным диапазоном искажений. Общий набор оборудования для испытательной установки должен быть таким, как показано на рис. 2.

2.2.1 Представление материала для испытаний

Сеанс испытаний включает в себя ряд представлений. Существует два варианта структуры представления – I и II, описанные ниже.

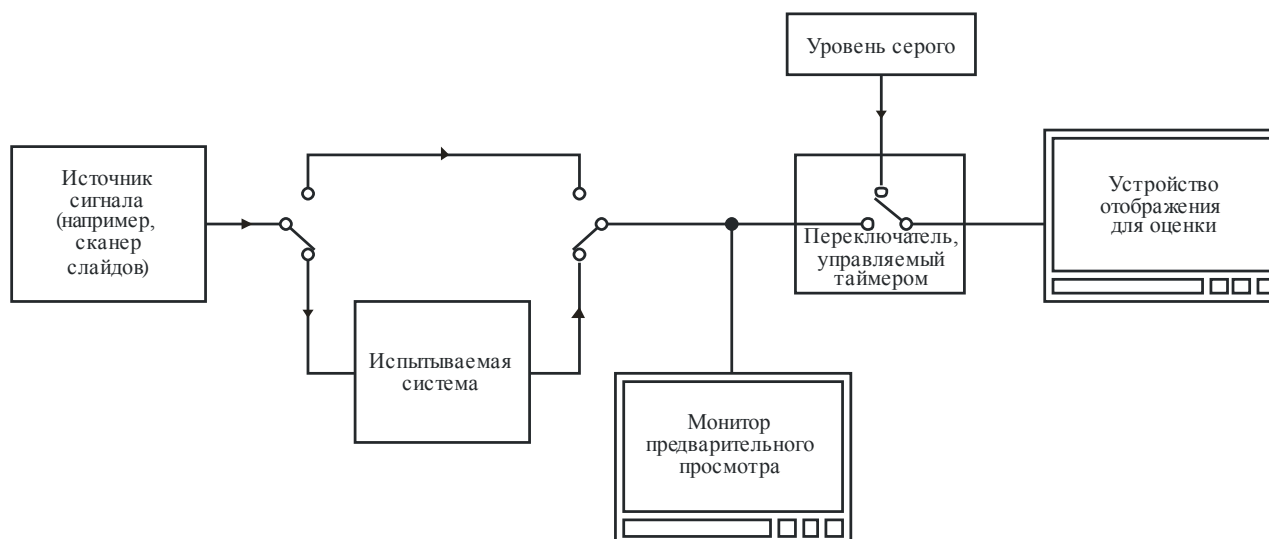
Вариант I: Эталонное изображение или последовательность и оцениваемое изображение или последовательность представляются только один раз, как это показано на рис. 3а).

Вариант II: Эталонное изображение или последовательность и оцениваемое изображение или последовательность представляются дважды, как это показано на рис. 3б).

Вариант II, который занимает больше времени, чем вариант I, может быть использован, если требуется различить очень небольшие искажения или испытывается последовательность движущихся изображений.

РИСУНОК 2

Общая компоновка испытательной системы для метода DSIS



2.2.2 Шкалы оценок

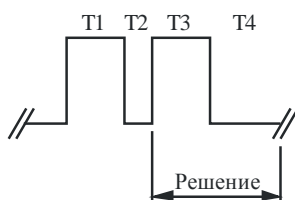
Следует использовать пятибалльную шкалу оценки искажений (см. таблицы 1, 2 и 3). Оценщики должны использовать бланк, содержащий подробную шкалу и пронумерованные графы или иные средства подобного рода для записи оценок.

2.2.3 Данные субъективной оценки при методе DSIS

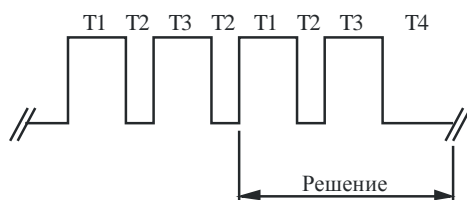
Метод с двумя источниками воздействия (ЕСР) – циклический, в нем оценщику сначала демонстрируется неискаженный эталон, а затем – то же самое изображение с искажениями. После этого его просят оценить второй образец относительно первого. Во время сеанса, который длится до получаса, оценщику демонстрируют наборы изображений или их последовательности в случайном порядке и со случайными искажениями, охватывая все возможные комбинации. Неискаженное изображение включается в изображения или последовательности, которые должны быть оценены. В конце серии испытаний вычисляют среднюю оценку для каждого условия испытаний и тестового изображения.

РИСУНОК 3

Структура представления материала для испытаний



а) Вариант I



б) Вариант II

Этапы представления:

T1 = 10 с	Эталонное изображение
T2 = 3 с	Средний серый, создаваемый видеосигналом с уровнем примерно 200 мВ
T3 = 10 с	Испытательный сигнал
T4 = 5–11 с	Средний серый

Опыт показывает, что увеличение периодов T1 и T3 свыше 10 с не повышает способности оценщиков давать правильную оценку изображениям или последовательностям.

ВТ.2021-03

2.3 Метод с двумя источниками воздействия и с использованием непрерывной шкалы качества (DSCQS)

Процедура состоит из ряда оценочных испытаний, которые можно, когда это целесообразно, разбить на несколько испытательных сеансов, разделяемых перерывами. При каждом испытании дважды

представляются две версии одной последовательности видеок кадров, всего четыре представления. Обобщенная схема системы испытания должна соответствовать приведенной на рис. 4.

2.3.1 Представление материала для испытаний

Сеанс испытаний состоит из ряда представлений. В случае варианта I, при котором участвует один наблюдатель, во время каждого представления оценщик может переключать сигналы А и В до тех пор, пока он мысленно не оценит качество каждого сигнала. Оценщик обычно может сделать это два-три раза за период 10 с. В случае варианта II, при котором одновременно участвуют несколько наблюдателей, перед регистрацией результатов пара изображений демонстрируется один или несколько раз в течение равных промежутков времени для того, чтобы оценщик мог мысленно оценить их качества, затем эта пара демонстрируется еще один или несколько раз, при этом результаты регистрируются. Число повторений зависит от длительности испытательных последовательностей. Для неподвижных изображений могут быть целесообразными последовательности длительностью 3-4 с и пять повторений (принятие решения в течение последних двух). Для подвижных изображений с изменяемыми во времени артефактами может быть целесообразной последовательность длительностью 10 с с двумя повторениями (принятие решения во время второго). Структура представлений показана на рис. 5.

2.3.2 Шкалы оценок при методе DSCQS

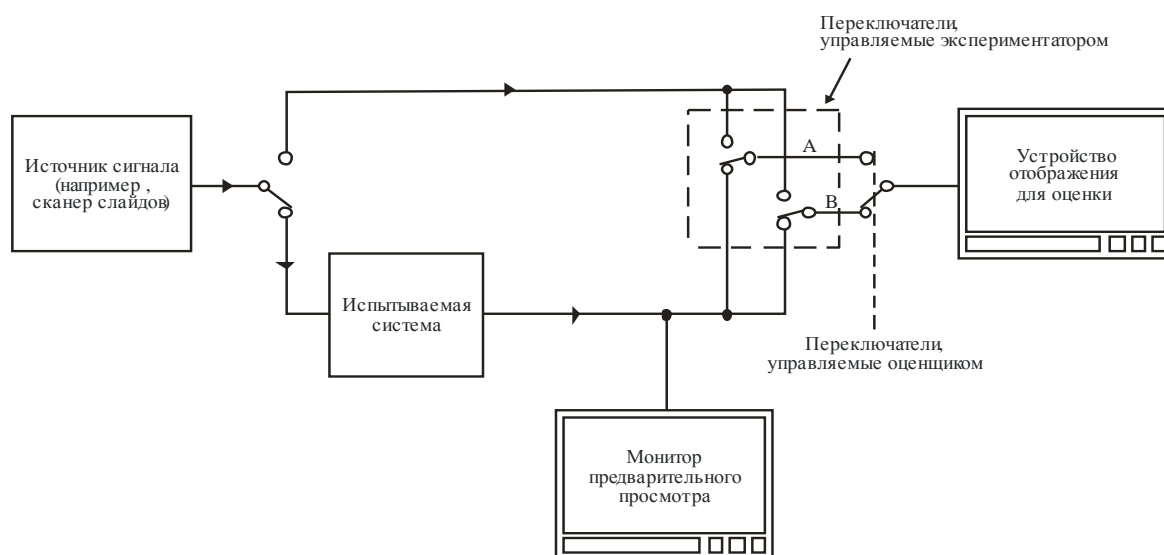
При методе DSCQS наблюдателям предлагается оценить последовательности изображений А и В. Для оценки качества изображения и качества глубины можно использовать стандартную непрерывную шкалу качества МСЭ (см. таблицы 1 и 2). Для оценки зрительного комфорта следует использовать непрерывную шкалу комфорта с обозначениями "очень комфортно", "комфортно", "средней комфортности", "некомфортно" и "чрезвычайно некомфортно" (см. таблицу 3).

2.3.3 Данные субъективной оценки при методе DSCQS

Для расчета субъективных оценок различий используются классификации "испытываемой" и "эталонной" версий каждой последовательности, полученной при каждом эксперименте. Затем эти субъективные оценки различий используются для расчета DMOS для каждой изучаемой системы.

РИСУНОК 4

Общая компоновка испытательной системы для метода DSCQS



ВТ.2021-04

Для этого метода существуют два варианта – I и II, которые описаны ниже.

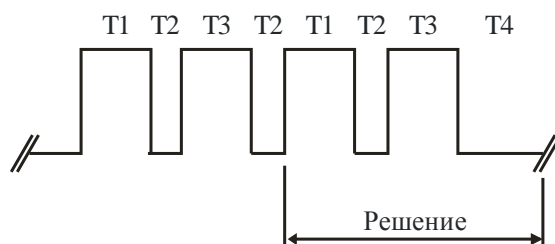
Вариант I: Оценщик, который обычно находится в одиночестве, может переключать два изображения А и В до тех пор, пока не убедится в том, что его мнение о каждом изображении устойчиво. По линиям А и В подают прямое эталонное изображение либо изображение через испытываемую систему, но то, какое изображение подается

по какой линии, изменяется случайным образом в зависимости от условий испытания и затем отмечается экспериментатором, но не объявляется.

Вариант II: Оценщикам показывают последовательно изображения, полученные с линий А и В, чтобы у них сложилось мнение по поводу каждого изображения. По линиям А и В изображения подаются для каждого представления, как и в описанном выше варианте I. Считается, что стабильность результатов при этом варианте с ограниченным диапазоном изменения качества все еще изучается.

РИСУНОК 5

Метод с двумя источниками воздействия и с использованием непрерывной шкалы – Экспериментальная структура



Этапы представления:

T1 = 10 с	Тестовая последовательность А
T2 = 3 с	Уровень среднесерый
T3 = 10 с	Тестовая последовательность В
T4 = 5–11 с	Уровень среднесерый

ВТ.2021-05

2.4 Метод сравнения пар (РС)

При методе РС набор "испытываемых" последовательностей, то есть последовательностей, которые были обработаны с помощью различных систем (например, с различными скоростями передачи, различными алгоритмами и т. д.), сравнивается попарно (т. е. одновременно две последовательности). Наблюдателей просят оценить, какой элемент из пары предпочтительнее в контексте данного сценария испытаний. Количество необходимых оценок является функцией от количества исследуемых систем. Испытываемые системы (X, Y, Z и т. д.), как правило, комбинируются во всех возможных $n(n-1)$ сочетаниях XY, ZY, YZ и т. д. Кроме того, следует показать все пары последовательностей в двух возможных порядках (например, XY, YX).

2.4.1 Экспериментальная структура метода РС

Эксперимент начинается с представления среднесерого поля, которое может содержать точку фиксации, например номер эксперимента, при нулевом расхождении и должен продолжаться ≤ 3 с. Представлены следующие последовательности для сравнения. Продолжительность каждой испытываемой последовательности, как правило, должна составлять 10 с. Последовательности могут быть представлены либо одновременно на двух дисплеях (или рядом на одном дисплее), либо последовательно (например, АВ) на одном дисплее. В последнем случае последовательности временно разделяются путем представления среднесерого поля продолжительностью 3 с. Эксперимент завершается среднесерым полем, которое может содержать напоминание дать оценку, например слова "выбрать сейчас", и которое должно иметь достаточную продолжительность, чтобы наблюдатель мог дать свою оценку (например, ≤ 10 с). Один из примеров типичного РС эксперимента показан на рис. 6.

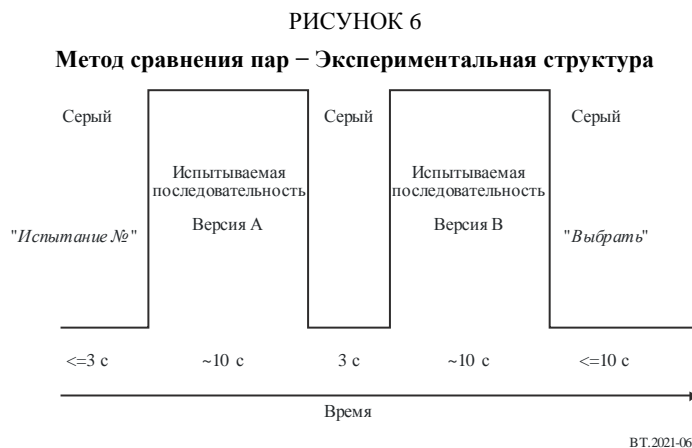
2.4.2 Шкалы оценок при методе РС

Наблюдателям могли бы предложить представить простую оценку предпочтений с использованием двоичной шкалы (например, предпочитается А) или же им могли бы предложить представить дифференцированную оценку предпочтений (например, А значительно лучше В). Такие же шкалы

можно использовать для оценки качества изображения, качества глубины и зрительного комфорта (см. таблицы 1, 2 и 3).

2.4.3 Данные субъективной оценки при методе РС

Оценки РС с точки зрения предпочтений.



2.5 Метод непрерывной оценки качества при одном источнике воздействия (SSCQE)

Даже во фрагментах кодированного цифровым способом стереоскопического видеоизображения уровни качества изображения, качества глубины и зрительного комфорта могут со временем колебаться в довольно значительных пределах; такие колебания могут зависеть от содержания сцены и продолжительности посторонних шумов (например, краткая или большая), влияющих на эти три базовые величины. Метод SSCQE был разработан для рассмотрения воздействия таких динамических характеристик. При методе SSCQE качество изображения, качество глубины и зрительный комфорт последовательностей стереоскопического видеоизображения оценивается постоянно (т.е. они изменяются со временем). Такая методика в целом считается более типичной для фактических домашних моделей просмотра.

2.5.1 Общая форма испытательного протокола

Участники должны присутствовать на сеансах испытаний следующего формата:

- *Фрагмент программы (PS)*: PS соответствует одному типу программы (например, спорт, новости, постановочная программа), обработанной в соответствии с одним из испытываемых параметров качества (QP) (например, скорость передачи); каждый PS должен длиться не менее 5 минут.
- *Сеанс испытаний (TS)*: TS – это серии одного или нескольких различных сочетаний PS/QP без разделения, имеющие псевдослучайный порядок. В каждом TS хотя бы один раз имеют место все PS и QP, но необязательно все сочетания PS/QP; каждый TS должен иметь продолжительность от 30 до 60 минут.
- *Демонстрация испытания (TP)*: TP – это испытание в полном объеме. TP может быть разделена на TS, чтобы были удовлетворены требования в отношении максимальной продолжительности и с целью оценки качества по всем парам PS/QP. Если количество пар PS/QP ограничено, то TP может быть осуществлена путем повторения того же TS для выполнения испытания в течение достаточного длительного периода времени.

Для оценки качества обслуживания может быть введен аудиосигнал. В этом случае перед проведением испытания выбор сопровождающего аудиоматериала следует считать таким же значимым, что и выбор видеоматериала.

В простейшем формате испытания будут использоваться один PS и один QP.

2.5.2 Шкалы оценок при методе SSCQE

Для оценки качества изображения и качества глубины следует использовать стандартные непрерывные шкалы качества МСЭ (см. таблицы 1 и 2). Для зрительного комфорта следует использовать непрерывную шкалу комфорта, приведенную в таблице 3. На рисунке 7 показан пример сеанса испытаний с использованием шкалы качества.

2.5.3 Данные субъективной оценки при методе SSCQE

Данные всех сеансов испытаний должны быть сопоставлены для расчета средней оценки качества в зависимости от времени $q(t)$. Результаты могут быть представлены в виде среднего значения всех оценок качества, выставленных наблюдателями по каждому фрагменту программы, видеоконтенту или сеансу испытаний.

РИСУНОК 7



ВТ.2021-07

2.6 Метод непрерывной оценки с двумя источниками одновременного воздействия (SDSCE)

С помощью метода SSCQE можно измерять качество стереоскопических видеоизображений на длинных последовательностях, которые являются репрезентативными по содержанию стереоскопических видеоизображений и статистическим данным ошибок. В целях воспроизведения условий просмотра, как можно более приближенных к реальным ситуациям, в методе SSCQE не используются эталонные изображения.

При необходимости оценить верность следует ввести эталонные условия. Метод SDSCE был разработан на основе метода SSCQE путем введения небольших отступлений, касающихся способа демонстрации изображений участникам и шкалы оценок. Метод был предложен группе MPEG для оценки устойчивости к ошибкам при очень низких скоростях передачи в битах, однако он может быть подходящим для применения во всех случаях, когда следует оценить верность зрительной информации, затронутой изменяемым во времени ухудшением.

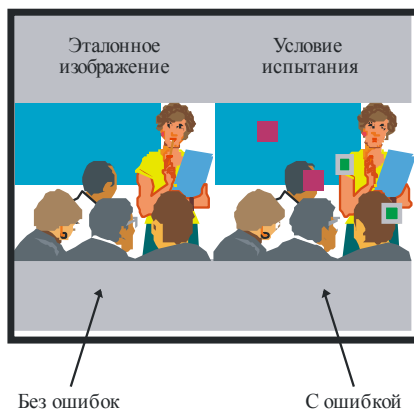
2.6.1 Представление материала для испытаний

Группа участников одновременно просматривает две последовательности: одну — эталонную, другую — относящуюся к одному из условий испытания. Если формат последовательностей является форматом стандартного изображения (SIF) или форматом меньшего размера, то обе

последовательности могут отображаться рядом на одном мониторе, в ином случае должны использоваться два рядом стоящих монитора (см. рис. 8).

РИСУНОК 8

Пример формата устройства отображения



ВТ.2021-08

2.6.2 Шкалы оценок при методе SDSCE

Участникам предлагается выявить различия между двумя последовательностями и оценить верность видеоинформации путем перемещения ползунка ручного устройства голосования. Если верность безупречная, то ползунок должен быть вверху шкалы оценок (кодировка 100), а если верность нулевая, то внизу шкалы (кодировка 0). Можно было бы использовать стандартные непрерывные шкалы качества МСЭ (см. таблицы 1, 2 и 3).

Участники проинформированы, на каком экране демонстрируется эталонное изображение, и им предлагается выразить свое мнение в процессе просмотра последовательностей на всем протяжении их демонстрации.

2.6.3 Данные субъективной оценки при методе SDSCE

Следующие определения применяются к описанию протокола испытаний:

- *Фрагмент видеоизображения (VS)*: VS соответствует одной последовательности видеоизображений.
- *Условие испытания (TC)*: TC может быть конкретный процесс, связанный с видеоизображением, условие передачи или они оба. Каждый VS должен обрабатываться в соответствии, по крайней мере, с одним TC. Кроме того, в список TC должны быть добавлены эталоны для образования оцениваемых пар эталон/эталон.
- *Сеанс (S)*: Сеанс – это последовательность различных пар VS/TC без разделения, построенная в псевдослучайном порядке. В каждом сеансе хотя бы один раз встречаются все VS и TC, но необязательно все сочетания VS/TC.
- *Демонстрация испытания (TP)*: Демонстрация испытания – это последовательность испытаний, охватывающих все сочетания VS/TC. То же число наблюдателей (но не обязательно те же наблюдатели) должно голосовать по всем сочетаниям VS/TC.
- *Период вынесения решений*: В ходе сеанса каждому наблюдателю предлагается непрерывно выносить решения.
- *Сегмент вынесения решений (SOV)*: Десятисекундный сегмент вынесения решений; все SOV получают путем использования групп 20 последовательных решений (эквивалентных 10 секундам) без какого-либо перекрытия.

После проведения испытания будет получен один (или несколько) файл (файлов), содержащий (содержащие) все решения, которые получены в ходе различных сеансов (S), представляющих общее количество решений в отношении TP. Первое выяснение действительности данных может быть

выполнено путем проверки того, что каждая пара VS/ТС была рассмотрена и что равное количество решений было вынесено по каждой из них.

Данные, собранные в ходе испытаний, которые проведены в соответствии с этим протоколом, могут быть обработаны тремя различными способами:

- статистический анализ каждого отдельного VS;
- статистический анализ каждого отдельного ТС;
- общий статистический анализ всех пар VS/ТС.

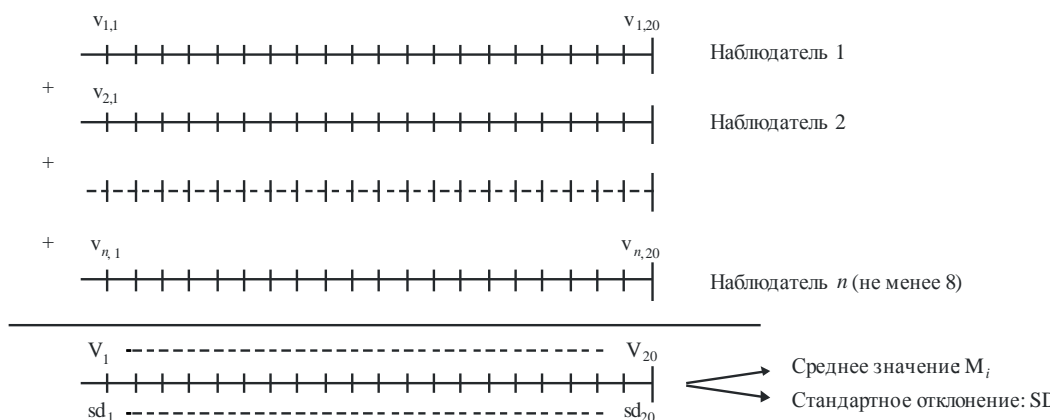
В каждом случае необходим состоящий из четырех этапов многошаговый анализ:

- Средние значения и стандартные отклонения рассчитываются по каждому решению путем накопления наблюдателей.
- Средние значения и стандартное отклонение рассчитываются для каждого SOV, как показано на рис. 9. Результаты этого этапа могут быть представлены на временной диаграмме, как показано на рис. 10.
- Анализируется статистическое распределение средних значений, рассчитанных на предыдущем этапе (т. е. соответствующем каждому SOV), и частота их появления. В целях недопущения эффекта новизны, обусловленного предыдущими сочетаниями VS × ТС, первые десять SOV для каждой выборки VS × ТС отбрасываются.
- Общая характеристика раздражающего воздействия рассчитывается путем накопления данных о частоте появления. В этом расчете должны быть учтены доверительные интервалы, как показано на рис. 11. Общая характеристика раздражающего воздействия соответствует этой статистической интегральной функции распределения, указывая соотношение между средними значениями для каждого сегмента вынесения решения и их кумулятивной частотой появления.

РИСУНОК 9

Обработка данных

- а) Расчет средней оценки V и стандартного отклонения SD в момент вынесения решения, по наблюдателям, для каждой последовательности каждого сочетания $SV \times CT$ по которой проводится голосование.



- б) Расчет M и SD на последовательность для голосования продолжительностью 1 с для каждого сочетания $CB \times UI$.

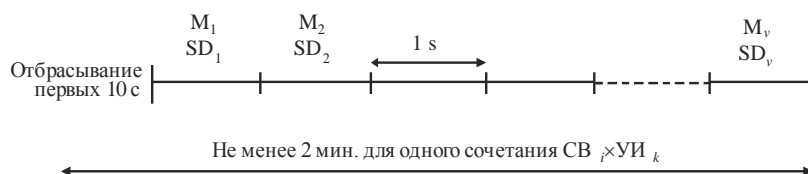
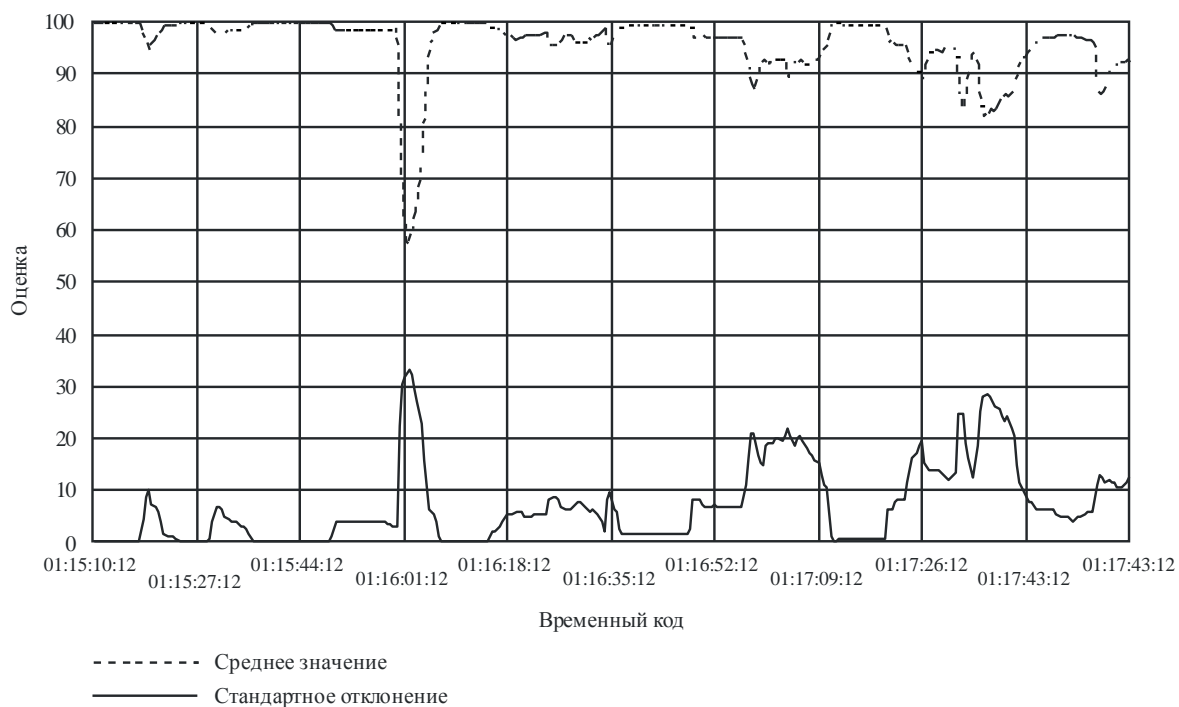


РИСУНОК 10

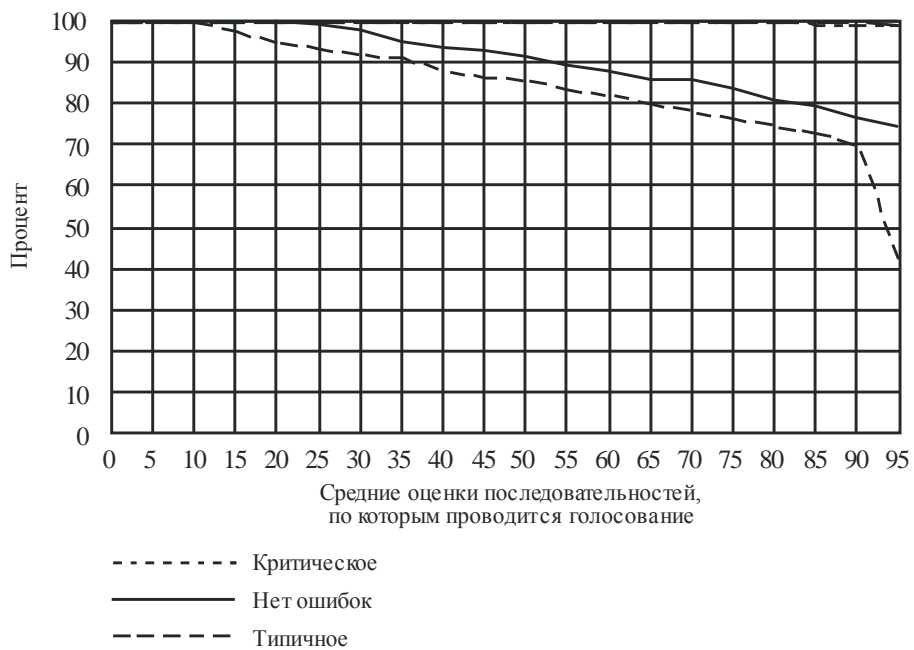
Групповая временная диаграмма



ВТ.2021-10

РИСУНОК 11

Общие характеристики раздражающего воздействия, рассчитанные на основе статистических распределений и включающие доверительный интервал



ВТ.2021-11

ТАБЛИЦА 1

Субъективный метод оценки качества изображения





Способ представления	Продолжительность последовательности	Двоичная шкала	Дискретная шкала	Непрерывная шкала
Методы с одним источником воздействия (SS), описанные в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.1	~10 с		5 Отлично 4 Хорошо 3 Удовлетворительно 2 Плохо 1 Неприемлемо	
Метод с двумя источниками воздействия и с использованием шкалы искажений (DSIS), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 4			5 Незаметно; 4 Заметно, но не раздражает; 3 Слегка раздражает; 2 Раздражает; 1 Очень раздражает	
Метод с двумя источниками воздействия и с использованием непрерывной шкалы качества (DSCQS), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, раздел 5	~10 с			
Методы сравнения воздействий (SC), описанные в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.2	~10 с	А в сравнении с В	-3 Намного хуже -2 Хуже -1 Несколько хуже 0 То же 1 Несколько лучше 2 Лучше 3 Намного лучше	
Метод непрерывной оценки качества при одном источнике воздействия (SSCQE), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.3	~3–5 мин.			
Метод непрерывной оценки с двумя источниками одновременного воздействия (SDSCE), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.4				

ТАБЛИЦА 2

Субъективный метод оценки качества глубины

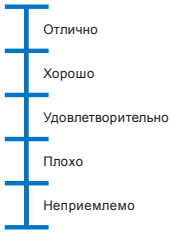
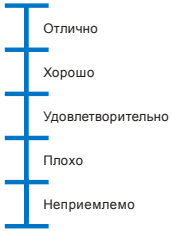
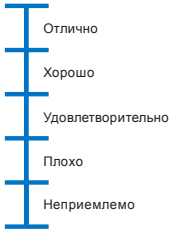

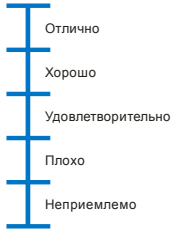



Способ представления	Продолжительность последовательности	Двоичная шкала	Дискретная шкала	Непрерывная шкала
Методы с одним источником воздействия (SS), описанные в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.1	~10 с		5 Отлично 4 Хорошо 3 Удовлетворительно 2 Плохо 1 Неприемлемо	
Метод с двумя источниками воздействия и с использованием шкалы искажений (DSIS), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 4			5 Незаметно; 4 Заметно, но не раздражает; 3 Слегка раздражает; 2 Раздражает; 1 Очень раздражает.	
Метод с двумя источниками воздействия и с использованием непрерывной шкалы качества (DSCQS), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, раздел 5	~10 с			
Методы сравнения воздействий (SC), описанные в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.2	~10 с	А в сравнении с В	-3 Намного хуже -2 Хуже -1 Несколько хуже 0 То же 1 Несколько лучше 2 Лучше 3 Намного лучше	
Метод непрерывной оценки качества при одном источнике воздействия (SSCQE), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.3	~3–5 мин.			
Метод непрерывной оценки с двумя источниками одновременного воздействия (SDSCE), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.4				

ТАБЛИЦА 3

Субъективный метод оценки зрительного комфорта

Способ представления	Продолжительность последовательности	Двоичная шкала	Дискретная шкала	Непрерывная шкала
Методы с одним источником воздействия (SS), описанные в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.1	~10 с		5 Отлично 4 Хорошо 3 Удовлетворительно 2 Плохо 1 Неприемлемо	
Метод с двумя источниками воздействия и с использованием шкалы искажений (DSIS), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 4			5 Незаметно; 4 Заметно, но не раздражает; 3 Слегка раздражает; 2 Раздражает; 1 Очень раздражает.	
Метод с двумя источниками воздействия и с использованием непрерывной шкалы качества (DSCQS), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, раздел 5	~10 с			
Методы сравнения воздействий (SC), описанные в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.2	~10 с	А в сравнении с В	-3 Намного хуже -2 Хуже -1 Несколько хуже 0 То же 1 Несколько лучше 2 Лучше 3 Намного лучше	
Метод непрерывной оценки качества при одном источнике воздействия (SSCQE), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.3	~3–5 мин.			
Метод непрерывной оценки с двумя источниками одновременного воздействия (SDSCE), описанный в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500, Приложение 1, пункт 6.4				

3 Общие условия просмотра

Условия просмотра (включая яркость экрана, контрастность, фоновую освещенность, расстояние просмотра и т. д.) должны соответствовать условиям просмотра, используемым для изображения 2D, как это описано в Рекомендации МСЭ-R ВТ.2022 (Док. 6/20) "Общие условия просмотра для субъективной оценки качества телевизионных изображений ТСЧ и ТВЧ на дисплеях с плоским экраном". Имеются два обоснования для такого согласованного подхода. Во-первых, на практике пользователи будут смотреть 3D телевидение на тех же самых дисплеях и при тех же условиях просмотра, что и при 2D ТВ. Во-вторых, потребуется часто измерять прогресс в качественных характеристиках видеотехнологий 3D ТВ по отношению (т. е. "в сравнении") к прогрессу в стандартных видеотехнологиях ТВЧ.

В Рекомендации МСЭ-R ВТ.2022 (Док. 6/20) указаны два возможные критерия для выбора расстояния просмотра. Следует выбирать предусмотренное проектом расстояние просмотра (DVD). Для цифровой системы DVD является расстоянием, на котором два соседних пикселя составляют в глазу зрителя угол, равный 1 угловой минуте.

При выражении в показателях, кратных высоте изображения, DVD для систем с разрешающей способностью изображения 1280×720 (Рекомендации МСЭ-R ВТ.1543 и МСЭ-R ВТ.1847) составляет 4,8Н; а для систем ТВЧ с разрешающей способностью изображения 1920×1080 (Рек. МСЭ-R ВТ.709) – 3,1Н (статические изображения).

В целях иллюстрации, в таблице 4 содержатся данные о предусмотренных проектами расстояниях просмотра в метрах для репрезентативной выборки размеров телевизоров по диагонали.

ТАБЛИЦА 4

Предусмотренное проектом расстояние просмотра в метрах для различных размеров телевизоров по диагонали

Размер по диагонали (дюймы)	Система изображения 1 920 × 1 080	Система изображения 1 280 × 720
	Предусмотренное проектом расстояние просмотра (метры)	Предусмотренное проектом расстояние просмотра (метры)
32	1,24	1,88
42	1,62	2,47
52	2,01	3,06
62	2,39	3,64
72	2,78	4,23
82	3,17	4,82
92	3,55	5,41
102	3,94	5,99

Следует отметить, что, поскольку два соседних пикселя составляют в глазу зрителя угол, равный 1 угловой минуте, на предусмотренном проектом расстоянии просмотра наименьшее угловое (от сетчатки глаза) расхождение, которое может быть представлено системой (т. е. разрешение системы по глубине), равно 1 угловой минуте (или, что то же самое, 60 угловым секундам). Результаты исследования показали, что примерно 97% населения могут различать расхождения по горизонтали, равные или меньшие 140 угловых секунд, и по меньшей мере 80% населения могут обнаруживать расхождения по горизонтали в 30 угловых секунд. Таким образом, большинство наблюдателей не будут сталкиваться ни с какими трудностями с анализом незначительных расхождений, имеющих в современных видеосистемах 3D, на предусмотренном проектом расстоянии просмотра.

4 Материал для испытаний

Выбор материала для испытаний должен обосновываться прикладным вопросом, изучаемым в рамках исследования. В целом контент испытательных последовательностей (спорт, постановочные программы, фильмы и т. д.) и их пространственно-временные характеристики должны быть репрезентативными для программ, передаваемых исследуемой службой.

Кроме того, избранный контент стереоскопических испытательных последовательностей должен быть, как правило, удобным для просмотра. Зрительный комфорт стереоскопических изображений зависит в значительной степени от расхождений в изображениях (параллакс), имеющихся в изображениях и условиях просмотра. В связи с этим следует принимать меры для обеспечения того, чтобы расхождения не превышали пределов, указанных в приведенных ниже разделах, если только исследование особо не направлено на измерение зрительного комфорта. Кроме того, следует измерять и сообщать, когда это возможно, статистические данные: среднее, стандартное отклонение и диапазон (миним./максим.) распределения расхождений в испытательной последовательности.

Параллакс – несоответствия между левым и правым изображениями, и распределение и изменение параллакса можно предложить в качестве вопросов, которые следует учитывать при выборе испытываемых изображений как удобных для просмотра стереоскопических 3D изображений. Отношения между удобным для просмотра стереоскопическим 3D изображением и параллаксом, несоответствие между левосторонним и правосторонним изображениями, а также распределение и изменение параллакса описываются в последующих подразделах.

4.1 Пределы визуального комфорта

Чрезмерное расхождение, или параллакс, вызывает визуальный дискомфорт, возможно, потому, что оно усиливает конфликт между аккомодацией и вергентностью. Поэтому было предложено с целью минимизации конфликта аккомодации-вергентности, чтобы расхождение стереоскопического изображения было достаточно малым, с тем чтобы воспринимаемая глубина объектов попадала в пределы "зоны комфорта". Для определения этих пределов предложено несколько подходов. В одном подходе используется мера экранного параллакса, выраженная в процентах от горизонтального размера экрана, для того чтобы указать пределы комфортного просмотра. Была предложена величина пересекающегося/отрицательного расхождения, равная 1%, и величина непересекающегося/положительного расхождения, равная 2% (суммарная величина около 3%). Согласно другому подходу комфортная зона разграничивается глубиной резкости глаза. Для условий просмотра, типичных для телевизионного вещания, исследователи приняли глубину резкости в пределах от $\pm 0,2D$ (диоптрий) до $\pm 0,3D$ (диоптрий). Для систем с разрешением изображения ТВЧ 1920×1080 (Рек. МСЭ-Р ВТ.709), наблюдаемых с проектного расстояния просмотра, равного $3,1H$, эти величины приблизительно соответствуют $\pm 2\%$ и $\pm 3\%$ экранного параллакса. И наконец, в третьем подходе пределы комфортности указываются в значениях расхождения на сетчатке, и эти пределы устанавливаются равными $\pm 1^\circ$ от угла зрения как для положительного, так и для отрицательного расхождения.

Причем эти различные подходы стремятся к одним и тем же пределам комфортности. Напомним, что на предусмотренном проектом расстоянии просмотра два соседних пикселя составляют угол, равный 1 угловой минуте, в глазу зрителя. Таким образом, 60 пикселей соответствуют углу зрения 1° . Это позволяет нам легко указать пределы комфортности в значениях расхождения на сетчатке (для усредненного зрителя). Например, для систем с разрешением изображения ТВЧ 1920×1080 (Рек. МСЭ-Р ВТ.709), 1% (~19,2 пикселя) соответствует приблизительно 20 угловым минутам, 2% – ~40 угловым минутам и 3% – ~60 угловым минутам (что эквивалентно 1°).

Следует отметить, что даже хотя на предусмотренном проектом расстоянии просмотра два соседних пикселя всегда образуют угол, равный 1 угловой минуте, физический разнос (то есть выраженный в мм) этих пикселей с увеличением размера экрана возрастает (количество пикселей остается тем же самым, а физический размер экрана возрастает). Следовательно, более высокие пределы (например, $\pm 3\%$) могут привести к большему размеру экрана на некотором физическом расстоянии между соответствующими точками (то есть параллаксу двух изображений в мм), который превышает расстояние между зрачками усредненного зрителя (~63–65 мм). Это может привести к увеличению дискомфорта.

4.2 Несоответствия между левым и правым изображениями

В стереосистемах 3D, бинокулярное 3D изображение формируется представлением левого и правого изображения в соответствующий глаз. Если между этими двумя изображениями возникнут несоответствия, то они могут вызвать психофизический стресс, а в некоторых случаях может нарушиться трехмерность просмотра. Например, когда снимаются и воспроизводятся стереоскопические программы 3DTV, могут возникать геометрические искажения, такие как несоответствие размеров, вертикальное смещение и ошибка поворота между левым и правым изображениями. Было бы предпочтительно, чтобы испытательные изображения были свободны от этих геометрических искажений. Для получения дополнительной информации см. п. 3.2.1 Приложения 4 к Отчету МСЭ-R ВТ.2160-2.

При выборе испытательных изображений в качестве удобных для просмотра стереоскопических 3D изображений следует учитывать следующие факторы, касающиеся несоответствий между левым и правым изображениями:

- геометрическое несоответствие, включая размер, вертикальное смещение и вращение;
- несоответствие яркости, включая уровень белого и черного;
- перекрестные помехи.

4.3 Диапазон, распределение и изменение параллакса

При стереоскопических изображениях распределение параллакса коррелируется с визуальным комфортом.

Распределение параллакса стереоскопических изображений не является непрерывным при смене сюжетов в кадрах. Случаи значительного параллакса или резкие изменения параллакса создают дискомфорт при просмотре, поэтому важно тщательно распределять параллакс в испытательных изображениях. Для получения дополнительной информации см. п. 3.2.2 Приложения 4 к Отчету МСЭ-R ВТ.2160-2.

В общем случае, поскольку исследования с использованием стереоскопических испытательных последовательностей могут вызывать некоторую степень дискомфорта просмотра, рекомендуется использовать, когда это возможно, материалы для испытаний, в которых расхождение не превышает пределов комфорта, хотя случайные отклонения выше этих пределов комфорта могут допускаться.

5 Экспериментальная аппаратура

Экспериментальная аппаратура (сервер видеосигналов, экран и т. д.) должна быть способна отображать испытательные последовательности с полным HD разрешением, например, используя формат упаковки кадров HDMI. Это даст большую гибкость выбора спектра исследований, которые могут быть выполнены.

К настоящему времени нет стандартизованных эталонных экранов для оценки 3D ТВ. Соответственно ожидается, что большинство исследователей будут использовать существующие экраны 3D ТВ потребительского уровня. Поскольку характеристики таких экранов могут варьироваться в зависимости от производителей, исследователи настоятельно призываются сообщать соответствующую информацию о настройках экрана, используемого в этих исследованиях.

6 Наблюдатели

6.1 Размер выборки наблюдателей

В общем случае рекомендуется использовать по меньшей мере 30 зрителей. Однако признается, что фактическое количество будет зависеть от конкретных задач исследования, отмечая, что соображения по выбору размера выборки в исследованиях, касающихся 3D, такие же, как и в исследованиях, касающихся 2D.

6.2 Отсевание по зрению

Наблюдателей следует отсеивать по остроте зрения, дальтонизму, стереоскопичности зрения используя существующие клинические тесты зрения, такие как таблицы Снеллена, эквивалентные для остроты зрения; таблицы Ишихары или эквивалентные им для цвета; и Рандо или эквивалентные им для стереоскопичности зрения. Отметим, что в испытаниях на стереоскопичность зрения, подобных тестам Рандо, Stereo Fly или Фрисби обычно измеряется расхождение приблизительно от 20 до 400 угловых секунд. Исследователи призываются сообщать соответствующую статистику о стереоскопических способностях наблюдателей, участвующих в исследовании. Если требуется более детальный анализ стереоскопических способностей участников, исследователи могут использовать материалы для испытаний, показанные в Дополнении 1.

7 Инструкции для наблюдателей

Инструкции следует индивидуализировать для конкретных изучаемых величин (например, качества глубины зрения, комфорта и т. д.). При этом этические указания для исследований трехмерности жестче, чем типовые указания, используемые при оценке качества 2D изображений, поскольку участники могут испытывать зрительный дискомфорт. В общем случае при исследованиях трехмерности требуется уделять больше внимания информированию участника о мотивации данного исследования, а также о всех возможных негативных эффектах, возникающих в результате стимулирующих воздействий, используемых при данном исследовании.

8 Продолжительность сессии

Если просматриваемый материал считается комфортным, то продолжительность тестовой сессии может быть такой же, какая используется при 2D исследованиях (т. е. ~20–40 минут, перемежаемые перерывами). Если известно, что материал содержит чрезмерный параллакс, и значит, что он потенциально некомфортен, то продолжительность сессии следует ограничить.

9 Использование эталонного видеоматериала

Исследователи могут пожелать включить, при наличии, эталонные последовательности в качестве части набора испытательных последовательностей. Эти последовательности, как правило, являются такой версией испытательных последовательностей, которые не подвергались никакой обработке (т. е. это исходные последовательности источника). Для стереоскопических исследований главным эталоном является исходная необработанная стереоскопическая последовательность. Однако план эксперимента может также включать моноскопическую эталонную версию (т. е. только одно изображение исходной последовательности источника); например, при исследованиях зрительного комфорта может оказаться полезным использовать в качестве отправной точки зрительный комфорт моноскопического эталона. Эту моноскопическую версию эталона следует представить в режиме 3D (например, левое изображение представляется и для левого, и для правого глаза используя одни и те же установки аппаратного обеспечения 3D как для фактической стереоскопической последовательности). Включение этого эталона в план эксперимента дает два важных преимущества. Во-первых, оно дает возможность измерить прозрачность (известную и как точность воспроизведения), которую обеспечивает изучаемый алгоритм или технология². Во-вторых,

² Прозрачность (точность воспроизведения) – это концепция, описывающая качество работы кодека или системы по отношению к идеальной системе передачи без каких-либо ухудшений. Легко видеть, что прозрачность может быть измерена путем сравнения показателей, присвоенных эталонной последовательности, с показателями, присвоенными последовательности, обработанной исследуемым алгоритмом или технологией.

включение эталона обеспечивает точки привязки к высокому качеству, что может помочь в стабилизации показателей³.

10 Изменчивость ответов

Показатели, сообщаемые зрителями во время экспериментов по субъективной оценке, в общем случае довольно изменчивы. Различия в показателях зрителей могут просто отражать характеристики отобранных для сравнения зрителей, и они могут быть устранены увеличением размера выборки.

Однако часть изменчивости может быть отнесена на изменения структуры ответов индивидуальных пользователей во время эксперимента. Эти изменения предполагают изменение критериев оценки, которое может возникать из-за приобретения опыта в ходе решения задачи, изучения характеристик артефактов и т. п. Для того чтобы минимизировать негативное влияние такой изменчивости, исследователям следует разработать соответствующие процедуры профессиональной подготовки (выполнение задачи, уровень ухудшения и т. д.), использовать многократную рандомизацию (т. е. представлять разным зрителям испытательные последовательности в различном случайном порядке), а также использовать дублирование (которое позволило бы измерить возможные изменения в структуре ответов).

11 Критерии исключения зрителей

Критерии исключения зрителей для методов, указанных в п. 2, описаны в Рекомендации МСЭ-R ВТ.500.

12 Статистический анализ

Методы статистического анализа при изучении систем трехмерного представления изображений такие же, как и для систем двумерного представления изображений.

Дополнение 1

Испытательные материалы для испытаний зрения

1 Испытания зрения

В таблице 5 перечислены испытательные таблицы для испытаний зрения. Эти 12 тестов отобраны в соответствии с иерархией системы человеческого зрения от нижнего уровня до высшего уровня. Ниже описаны восемь основных испытаний зрения (VT), остальные четыре – клинические испытания. Наблюдатели должны иметь нормальное бинокулярное зрение, означающее, что они должны успешно пройти испытание VT-04 по точности бинокулярного зрения и VT-07 по динамике бинокулярного зрения. Оставшиеся шесть тестов предназначены для получения более детальных характеристик. Испытательные таблицы следует просматривать с расстояния, равного утроенной высоте экрана дисплея.

³ Считается, что стабильность показателей по пространству (т. е. по разным лабораториям) и времени (т. е. в одной и той же лаборатории, но в разное время) может быть улучшена также использованием точек привязки к низкому качеству. Однако в МСЭ отсутствуют планы по скорейшему созданию/определению стандартизованных точек привязки к низкому качеству для оценки технологий стереоскопического представления изображений.

ТАБЛИЦА 5

Стереоскопические испытательные материалы для испытаний зрения

№	Испытание	Цель испытания	Содержание
1	Одновременное восприятие	Способность одновременного и в правильном положении восприятия дихоптически представленных изображений	Для одного глаза представлено изображение клетки, а для другого – льва
2	Бинокулярное слияние	Способность воспринимать два дихоптических изображения левым и правым глазами как одно изображение	Изображение для одного глаза имеет две, а для другого – три точки, причем одна точка является общей
3	Стереоскопическое восприятие крупных деталей	Способность воспринимать дихоптически представленные изображения с параллаксом как одно изображение с глубиной крупных деталей	Изображения для двух глаз являются стереопарой стрекозы с расправленными крыльями
4	Стереоскопическое восприятие мелких деталей	Способность воспринимать дихоптически представленные изображения с параллаксом как одно изображение с глубиной мелких деталей	Представлены девять небольших фигурок ромбовидной формы, каждая из них имеет четыре круга, в которых только один круг имеет малый параллакс
5	Предел слияния с пересечением	Способность воспринимать дихоптически представленные изображения с пересекающимися расхождениями как одно изображение	Стереопара вертикальных черточек представлена со своим пересекающимся параллаксом, изменяющимся со скоростью 10'/с
6	Предел слияния без пересечения	Способность воспринимать дихоптически представленные изображения с непересекающимися расхождениями как одно изображение	Стереопара вертикальных черточек представлена со своим непересекающимся параллаксом, изменяющимся со скоростью 11'/с
7	Динамическое стереоскопическое восприятие	Способность воспринимать глубину в движущихся изображениях, образованных стереограммами произвольно выбранных точек	Динамическая стереограмма из произвольно выбранных точек
8	Острота бинокулярного зрения	Острота бинокулярного зрения с бинокулярным слиянием, включая любое нарушение остроты монокулярного зрения, которое может мешать хорошему стереоскопическому восприятию	Буквы Е разнообразной ориентации и размера
9	Горизонтальное косоглазие	Горизонтальная девиация глаза, с которой пациент не может справиться	Вертикальные и горизонтальные линии
10	Вертикальное косоглазие	Вертикальная девиация глаза, с которой пациент не может справиться	Вертикальные и горизонтальные линии
11	Анизейкония	Состояние, при котором зримое изображение объекта, наблюдаемого одним глазом, отличается по размеру и форме от изображения, наблюдаемого другим глазом	Левое изображение состоит из знаков "[о", а правое – из знаков "о]", причем расположение буквы "о" является общим
12	Циклофория	Девиация одного или другого глаза от переднезадней оси, когда слияние предотвращено	Левое изображение состоит из циферблата, а правая – из часовых стрелок, указывающих на шесть часов

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Эти материалы представлены в формате 1125/60/l (см. Рекомендацию МСЭ-R ВТ.709).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Материалы могут быть получены из Института инженеров по информации изображений и телевидению (ITE), 3-5-8 Шибакен, Минато-ку, Токио 105-0011, Япония, тел.: 81-3-3432-4675, электронная почта: ite@ite.or.jp.

Внизу: правое и левое изображения расположены непосредственно рядом с целью объяснения слияния без пересечения.

1) **VT-01: Одновременное восприятие (тест со львом)**

Тестирует способность одновременного и в правильном положении восприятия дихоптически представленных изображений. Для одного глаза представлено изображение клетки, а для другого – льва, причем его положение меняется со скоростью 12'/с. Размер каждого изображения установлен в 10°, что позволяет наблюдателям фиксировать изображения в своей парамакулярной зоне. Наблюдатели с нормальным зрением могут видеть льва в клетке в определенное время периода представления.

РИСУНОК 12

Испытательная таблица для VT-01



Правое изображение



Левое изображение

ВТ.2021-06

2) **VT-02: Бинокулярное слияние (метод Уорта)**

Тестирует способность воспринимать два дихоптические изображения левым и правым глазами как одно изображение. Изображение для одного глаза имеет две, а для другого – три точки, причем одна точка является общей. Наблюдатели с нормальным зрением могут видеть четыре точки.

РИСУНОК 13

Испытательная таблица для VT-02



Правое изображение



Левое изображение

ВТ.2021-07

3) VT-03: Стереоскопическое восприятие крупных деталей (тест со стрекозой)

Тестирует способность воспринимать дихоптически представленные изображения с параллаксом как одно изображение с глубиной крупных деталей. Изображения для двух глаз являются стереопарой стрекозы с расправленными крыльями. Наблюдатели с нормальным зрением могут воспринимать крылья спереди экрана.

РИСУНОК 14

Испытательная таблица для VT-03



Правое изображение



Левое изображение

ВТ.2021-08

4) VT-04: Стереоскопическое восприятие мелких деталей (тест с кругами)

Тестирует способность воспринимать дихоптически представленные изображения с параллаксом как одно изображение с глубиной мелких деталей. Ниже на рисунке представлены девять небольших фигурок ромбовидной формы для тестирования, причем каждая из них имеет четыре круга, в которых только один круг имеет малый параллакс. Наблюдатели с нормальным зрением могут воспринимать круг с малым параллаксом спереди экрана. В таблице 6 показаны номер теста, правильные ответы и угол стереоскопического восприятия на расстоянии $3H$.

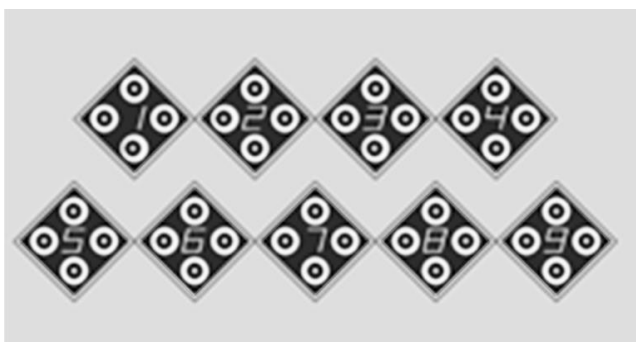
ТАБЛИЦА 6

Правильные ответы и параллакс

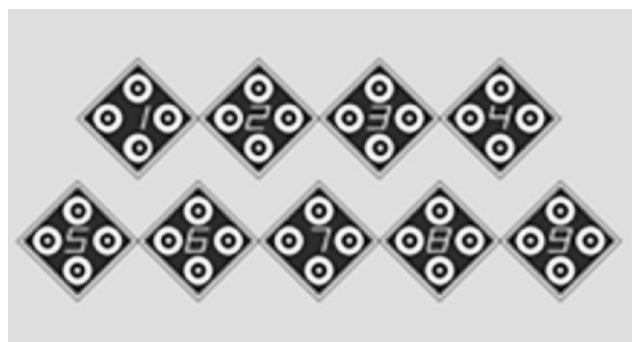
№ теста	Правильные ответы	Угол стереоскопического восприятия на расстоянии $3H$ (")
1	Внизу	480
2	Слева	420
3	Внизу	360
4	Вверху	300
5	Верху	240
6	Слева	180
7	Справа	120
8	Слева	60
9	–	0

РИСУНОК 15

Испытательная таблица для VT-04



Правое изображение



Левое изображение

ВТ.2021-09

5) VT-05: Предел слияния с пересечением (тест с вертикальной чертой)

Тестирует способность воспринимать дихоптически представленные изображения с пересекающимися расхождениями как одно изображение. Стереопара вертикальных черточек представлена со своим параллаксом, изменяющимся со скоростью 10'/с. Пределы слияния для возрастающего и убывающего рядов можно измерить. Наблюдателям предлагается сообщать о перерыве слияния, как только они заметят сдвоенное изображение в возрастающем ряде, и о восстановлении слияния, как только они заметят дихоптические изображения как одно изображение в убывающем ряде.

РИСУНОК 16

Испытательная таблица для VT-05



Правое изображение



Левое изображение

ВТ.2021-10

6) VT-06: Предел слияния без пересечения (тест с вертикальной чертой)

Тестирует способность воспринимать диоптически представленные изображения с непересекающимися несовпадениями как одно изображение. Представленные изображения – те же, что и в случае с пересечением, рассмотренным выше, однако правое и левое изображения поменялись местами.

РИСУНОК 17

Испытательная таблица для VT-06



Правое изображение



Левое изображение

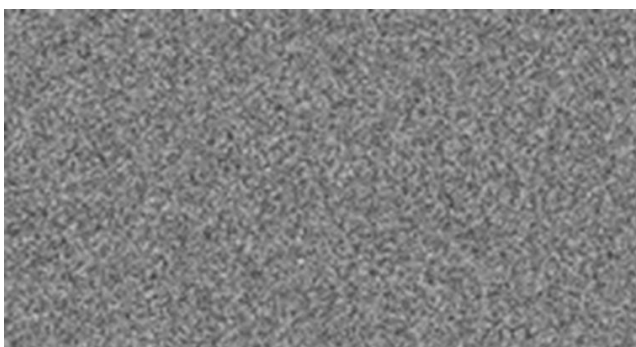
ВТ.2021-11

7) VT-07: Динамическое стереоскопическое восприятие (тест с динамической стереограммой произвольно выбранных точек)

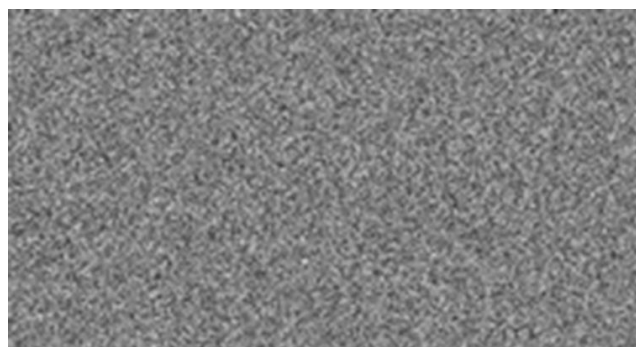
Тестирует способность воспринимать глубину в движущихся изображениях, образованных стереограммами произвольно выбранных точек. Наблюдатели с нормальным зрением могут воспринимать прямоугольную форму и синусоидальное движение глубины в динамической стереограмме произвольно выбранных точек.

РИСУНОК 18

Испытательная таблица для VT-07



Правое изображение



Левое изображение

ВТ.2021-12

8) VT-08: Острота бинокулярного зрения (тест на остроту)

Тестирует остроту бинокулярного зрения с бинокулярным слиянием, включая любое нарушение остроты монокулярного зрения, которое может помешать хорошему стереоскопическому восприятию. На изображениях видны четыре колонки и пять линий, состоящие из букв Е с различным расположением и размерами. Две центральные колонки можно видеть обоими глазами, две левые колонки видны только левым глазом, а две правые колонки видны только правым глазом. Наблюдатели с нормальным зрением могут правильно определить расположение букв Е. Размеры букв соответствуют остроте в 1,0; 0,5; 0,33; 0,25 и 0,125 на расстоянии 3 Н.

РИСУНОК 19

Испытательная таблица для VT-08



Правое изображение

Левое изображение

ВТ.2021-13

9 и 10) VT-09: Горизонтальное косоглазие (тест горизонтального косоглазия методом Меддокса) и VT-10: вертикальное косоглазие (тест вертикального косоглазия методом Меддокса)

Эти испытательные таблицы измеряют горизонтальную и вертикальную девиацию глаза. Визуальные оси допускают расположение относительно друг друга, отличное от расположения, требуемого физиологическими условиями. Изображения состоят из вертикальных и горизонтальных линий. Наблюдатели с нормальным зрением могут воспринимать точку пересечения линий, расположенную приблизительно в центре этих линий. Единица измерения значений у отсечек – есть призматический диоптрий с PD (межзрачковое расстояние) = 65 мм на расстоянии 3,02 Н.

РИСУНОК 20

Испытательная таблица для VT-09



ВТ.2021-14

РИСУНОК 21

Испытательная таблица для VT-10



ВТ.2021-15

11) VT-11: Анизейкония ("[" "]" тест с буквами)

Состояние, при котором зримое изображение предмета, наблюдаемого одним глазом, по размеру и форме отличается от изображения, наблюдаемого другим глазом. Левое изображение состоит из знаков "[о", а правое – из знаков "о]", причем расположение буквы "о" является общим. Наблюдатели с нормальным зрением могут воспринимать знаки "[" и "]" как имеющие одинаковый размер и одинаковую высоту.

РИСУНОК 22

Испытательная таблица для VT-11



ВТ.2021-16

12) VT-12: Циклофория (тест с часами)

Девияция глаза от переднезадней оси только в том случае, если она охвачена, а слияние предотвращено. Левое изображение состоит из циферблата, а правая – из часовой стрелки, указывающей на шесть часов. Наблюдатели с нормальным зрением могут воспринимать часы только как шесть часов.

РИСУНОК 23

Испытательная таблица для VT-12



ВТ.2021-17