

Комплекс контроля и анализа психофизиологической информации КАПИ с очками-айтрекером АТВ-2 для исследования функционального состояния водителей и дорожной обстановки

Оглавление

Введение.....	2
Основные цели исследования функционального состояния (ФС) водителей транспортных средств (ТС) ..	3
Характеристики надежности и эффективности работы водителя.....	3
Оценка уровня усталости и внимания водителя	4
Обоснованность регистрации мультимодальных данных.....	5
Оборудование, обеспечивающее регистрацию мультимодальных данных для исследования ФС водителей.....	6
Мультимодальные данные регистрируемые Комплексом КАПИ.....	6
Схема Комплекса для исследования дорожных условий и ФС водителя в процессе вождения.....	8
Оборудование для регистрации глазодвигательной активности и направления взгляда водителя при вождении транспортного средства	10
Оборудование для регистрации физиологических сигналов и расчета нейрофизиологических и соматовегетативных показателей.....	15
Использование Комплекса КАПИ с тренажерами-симуляторами	21
Проведение исследования и анализ данных	23
Подготовка к проведению исследования	23
Расчетные показатели глазодвигательной активности и визуализационные методы анализа.....	24
Интерфейс ПО «Энцефалан КАПИ». Визуализация и анализ различных типов мультимодальных данных	30
Некоторые примеры отчётных форм.....	40
Выводы.....	43

Введение

Управление транспортным средством относится к «операторской деятельности», под которой понимается деятельность, направленная на применение какой-либо техники. Управление автомобилем – сложная задача, требующая от водителя высокого уровня бдительности, концентрации и хорошей реакции. Поэтому предъявляются определенные требования к личностным характеристикам и профессиональным навыкам водителя.

В большинстве случаев причиной аварии становится человеческий фактор: отвлечение водителя от дороги, неспособность сосредоточиться, засыпание за рулем, агрессивное вождение (несоблюдение дистанции, превышение скорости, игнорирование красного сигнала светофора).

Эффективность и безопасность вождения, зависит от личного опыта водителя, его умений и навыков, опирающихся, в том числе, на интуицию или прогнозирование.

Исследование функционального состояния (ФС) водителя в процессе вождения транспортного средства, восприятия водителем дорожной обстановки, пригодности трассы, степени влияния дорожных условий, отвлекающих факторов, скорости и траектории движения являются важными задачами, имеющими цель оценить значение различных факторов, влияющих как на аварийность водителя, так и на обеспечение безопасности дорожного движения.



Основные цели исследования функционального состояния (ФС) водителей транспортных средств (ТС)

Характеристики надежности и эффективности работы водителя

- **Соблюдение ПДД** (правил дорожного движения), что включает в себя правильное использование сигналов поворота, соблюдение скоростного режима, умение правильно ориентироваться в дорожных знаках и разметке.
- **Уровень внимания и реакции:** способность водителя быстро реагировать на изменения дорожной ситуации, а также поддерживать высокий уровень внимания в течение всего времени управления автомобилем.
- **Умение прогнозировать дорожную ситуацию:** способность быстро анализировать дорожную обстановку и, на основе имеющегося опыта и знаний, предвидеть возможные изменения в дорожной ситуации, что позволяет избегать аварий.
- **Особенности принятия решений:** как водители распределяют свое зрительное внимание, насколько на него влияют различные отвлекающие факторы (наружная реклама, включенная музыка, звонки по телефону и пр.), как он реагируют на неожиданные ситуации на дороге, помогает понять процессы принятия решений при вождении и разрабатывать системы поддержки, которые могут снизить аварийность.
- **Эмоциональная и социальная составляющие поведения при управлении ТС:** уважение к другим участникам дорожного движения, способность сохранять спокойствие в стрессовых ситуациях и стремление избегать агрессивного вождения.



Оценка уровня усталости и внимания водителя

- **Измерение психофизиологических показателей**, характеризующих ЧСС и его вариабельность, показателей кожной проводимости, дыхания, электроэнцефалограммы (ЭЭГ), а также показателей глазодвигательной активности позволяет оценить изменение функционального состояния водителя, его усталость, сонливость и способность концентрироваться на дороге.
- **Оценка эргономики кабины водителя:** как расположение приборов управления и информационных дисплеев влияет на способность водителя быстро и эффективно получать информацию без отвлечения от дороги.
- **Оценка стрессоустойчивости и эмоционального состояния:** Анализ психофизиологических показателей для определения уровня стресса у водителей в различных дорожных условиях.
- **Улучшение программ подготовки и обучения водителей:** Применение полученных данных для разработки более эффективных программ обучения водителей, направленных на формирование безопасного стиля вождения.
- **Исследование качества и адекватности трассы и дорожных знаков.**



Обоснованность регистрации мультимодальных данных

Отдельной позицией можно указать целесообразность проведения исследования психологических и психофизиологических особенностей водителей и связи этих особенностей с безопасностью и эффективностью движения.

Факторы, оказывающие влияние на уровень безопасности дорожного движения

Склонность к агрессивной манере вождения	Параметры внимания	Дополнительные обстоятельства
<p>обусловлена психологическими особенностями водителя (черты характера):</p> <ul style="list-style-type: none">• импульсивность,• низкий уровень терпимости к фрустрации,• конкурентность,• агрессивность	<ul style="list-style-type: none">• объем внимания,• распределение и переключение внимания,• уровень активации ЦНС,• уровень операторской работоспособности (скорость сенсорных реакций и их безошибочность в ситуациях, требующих разные реакции на разные стимулы).	<ul style="list-style-type: none">• стресс и эмоциональное напряжение (например, личные проблемы или накопившееся утомление из-за напряженного графика работы),• дорожные пробки,• плохо видимая дорожная разметка,• плохие погодные условия,• нарушение правил дорожного движения другими участниками (как водителями, так и пешеходами) и пр.

Исследования этих особенностей водителя могут проводиться с использованием специального оборудования и программного обеспечения, включающего в себя различные психологические, психофизиологические, нейропсихологические и когнитивные тесты:

- **Программное обеспечение «Эгоскоп» для объективного психологического анализа и тестирования»**
<https://medicom-mtd.com/tmp/Next-Egoscop.pdf>
- **Устройство психофизиологического тестирования УПФТ-1-30 «Психофизиолог» с модулем психомоторных тестов МПТ**
<https://medicom-mtd.com/htm/Products/psychophysiolog.html>
- **Комплекс КАПИ для психодиагностических исследований с ПО «Энцефалан-ПНТ»**
https://medicom-mtd.com/tmp/encephalan_pnt_ru.pdf

Оборудование, обеспечивающее регистрацию мультимодальных данных для исследования ФС водителей

Мультимодальные данные регистрируемые Комплексом КАПИ

- Videopotok, фиксирующий окружающую среду, который видит водитель с учетом поворотов и наклонов его головы: дорога, приборная панель автомобиля, боковые зеркала, зеркало заднего вида и все то, что попадает в поле обзора «камеры сцены», встроенной в носимые очки-айтрекер.
- Videopotoki, фиксирующие изображения обоих глаз водителя, на основании которых осуществляется детекция зрачков и роговичных бликов, использующихся для дальнейшего анализа.
- Данные о глазодвигательной активности водителя, регистрируемые с помощью сенсорных очков-айтрекера, установленных на водителя. Траектория направления взгляда рассчитывается с помощью вычислительного модуля регистратора, входящего в комплект очков-айтрекера. Траектория взгляда накладывается на видео «камеры сцены» очков-айтрекера и характеризует распределение зрительного внимания водителя в процессе вождения автомобиля. По траектории взгляда детектируются глазодвигательные события (фиксации, саккады, моргания), рассчитываются их количественные показатели в привязке «зонам интереса», характеризующим зрительные образы на видео с «камеры сцены». *Подробнее – в разделе [«Расчетные показатели глазодвигательной активности и визуализационные методы анализа»](#).*
- Психофизиологические показатели, характеризующие функциональное состояние (ФС) водителя в процессе вождения автомобиля с целью последующего анализа его изменения с учетом влияния на него дорожной обстановки, скорости движения, длительности



поездки и других факторов. Используются нейрофизиологические показатели, базирующиеся на анализе биопотенциалов мозга (электроэнцефалограмма – ЭЭГ) и соматовегетативные показатели, базирующиеся на анализе сигналов электрокардиограммы (ЭКГ), кожной проводимости (КПР) фотоплетизмограммы (ФПГ), рекурсии дыхания (РД).

- Видеопоток дорожной среды (с помощью видеокамеры на лобовом стекле транспортного средства) в процессе движения автомобиля для документирования различных аспектов дорожного движения (состояние дороги, извилистость трассы, дорожные знаки, ЖД-переезды, пешеходные переходы, ограничения по видимости и пр.), синхронизированного со всеми регистрируемыми информационными потоками.
- Аудиопоток с микрофона, встроенного в сенсорные очки для фиксации звукового сопровождения.
- Показатели GPS-датчика, встроенного в регистратор очков-айтрекера, отражающие различные характеристики, включая скорость движения и изменение по высоте в случае подъема или спуска.

На рисунке обозначены зоны регистрации видео:

► **Зелёным** – зона регистрации видеокамеры, встроенной в очки-айтрекер (направление соответствует повороту и наклону головы водителя);

► **Синим** – зона регистрации автомобильного видеорегистратора (направление – фиксированное, соответствующее продольной оси автомобиля);

► **Фиолетовым** – зона регистрации салонного видеорегистратора (направление – фиксированное, соответствующее общему виду на водителя)

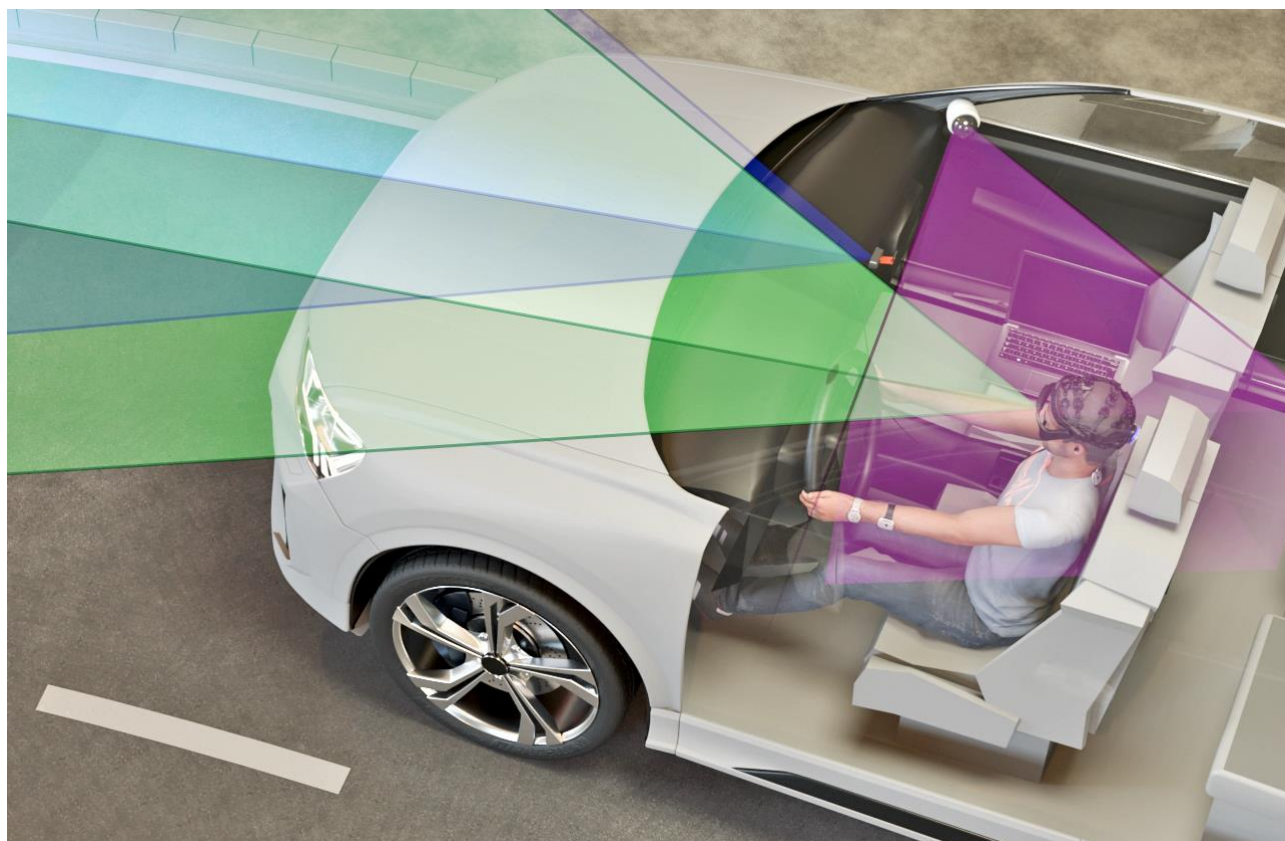
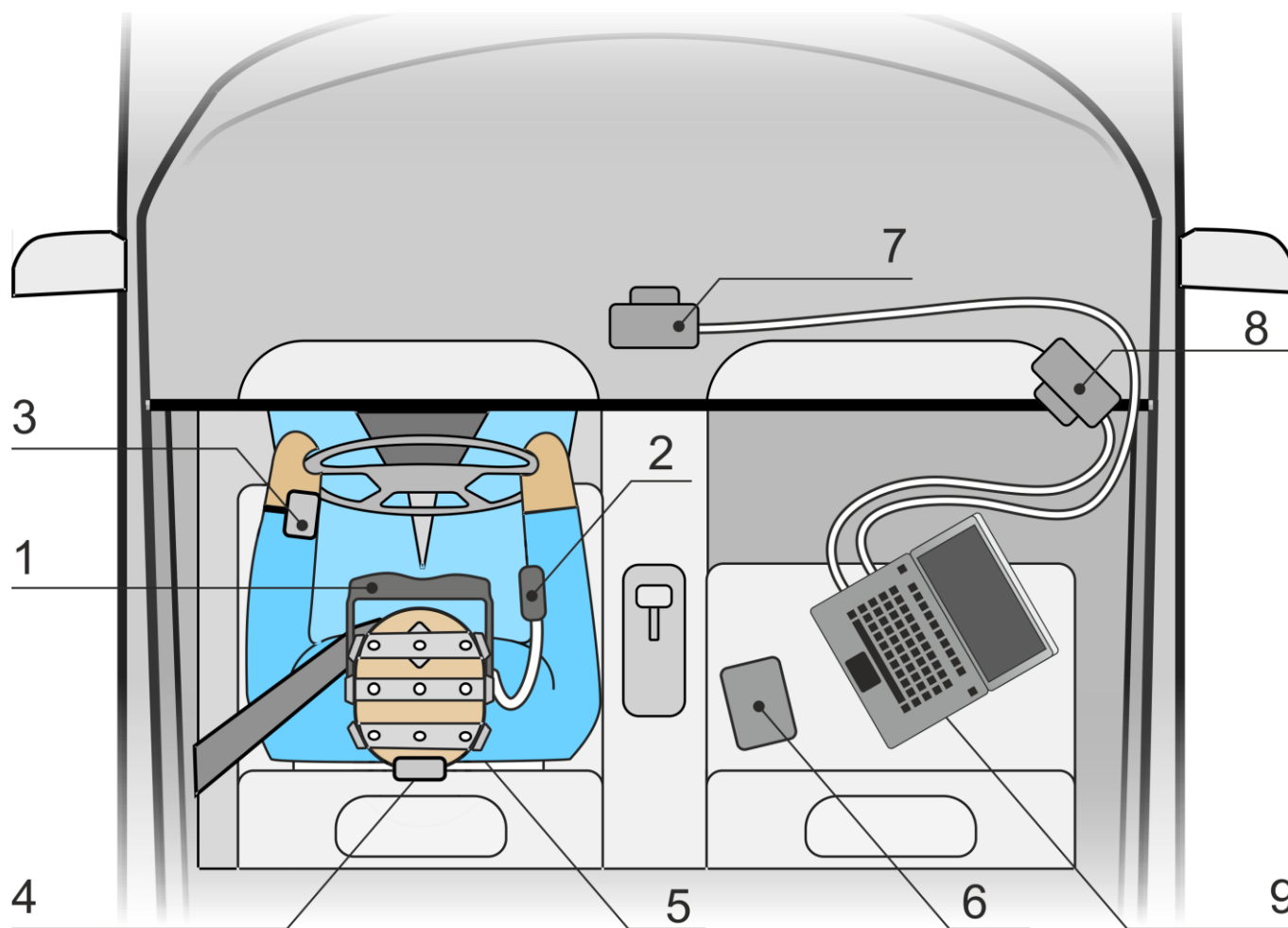
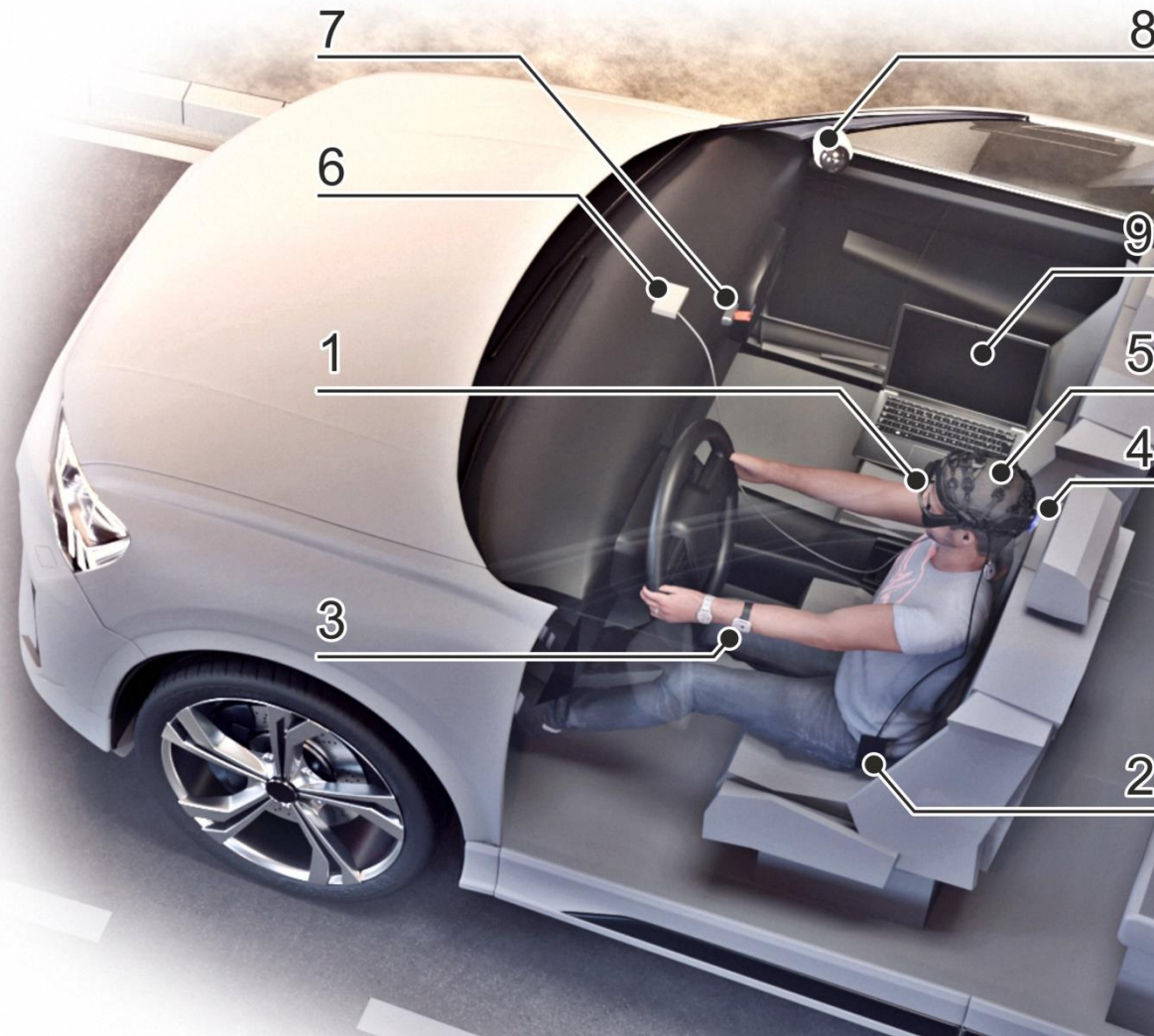


Схема Комплекса для исследования дорожных условий и ФС водителя в процессе вождения

1. **Сенсорные очки** – составная часть очков-айтрекера для регистрации направления взгляда водителя и других глазодвигательных параметров, а также для регистрации видеоизображения, соответствующего положению головы водителя. Исходные данные передаются по кабелю в носимый регистратор (2);
2. **Носимый регистратор** – составная часть очков-айтрекера. Обеспечивает расчёт направления взгляда, запись данных от глазодвигательной активности водителя на встроенную карту памяти, а также передачу данных по Wi-Fi на ПК. Опционально – встраиваемый модуль контроля координат и скорости перемещения автомобиля (см. стр. 14);
3. **Блок регистрации физиологических сигналов АБП-2 (ПОЛИ-2)**, включающих
 - кожную проводимость (КПр),
 - фотоплетизмограмму (ФПГ),
 - электрокардиосигнал (ЭКГ),
 - двигательную активность руки;
4. **Блок регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) – блок АБП-24 или блок АБП-36**, устанавливаемый на соответствующую модель нейрогарнитуры. Управление блоком АБП и передача данных на ИБ-АТ осуществляется по Bluetooth. Питание – от аккумуляторов;



5. **Нейрогарнитура** (пластиковая ПЭТ или тканевая эластичная ТЭШ) с количеством каналов ЭЭГ, соответствующим блоку АБП (4).
6. **Интерфейсный блок ИБ-АТ** обеспечивает телеметрическую передачу данных в ПК и обеспечивает синхронизацию этих данных с записью глазодвигательных реакций на карту памяти регистратора носимого очкового айтрекера путем передачи меток синхронизации в регистратор. Питание – аккумуляторное или от электрической сети автомобиля;
7. **Камера видеорегистратора, фиксирующая дорожную обстановку.** Подключается к ноутбуку исследователя по USB. Питание – от электрической сети автомобиля;
8. **Видеокамера видеорегистратора направленная в салон автомобиля и фиксирующая общий вид на водителя.** Подключается к ноутбуку исследователя по USB. Питание – от электрической сети автомобиля;
9. **Ноутбук исследователя** для контроля и хранения регистрируемых данных, а также для подробного анализа данных по окончании эксперимента.



Оборудование для регистрации глазодвигательной активности и направления взгляда водителя при вождении транспортного средства

Сенсорные очки – составная часть носимых очков-айтрекера



Носимые очки-айтрекер – это устройство, состоящее из сенсорных очков и носимого регистратора, закрепляемого на поясе, а также прикладного программного обеспечения для персонального компьютера, с помощью которого выполняется анализ глазодвигательной активности.

Устройство предназначено для регистрации динамики направления взгляда человека при его взаимодействии с реальным миром или искусственно организованной с помощью различных средств визуализации средой.

Встроенная в сенсорные очки «камера сцены» (см. 1 – выше переносицы, на уровне бровей) фиксирует окружение, которое видит зритель, с учетом его перемещения по залу и угла поворота его головы.

Два инфракрасных светодиода подсветки (3), расположенные в нижней части оправ очков-айтрекера, создают два блика на роговице, необходимые для расчёта направления взгляда.

Миниатюрные камеры (2), осуществляют видеозапись глаз зрителя (в том числе и бликов на роговице в ИК-диапазоне), и перемещений глаз при просмотре картины. Расчёт направления взгляда осуществляется на основе этой видеоинформации.

Микрофон, совмещённый с камерой сцены, записывает аудиоданные.

Все аудиовидеоданные передаются по кабелю (4) в носимый регистратор для записи и передачи на ПК рабочего места исследователя.

Узел подвеса (5) и обод (6) служат для надёжной и удобной фиксации очков-айтрекера на голове водителя.

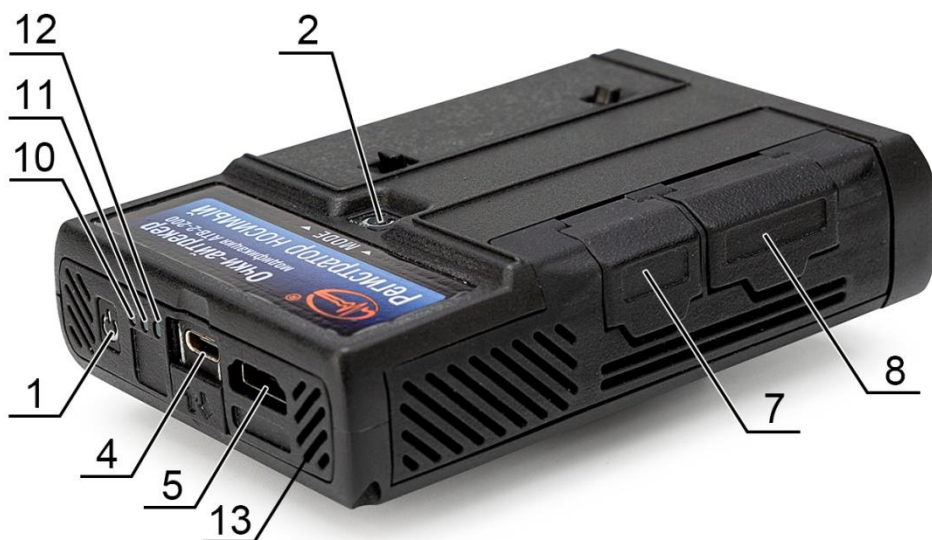
Принцип действия айтрекера основан на вычислении направления взгляда на основе данных обработки видеоизображения глаз, и проецирования его на соответствующий кадр камеры сцены. Для минимизации оптических помех съёмка глаз производится в инфракрасном (ИК) диапазоне с применением ИК подсветки. При помощи нейросети производится обнаружение и измерение параметров зрачка, вычисление направления взгляда с применением математической 3D модели глаз, определяется удаленность точки взгляда с учетом бинокулярности и компенсации параллакса.

Спецпроцессор, расположенный в носимом регистраторе очков-айтрекера (см. на следующей странице), рассчитывает направление взгляда на основе анализа видеопотоков глаз с выделением зрачков и роговичных бликов с помощью нейросети. Все эти данные записываются на карту памяти, встроенную в регистратор, и транслируются по Wi-Fi на ноутбук, находящийся в зоне радиодоступа Wi-Fi.

Трансляция данных по Wi-Fi позволяет исследователю непосредственно наблюдать процесс прохождения исследования с контролем того, что фиксирует «камера сцены» на сенсорных очках и как меняется направление взгляда водителя при выполнении им вождения.

Таким образом, очки-айтрекер с входящим в его комплект регистратором позволяют сохранить мультимедийные данные, отражающие видео- и аудиопотоки, сопровождающие процесс вождения, двигательную активность водителя, а также все расчетные данные, характеризующие траекторию изменения направления взгляда, объекты его зрительного внимания и дистанцию, на которой фокусировался его взгляд.

Носимый регистратор очков-айтрекера




1. кнопка  включения;
2. кнопка «Mode» (управление режимом калибровки и пользовательскими маркерами для отражения каких-то событий, на которые следует обратить внимание при обработке исследования);
3. кнопка «Recovery» восстановления системы;
4. разъём USB Type-C для подключения внешнего источника питания;
5. разъём HDMI для подключения сенсорных очков;
6. технологический разъём USB-Micro для обновления встроенного ПО и сервисного обслуживания;
7. отсек с разъёмом USB-A для подключения Wi-Fi адаптера;
8. отсек с разъёмом для установки SD карты памяти;
9. синхровход для организации научных экспериментов;
10. индикатор переключения режимов «Mode» (наличие соединения Wi-Fi);
11. индикатор статуса системы «SYS» (загрузка системы и уровень заряда аккумулятора);
12. индикатор записи на карту памяти «SD Card»;
13. динамик для подачи звукового сигнала подтверждения событий.



Фото сверху: Конструкция сенсорных очков для айтрекера реализована таким образом, что они могут беспрепятственно использоваться для людей, носящих свои коррекционные очки с диоптриями.

Фото справа: Кейс для транспортировки комплекта поставки очков-айтрекера АТВ-2, включающего в себя все необходимые компоненты (сенсорные очки, регистратор данных, зарядное устройство, целеуказатель калибровки).



Модуль контроля координат и скорости перемещения автомобиля в процессе вождения

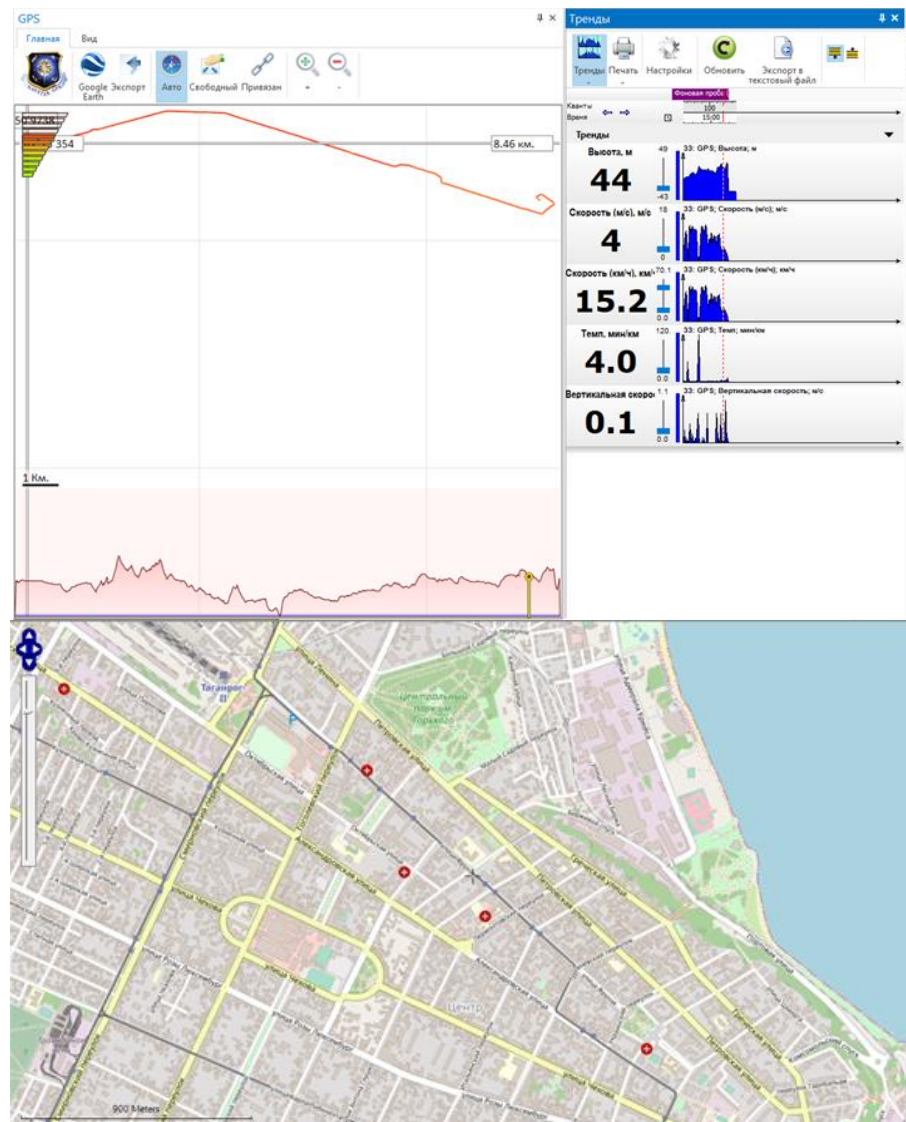
Регистратор очков-айтрекера может опционально комплектоваться встроенным модулем, обеспечивающим прием данных с глобальных навигационных систем – ГЛОНАСС, GPS, Galileo и пр. Модуль позволяет регистрировать изменяющиеся координаты, скорость (км/ч), темп (мин/км), скорость вертикального подъема или спуска (м/с).

На основе данных со встроенного модуля приема данных с ГЛОНАСС/GPS отслеживаются в отдельном окне «GPS» траектория движения автомобиля, накладываемая на карту с возможностью ее масштабирования, а также другие параметры (изменения по высоте над уровнем моря – нижний график).

Данные по месту положения автомобиля также синхронизированы с остальными мультимодальными данными регистрируемыми Комплексом КАПИ*. Справа вверху – пример варианта представления этих данных. В правой части показываются тренды расчетных показателей с модуля приема данных ГЛОНАСС/GPS в окне «Тренды».

Справа внизу – пример фрагмента карты, автоматически подгружаемой на основе записанных координат с GPS-датчика. На карту будет накладываться траектория движения автомобиля.

** Необходимость в точной синхронизации всех мультимодальных данных, в том числе и данных ГЛОНАСС/GPS, обуславливает необходимость применения только специализированного модуля из состава Комплекса КАПИ и невозможность применения сторонних устройств для регистрации данных ГЛОНАСС/GPS ввиду невозможности их синхронизации с остальными устройствами Комплекса КАПИ.*



Оборудование для регистрации физиологических сигналов и расчета нейрофизиологических и соматовегетативных показателей

Очки-айтрекер АТВ-2 могут работать в составе и в синхронном взаимодействии с Комплексом контроля и анализа психофизиологической информации КАПИ исполнения «Энцефалан-Next-24», или «Энцефалан-Next-36»ТУ 26.51.66-039-24176382-2022. Обеспечивается возможность работы как в телеметрическом режиме при наличии ПК в автомобиле, так и в автономном режиме при отсутствии ПК в автомобиле. Перед началом работы в автономном режиме осуществляется начальная инициализация исследования в телеметрическом режиме. Синхронизация данных от очков-айтрекера и физиологических данных водителя осуществляется с помощью NTP-сервера времени на ПК в телеметрическом режиме или по беспроводному каналу связи (bluetooth) с интерфейсным блоком ИБ-АТ при исследовании в автономном режиме.

Варианты комплектов комплекса КАПИ и их состав определяются целями и задачами Заказчика, проводящего исследования.

1. Комплекс КАПИ с очками-айтрекером для исследования функционального состояния водителей и дорожной обстановки. Обеспечивается сохранение видеоконтента, аудиопотока и результатов анализа в виде динамики координат направления взгляда водителя и его зрачковых реакций при вождении, включает в себя очки-айтрекер, **блок регистрации физиологических сигналов АБП-2 для контроля и анализа основных соматовегетативных показателей на основе физиологических сигналов из набора** – частота сердечных сокращений (ЧСС по сигналу ЭКГ), тоническая и фазическая компоненты кожной проводимости (по сигналу КПр), перфузионный индекс (Перфи по сигналу ФПГ), и пр., а также интерфейсный блок ИБ-АТ, необходимый для обеспечения автономно-телеметрической или телеметрической работы оборудования при регистрации физиологических сигналов. С блоком АБП-2 могут использоваться комбинированные датчики с дополнительным контролем параметров абдоминального и грудного дыхания и расчетом частоты дыхания (ЧД) и ее условной амплитуды (УАД). При необходимости расширения количества регистрируемых физиологических показателей может использоваться сочетание несколько блоков (АБП-2 и ПОЛИ-2) с разными типами комбинированных датчиков. Наличие данных о динамике изменения частоты сердечных сокращений (ЧСС), активации ВНС и эмоциональных реакций на основе кожной проводимости (КПр) и перфузионного индекса периферического кровотока на основе ФПГ повышает информативность проведенных исследований.

2. Комплекс КАПИ, исполнение «Эгоскоп-Next-24» или «Эгоскоп-Next-36» с очками-айтрекером для исследования функционального состояния водителей и дорожной обстановки, включает все, что входит в предыдущий вариант, но при этом его состав расширяется блоком регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) – блоком АБП-24 с возможностью регистрации многоканальной ЭЭГ по международной схеме 10-20 или блоком АБП-36, обеспечивающим регистрацию 32-канальной ЭЭГ. Блок регистрации ЭЭГ значительно расширяет информативность исследования благодаря дополнительным видам интерпретации исследования, основывающимся на нейрофизиологических метриках, таких как активация, вовлеченность, эмоциональная валентность, когнитивная нагрузка, утомление и пр.

Блок регистрации физиологических сигналов АБП-2

Используется для контроля эмоционального состояния и степени активации вегетативной нервной системы (ВНС) в процессе управления транспортным средством. Входит в комплекты вариантов 1 и 2.

Закрепляется на предплечье или запястье

Масса – 24 г,

Габариты – 54x45x15 мм.



Блок регистрации АБП-2 позволяет подключать различные датчики, как одиночные, так и комбинированные, для регистрации большого количества различных физиологических сигналов, в частности, кожной проводимости (КПр), фотоплетизмограммы (ФПГ), электрокардиограммы (ЭКГ), температуры, электромиограммы (ЭМГ), биполярной электроэнцефалограммы (ЭЭГ), двигательной активности и пр. На следующей странице приведены некоторые примеры таких датчиков.

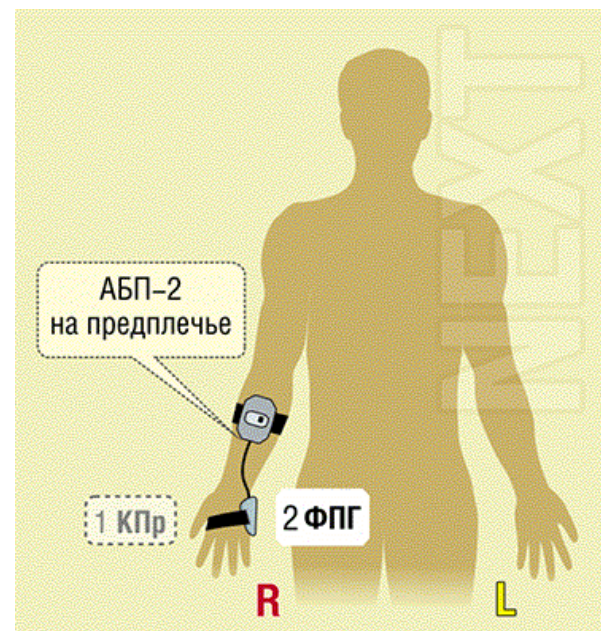
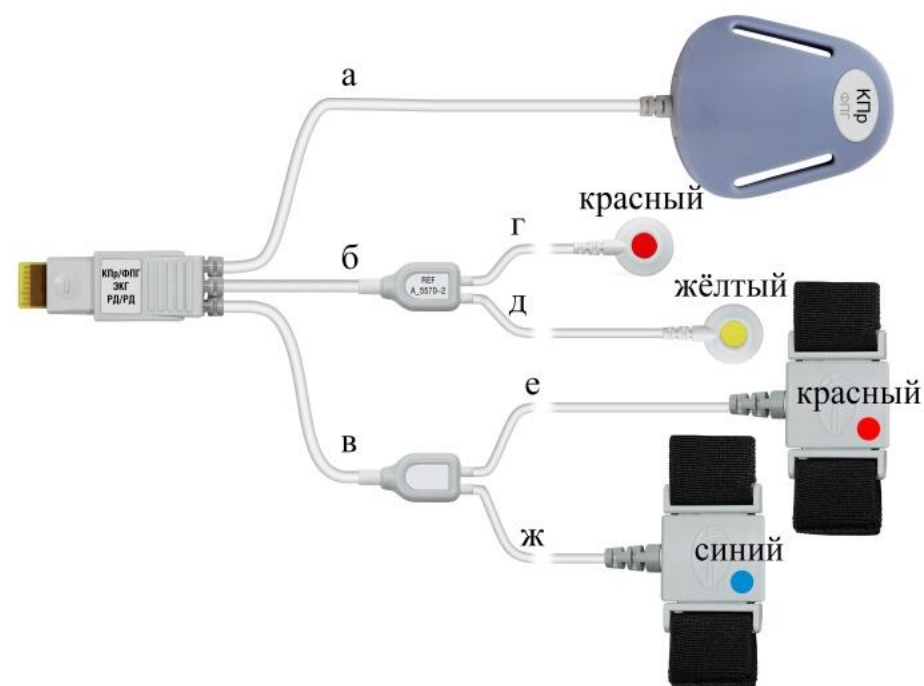


Рис. Вверху слева – вариант комбинированного датчика КПр/ФПГ, использующегося для регистрации параметров тонической и фазической составляющих кожной проводимости КПр и параметров ФПГ, отражающих хронотропный и сосудистый механизм регуляции (частота пульса, амплитуда пульсовой волны).

Рис. Вверху справа – схема установки датчика КПр/ФПГ.

Рис. Справа – комбинированный датчик для одновременной регистрации параметров тонической и фазической составляющих кожной проводимости КПр, параметров ФПГ, ЭКГ отражающих хронотропный и сосудистый механизм регуляции, а также для регистрации рекурсии абдоминального и грудного дыхания.



Блок АБП-24 и ЭЭГ нейрогарнитура Комплекса КАПИ исполнения «Энцефалан-Next-24»

В случае, если требуется расчет и анализ показателей вовлеченности, когнитивной нагрузки, эмоциональной валентности и пр., необходимо использовать регистрацию электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у водителя.

Справа – один из двух видов блоков регистрации ЭЭГ: блок базовый АБП-24 для регистрации ЭЭГ по схеме 10-20, 1-го канала ЭКГ, 2-х каналов ЭОГ, 1-го канала ЭМГ, 3D-акселерометрии. Масса модуля 71 г, габариты 65x61x20 мм.



Слева – пластиковая (ПЭТ) нейрогарнитура: конструкция, позволяющая размещать ЭЭГ электроды и блок АБП-24, а также изменять форму под размер головы взрослого водителя.

На фото слева блок АБП-24 виден в профиль, закрепленным ниже затылочной области.

На фото справа внизу – проверка качества установки на нейрогарнитуре хлорсеребряных ЭЭГ-электродов с твердотеловыми вставками.



Твёрдотеловые вставки позволяют избежать применения при исследованиях жидкого электродного геля (который может остаться на волосах у водителя и оставить негативное впечатление от исследования)



Блок АБП-36 и ЭЭГ нейрогарнитура Комплекса КАПИ исполнения «Энцефалан-Next-24»

На фото представлен внешний вид комплекта, в который входят 36-канальный блок АБП-36 (закреплён в затылочной области), эластичный тканевый шлем-нейрогарнитура (32 ЭЭГ-отведения) и очки-айтрекер с носимым регистратором для автономной регистрации глазодвигательных реакций.

В состав этого варианта Комплекса КАПИ входит интерфейсный блок ИБ-АТ с картой памяти для записи всех регистрируемых соматовегетативных и нейрофизиологических сигналов. Блок ИБ-АТ обеспечивает телеметрическую передачу данных в ПК и обеспечивает синхронизацию этих данных с записью глазодвигательных реакций на карту памяти регистратора носимого очков-айтрекера путем передачи меток синхронизации в регистратор.

Регистрация ЭЭГ по 32 каналам необходима в случае, если экспериментатора интересуют тонкие нюансы нейрофизиологических реакций водителя – более точное картирование зон мозговой активности, оценка «функциональной связанности» (например, с использованием когерентности) различных областей мозга в выбранных частотных диапазонах и более детальная пространственная динамика ЭЭГ.

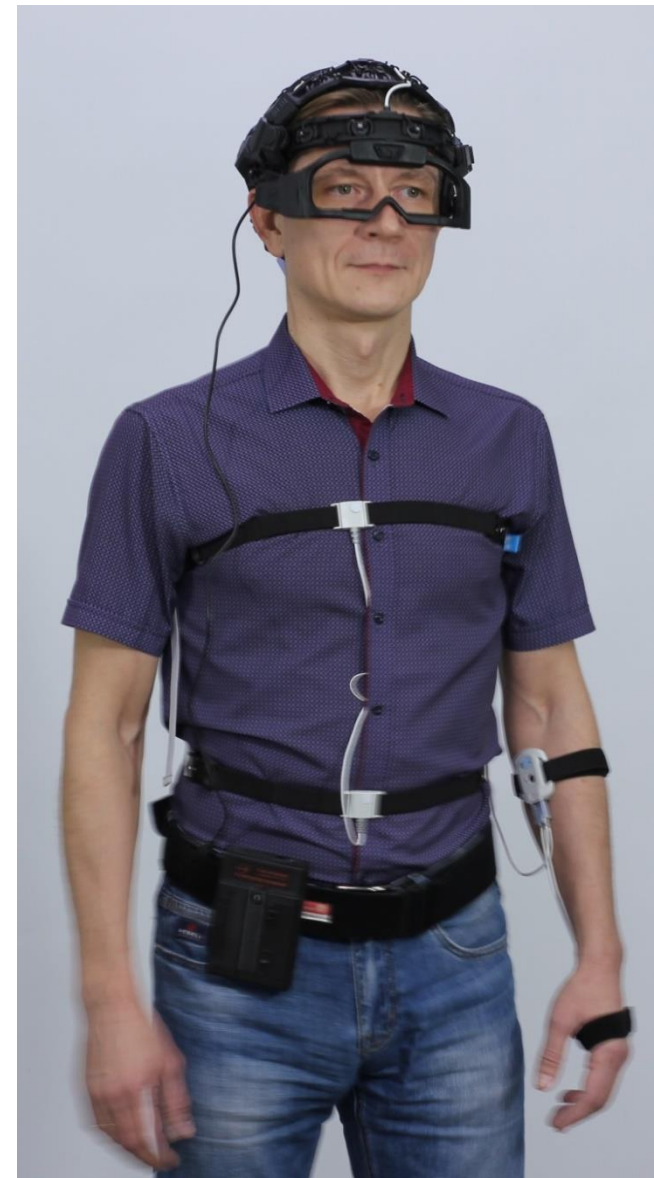
Очки-айтрекер разработаны таким образом, чтобы обеспечить комфорт водителя как при их самостоятельном применении, так и в комплекте с нейрогарнитурами.



Пример конфигурации съема глазодвигательной активности и физиологических данных с большим набором регистрируемых сигналов. Вид человека со всем установленным на него оборудованием для регистрации физиологических сигналов (ЭЭГ, ЭКГ, ФПГ, КПр, рекурсия дыхания, двигательная активность), глазодвигательной активности, контента с «камеры сцены» и звукового потока с микрофона приведен на рисунке справа.

Исследования с мультимодальным набором данных обеспечивают наиболее всеобъемлющую стратегию для раскрытия сложной природы человеческого поведения и восприятия (в данном варианте использования речь идет о восприятии ситуации на дороге, дорожных знаков, приборных панелей автомобиля, изображение с боковых зеркал и зеркала заднего вида).

Объединение разнообразных потоков данных позволяет учесть большее количество факторов, отражающих функциональное состояние человека.



Использование Комплекса КАПИ с тренажерами-симуляторами

Комплекс КАПИ может использоваться не только в процессе реального вождения на транспортном средстве, но и в составе автотренажеров-симуляторов. Различные производители выпускают автотренажеры с открытой компоновкой и кабинные тренажеры, ориентированные на различные категории транспорта и техники: легковые автомобили, грузовые автомобили, общественный транспорт, сельскохозяйственная техника, лесозаготовительная техника, горнодобывающая техника, строительная техника, грузоподъемные механизмы, тренажеры для АЭС и пр.

Автотренажер легкового автомобиля с открытой компоновкой от компании Forward, предназначенный для обучения в автошколах водителей на категорию «В».

Экран с диагональю 65 сантиметров: 3 штуки;

Обратная связь руля: механическая;

Панель приборов: виртуальная;

КПП: совмещенная автоматическая и механическая;



Тренажер-симулятор со спецсигналами от компании Forward, предназначен для обучения в автошколах водителей на категорию «В».

Экран с диагональю 139 сантиметров: 3 штуки

Обратная связь руля: Электроусилитель

Панель приборов: Оригинальная

Пульт инструктора

Совмещенная автоматическая и механическая КПП

Ориентировочные габариты тренажера в развернутом виде (ДхШхВ), м: 1,6*2,7*1,5

Ориентировочный вес тренажера, кг: 320



Статический тренажер Forward на базе кузова легкового автомобиля ВАЗ. Имеет оригинальную кабину автомобиля ВАЗ, 3 проекционных экрана с проекторами, 3 экрана с диагональю 54 см, обратную связь руля (электроусилитель), оригинальную приборную панель, совмещенную автоматическую и механическую коробку передач, место инструктора, пульт инструктора, систему видеонаблюдения и пр.



Проведение исследования и анализ данных

Подготовка к проведению исследования

Подготовка к проведению исследования заключается в том, что на водителя устанавливается оборудование, требуемое для регистрации мультимодальных данных:

- **очки-айтрекер**, включающий в себя сенсорные очки и регистратор, фиксирующие глазодвигательную активность, видеопоток с камеры «сцены», видеопоток глаз, аудиозапись с микрофона;
- **блок регистрации ЭЭГ** в сочетании с нейрогарнитурой или специальной электродной шапочкой;
- **модули регистрации физиологических сигналов** вегетативной и кардиореспираторной систем, к которым подключаются комбинированные датчики, требуемые для проведения исследования;

Инструктор, находящийся на пассажирском сидении, проверяет работоспособность всех компонентов системы на ноутбуке. В частности, наличие связи с беспроводными устройствами, уровень их зарядки, качество установленных датчиков и электродов, адекватность регистрируемых физиологических сигналов, наличие видеопотоков, отражающих вид от «камеры сцены», вид глаз с выделяемыми зрачками и роговичными бликами, запись и воспроизведение звука с микрофона сенсорных очков, наличие видеопотока с видеорегистратора, отражающего дорожную обстановку. После чего можно начинать исследование.

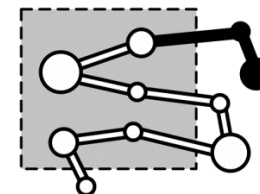


Расчетные показатели глазодвигательной активности и визуализационные методы анализа

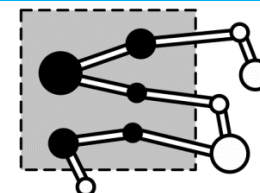
Расчетные показатели фиксации взгляда

В правом столбце отражены мнемосхемы параметров, показывающие условные «зоны интереса» (пунктирным прямоугольником), фиксации (кружки разного диаметра) и саккады (линии, соединяющие кружки). В случае использования Комплекса для исследования ФС водителя и дорожной обстановки в качестве «зон интереса» используются области видеоконтента, выделяющие границы дорожных знаков, светофоров, приборных панелей, боковых зеркал, зеркала заднего вида и пр.

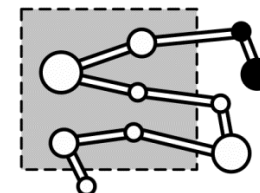
Время до первой фиксации (Time to first fixation) показывает время, затрачиваемое зрителем от начала появления зрительного стимула в области просмотра камеры сцены до начала перемещения взгляда на этот стимул.



Количество фиксаций в определенной зоне (Fixation count) — сколько раз водитель возвращался взглядом (с наличием события фиксации) в данную зону интереса. Количество фиксаций в зоне интереса отражает степень важности для водителя контента, соответствующего этой зоне.

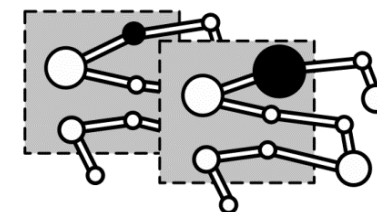


Количество фиксаций, которое было зарегистрировано до того, как появилась первая фиксация в выделенной зоне интереса (Fixations Before), находится в обратной корреляции со степенью заметности стимула в анализируемой зоне интереса.

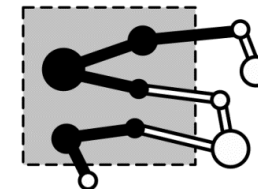


Длительность первой фиксации, которая показывает не только, насколько целевой стимул заметен, но и насколько он занимает внимание водителя. Сочетание короткого промежутка до первой фиксации и длительной первой фиксации говорит о высокой заинтересованности водителя в информации, находящейся в данной области.

Короткая длительность 1-й фиксации (слева),
высокая длительность 1-й фиксации (справа)

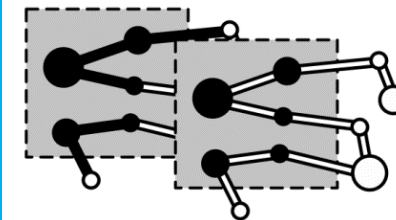


Суммарная длительность фиксации связана с семантикой рассматриваемой зоны интереса. Характерно удлинение суммарной длительности для зон, содержащих высокоинформативные объекты или объекты, динамично изменяющиеся в ходе экспозиции.



Средняя длительность фиксации в зоне интереса — это отношение суммарной длительности фиксации к количеству фиксаций в этой же зоне интереса. Средняя длительность несет ту же смысловую нагрузку, что и суммарная длительность и характеризует степень зрительного интереса к объекту, соответствующую этой зоне.

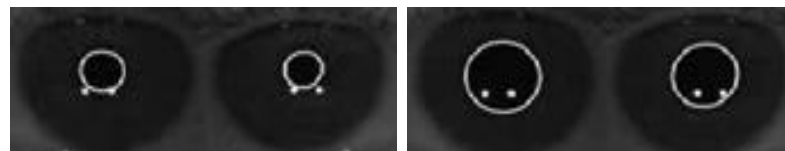
Отношение общей длительности (слева) к количеству фиксаций (справа).



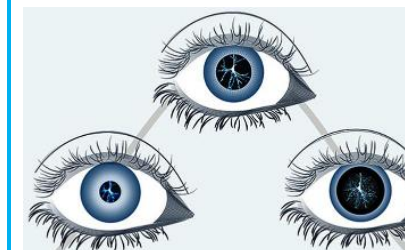
Частота моргания (ЧМ), чувствительная к зрительной нагрузке, является ценным инструментом когнитивной оценки. Чем важнее визуальная информация для водителя, тем более вероятно, что будет подавляться моргание, т.е. снижение ЧМ коррелирует с вовлеченностью в процесс получения информации. ЧМ обычно падает, когда человек воспринимает новую важную информацию или концентрируется. Отрицательные или положительные эмоции заставляют человека мигать чаще (при стрессе) или реже соответственно.



Диаметр зрачков глаз связан с большим количеством факторов, в том числе, с уровнем освещения, сложностью выполняемых заданий, коррелирует с когнитивной нагрузкой и эмоциональным состоянием. Диаметр зрачка увеличивается с повышением когнитивной нагрузки и усилением эмоциональных реакций.



Пример увеличения диаметра зрачков:



Комплекс обеспечивает документирование всех процессов, все потоки данных синхронизированы между собой и в любой момент времени отражают согласованную информацию, относящуюся к выбранному временному фрагменту.

На изображении показано содержимое видеопотока с «камеры сцены», встроенной в сенсорные очки.

Дополнительно на этот видеопоток накладывается траектория перемещения направления взгляда (Raw Path) – левого (голубые точки) и правого (розовые точки) глаз водителя. Взгляд перемещается с ближайшего автомобиля в правом ряду на правое боковое зеркало заднего вида.

Данные от очков-айтрекера используются для расчета параметров **глазодвигательной активности (ГДА)**, учитываемых при оценке функционального состояния (ФС) человека.

Водитель с установленным оборудованием ведет транспортное средство. Данные глазодвигательной активности сохраняются на карте памяти регистратора очков-айтрекера и могут транслироваться по WiFi на ноутбук, находящийся в машине.



Визуализационные методы оценки распределения зрительного внимания водителя в процессе вождения транспортного средства

Визуализационные методы анализа глазодвигательной активности характеризуют распределение зрительного внимания водителя на выбранном фрагменте записи.

Справа – примеры распределения зрительного внимания водителя при использовании метода **Scan Path**. Линиями показаны скачкообразные изменения направления взгляда (саккады), диаметр окружностей пропорционален времени фиксации взгляда в этой области, а цветовой оттенок окружностей отражает время с учетом перемещения взгляда (более темные оттенки соответствуют предыстории, а более светлые – текущему).

Справа сверху – на анализируемом временном интервале зрительное внимание водителя перемещалось с левого бокового зеркала заднего вида на дорогу и идущие впереди автомобили.

Справа внизу – Перемещение взгляда водителя (с использованием метода Scan Path) с навигатора на переднюю машину.





Распределение зрительного внимания водителя между передней машиной и светофором с помощью визуализационного метода «тепловых карт» (Heat Map).

Желто-красные оттенки цвета соответствуют максимальной длительности фиксации взгляда в этой области.



Распределение зрительного внимания водителя между передней машиной и светофором с помощью визуализационного метода «туманных карт» (Fog Map).

Прояснение «тумана» с более явным представлением изображения отражает повышение зрительного внимания в соответствующих областях изображения.

Пример динамики распределения зрительного внимания водителя с использованием визуализационного метода траектории взгляда левого и правого глаза (сверху) и «тепловых карт» (снизу): последовательное перемещение взгляда с передней машины, поворачивающей направо, на встречную машину, после чего на дорожные знаки:

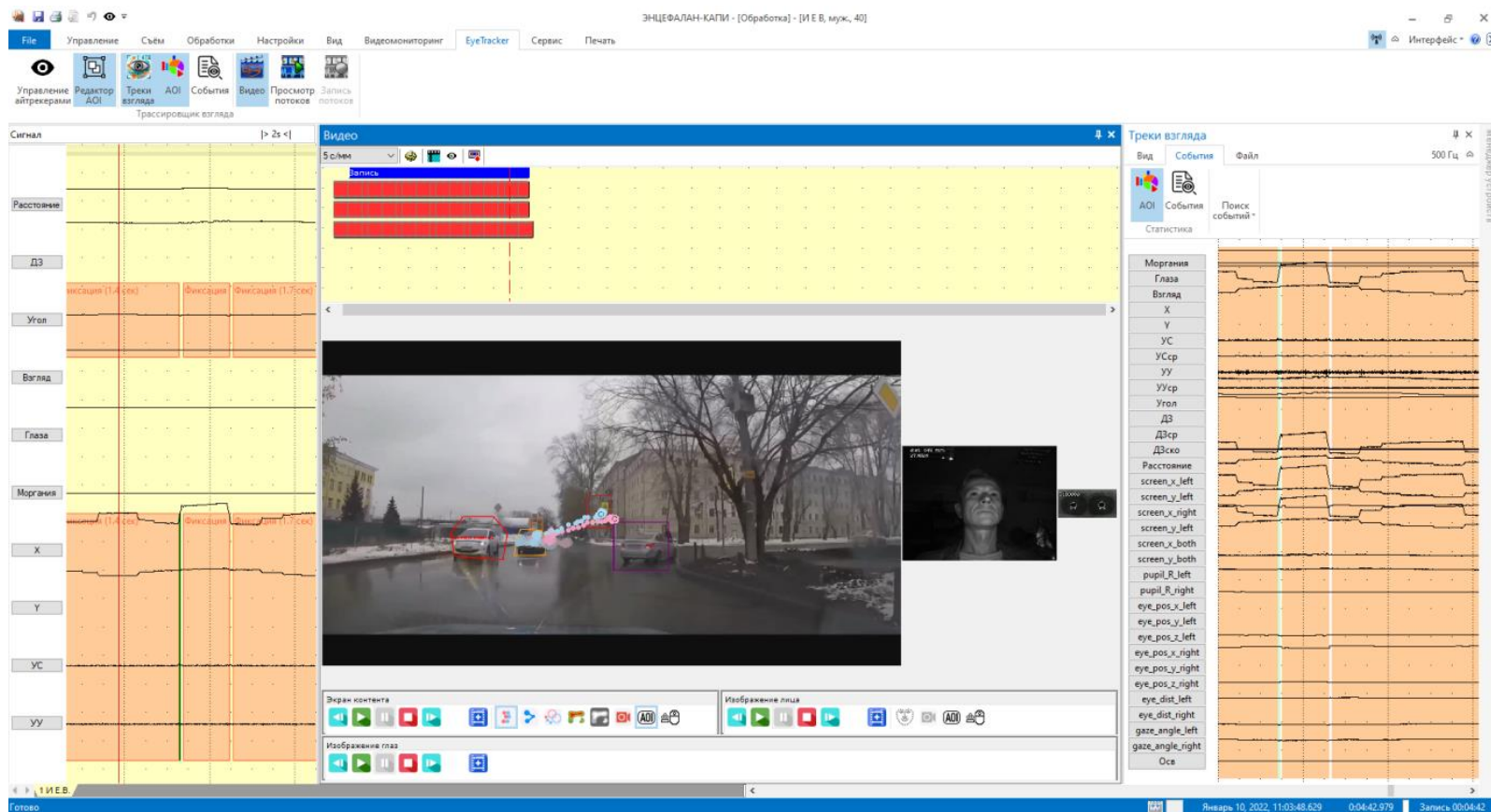


Интерфейс ПО «Энцефалан КАПИ».

Визуализация и анализ различных типов мультимодальных данных

Данные глазодвигательной активности и видеопотоков

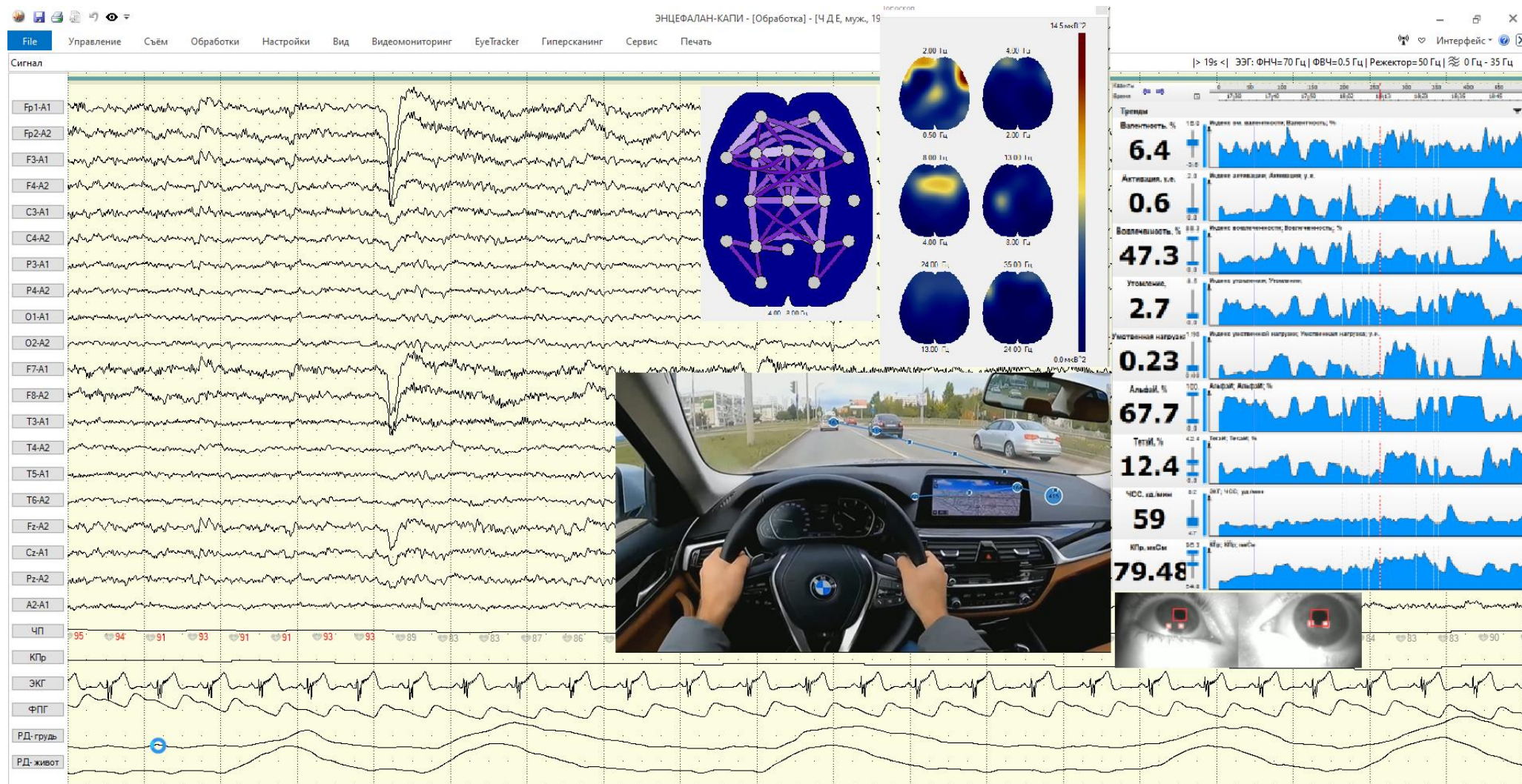
На скриншоте показываются сигналы глазодвигательной активности, включающие динамику координат направления взгляда водителя, скорости перемещения взгляда, морганий и пр. Кроме этого показываются видеопотоки контента (того, что видит водитель и то, что фиксируется «камерой сцены»), лица и глаз водителя.



Программное обеспечение предоставляет возможность формирования видеороликов, отражающих видеопоток с «камеры сцены» носимого айтрекера с наложенными результатами визуализационного анализа глазодвигательной активности (направление взгляда Raw path, ScanPath, тепловые и туманные карты Heat Map Fog Map). Примеры сформированных видеороликов доступны по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/fd-3NBXP-FsWmQ>.

Визуализация физиологических данных, трендов расчетных показателей, видеопотоков и некоторых результатов обработки

На скриншоте представлен пример представления входных данных и результатов обработки. В данном примере на сигнальное окно с физиологическими сигналами накладываются тренды нейрофизиологических и соматовегетативных показателей, результаты спектрального топографического картирования, карты функциональной связанности по когерентности, видео с «камеры сцены» и глаз водителя:



Разметка «зон интереса» с характерными образами, специфичными для процесса вождения для последующего анализа и статистической оценки нахождения взгляда в этих зонах

Разметка «зон интереса» (AOI) осуществляется с помощью режима «Редактор AOI». В качестве «зон интереса» могут выделяться дорожные знаки, приборная панель, зеркала заднего вида, встречные или обгоняющие машины и любые другие объекты, попадающие в поле зрения водителя.

Имя зоны интереса	Начало	Длитель...	Теги
Впередидущая машина	05m:03s	8170	Впередидущая машина
Встречная машина 1	05m:05s	5892	Встречная машина
Встречная машина 2	05m:05s	3520	Встречная машина
Дорожные знаки справа	05m:06s	9490	Группа знаков
Дорожные знаки слева	05m:06s	10900	Пешеходный переход

В нижней части показывается панель AOI Diagram, представляющая временные параметры «зон интереса» и их пересечение во времени.

Визуализация мультипараметрических данных, нейрофизиологических метрик и соматовегетативных показателей

Программа может показывать и экспортировать в доступный формат тренды физиологических показателей. Расчет показателей может быть определен исследователем с помощью формул с арифметическими выражениями, отражающие, например, коэффициенты асимметрии, активации, вовлеченности и т.д.:

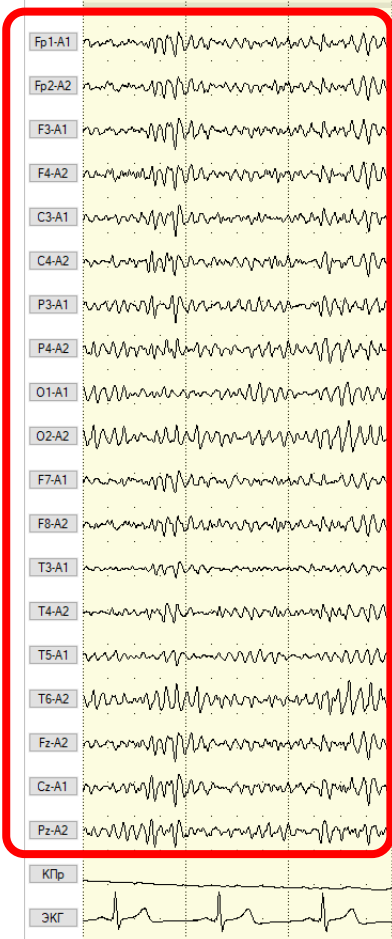
- индекс эмоциональной валентности;
- индекс активации;
- индекс вовлеченности;
- индекс умственной нагрузки;
- альфа-индекс ЭЭГ по выбранным отведениям;
- тета-индекс ЭЭГ по выбранным отведениям;
- частота сердечных сокращений (ЧСС);
- кожная проводимость тоническая (КПр);
- кожная проводимость фазическая (КПр_Фаз);
- амплитуда систолической волны (АСВ) ФПГ;
- перфузионный индекс (Перфи) ФПГ;
- частота дыхания (ЧД);

Показатели могут быть представлены исходными и сглаженными для акцентирования тенденций изменений.



Пример визуализации ЭЭГ-данных от блока регистрации АБП-24. Нейрофизиологические метрики: ЭЭГ, Индекс вовлеченности

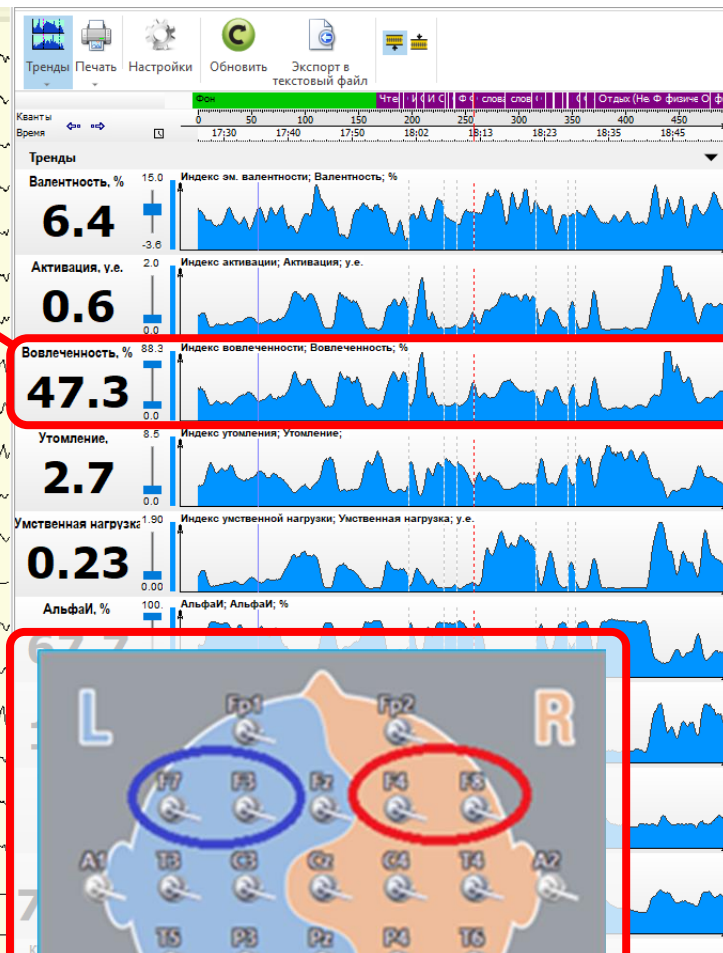
Высокое временное разрешение ЭЭГ позволяет использовать ее для обнаружения и исследования косвенных признаков различных эмоциональных и когнитивных процессов, возникающих в связи с некими внешними или внутренними стимулами или событиями



Вовлеченность (ЭЭГ индекс вовлеченности, Engagement Index)

коррелирует с требованиями задачи, включая уровень и сложность сенсорной обработки стимулов и потребность в распределении ресурсов внимания. Этот индекс коррелирует с нагрузкой в простых задачах на бдительность и память, а также в более сложных задачах моделирования.

Расчет индекса вовлеченности использует отношение спектральной мощности ЭЭГ в диапазонах бета-1 к сумме альфа и тета мощности в ЭЭГ-отведениях фронтальной коры – $(\beta / (\alpha + \theta))$. Одним из вариантов отведений, хорошо коррелирующим с уровнем устойчивого внимания при выполнении задачи считается вариант, включающий в себя отведения F3, F4, F7, F8.

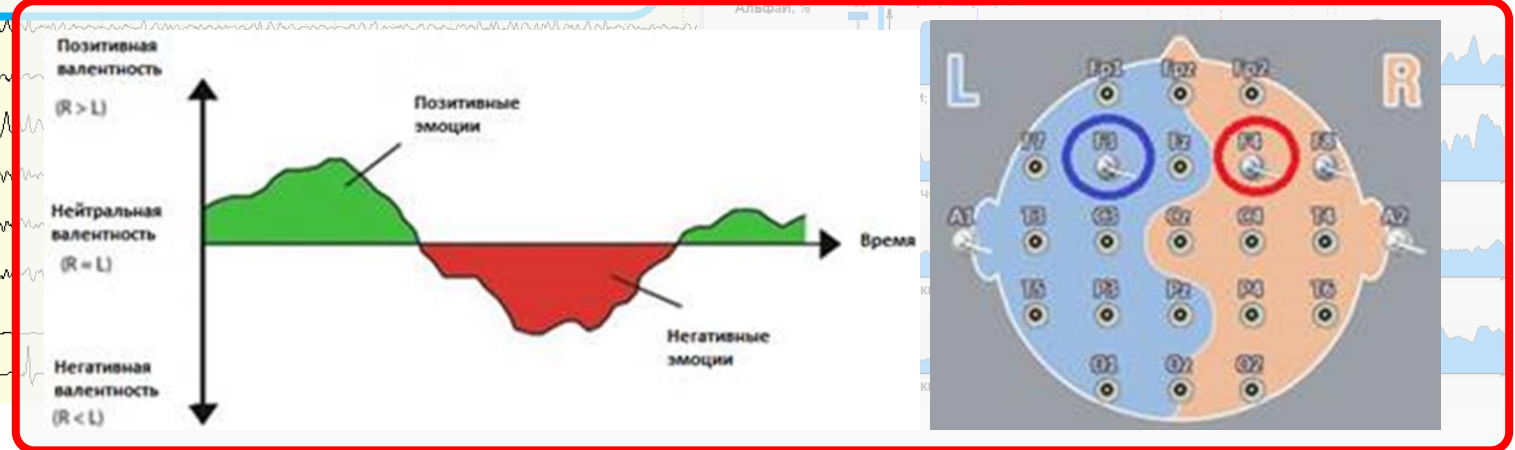
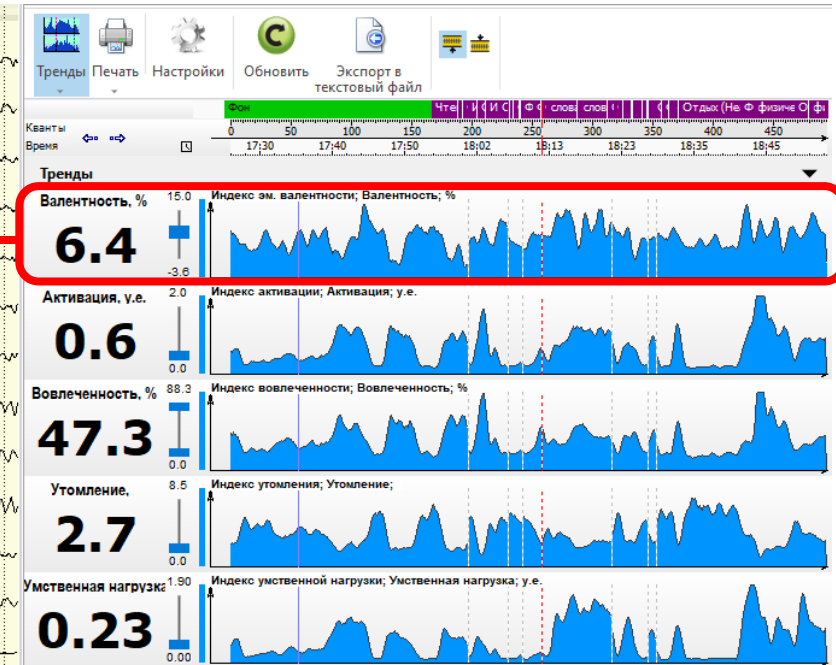


Пример визуализации ЭЭГ данных от блока регистрации АБП-24. Нейрофизиологические метрики: Индекс валентности

Эмоциональная валентность (ЭЭГ индекс валентности, Valence)

отражает эмоциональную окраску состояния человека при просмотре картин и оценивается по функциональной асимметрии ЭЭГ фронтальной коры.

Валентность варьируется от позитивной к негативной и характеризует степень эмоционального «притяжения» (смещение валентности в сторону положительных значений) или «избегания» (смещение валентности в сторону отрицательных значений). Согласно модели «фронтальной асимметрии ЭЭГ» (Davidson, 1983, 1993, 1998) повышение активации левой префронтальной активности связано с положительными эмоциями, повышение активации правой префронтальной активности связано с отрицательными эмоциями (беспокойство, тревога), что подтверждается данными ЭЭГ и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).



Пример визуализации ЭЭГ данных от блока регистрации АБП-24. Нейрофизиологические метрики: активация, индексы спектральной мощности

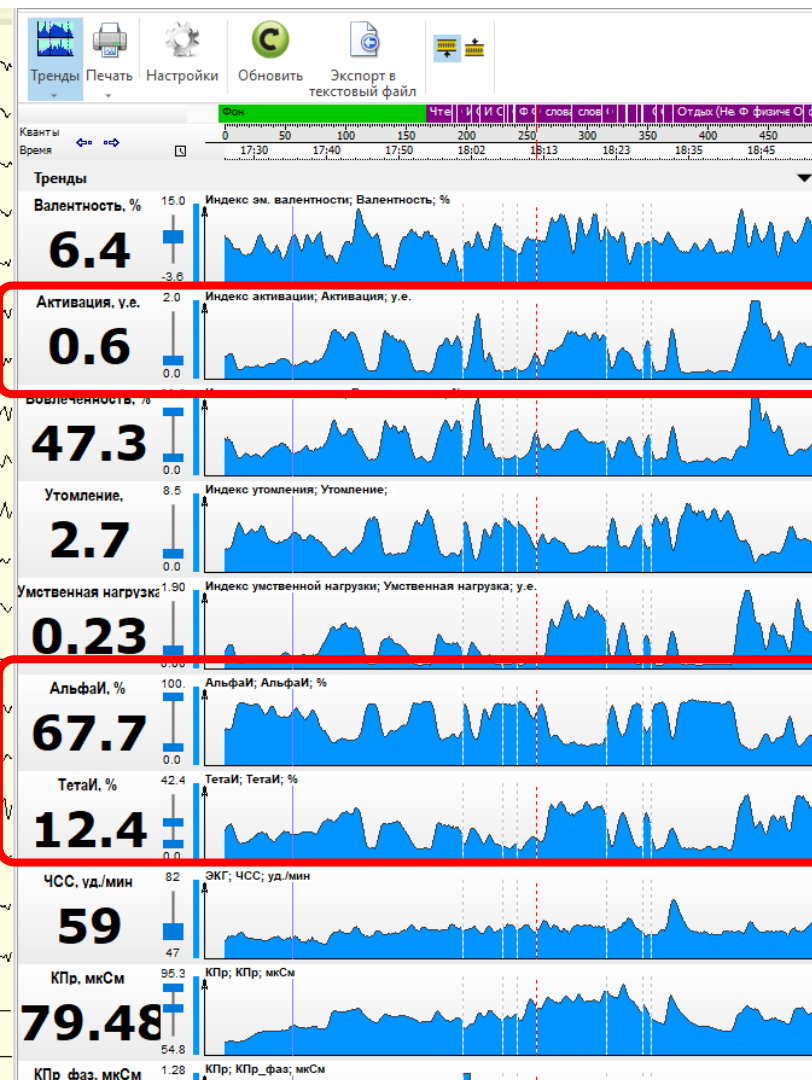
«Индекс активации» («Activation Index»)

рассчитывается как отношение β/α . Повышение бета-1 коррелирует с корковыми процессами, такими как выполнение когнитивной деятельности, активация зрительной системы, активность планирования движения и другие корковые функции, в основном связанные с состоянием внимания. Наоборот, увеличение альфа коррелирует со снижением внимания и бдительности.

ЭЭГ-индексы спектральной мощности

отображаются по стандартным частотным диапазонам (дельта, тета, альфа, бета-1, бета-2) или по произвольно заданным частотным диапазонам, а также составных показателей, которые пользователь может самостоятельно формировать в виде формул с арифметическими операциями.

Примерами составных ЭЭГ-показателей могут быть коэффициенты асимметрии по выбранным отведениям и частотным диапазонам, отношение ритмов (например, бета-1/тета).



Пример визуализации ЭЭГ данных от блока регистрации АБП-24. Нейрофизиологические метрики: утомление, когнитивная нагрузка

Утомление ЭЭГ «индекс утомления» «Индекс утомления» («Mental fatigue index»)

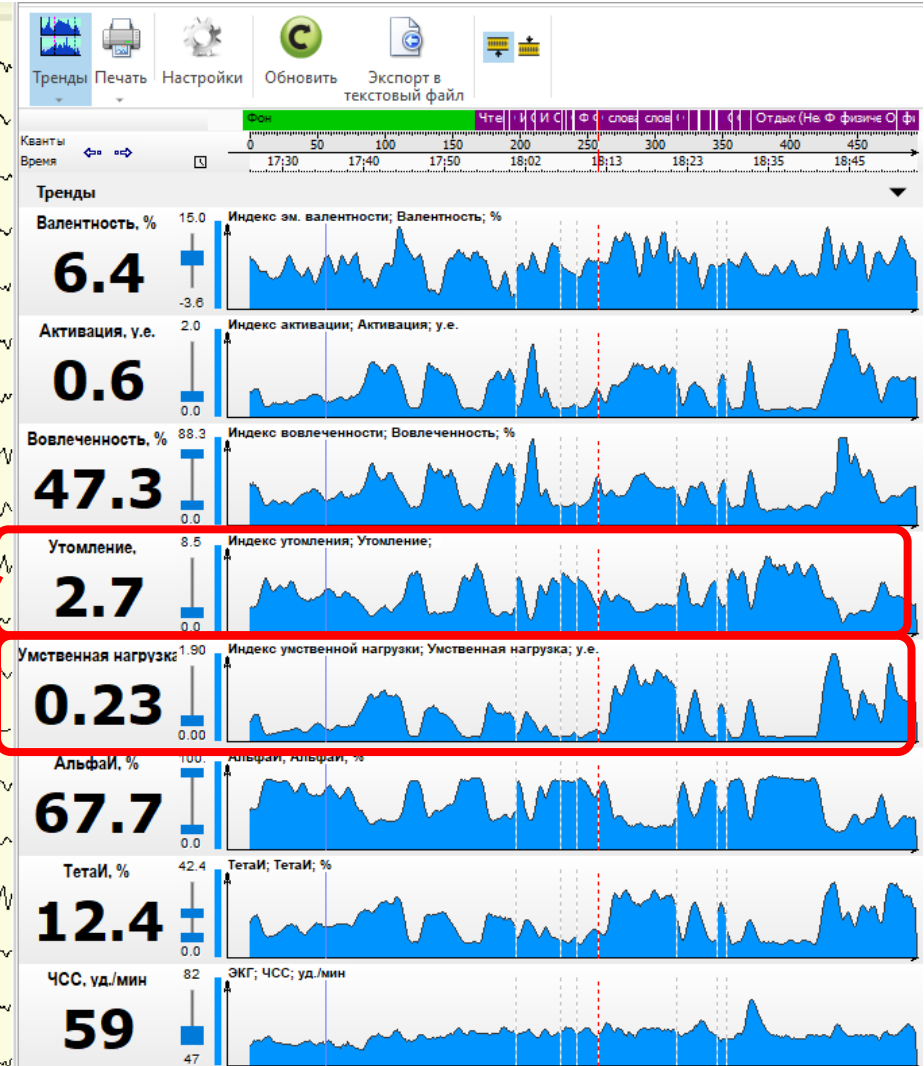
отражает уровень умственного утомления человека в процессе выполнения какой-то деятельности, в данном случае при вождении автомобиля.

Один из вариантов используемых формул расчета индекса утомления: отношение суммы альфа и тета к бета-1: $(\alpha + \theta) / \beta - 1$.

Когнитивная нагрузка ЭЭГ «индекс умственной нагрузки»

«Индекс умственной нагрузки» («Mental workload index») коррелирует с уровнем когнитивной обработки, связанной с задачами, включающими исполнительную функцию, рабочую память и аналитическое мышление. Один из вариантов расчетной формулы когнитивной нагрузки, описанный в литературе:

$$\text{Индекс умственной нагрузки} = \frac{\text{Тета-индекс (F3)} + \text{Тета-индекс (F4)}}{\text{Альфа-индекс (T5)} + \text{Альфа-индекс (T6)}}$$



Пример визуализации соматовегетативных данных от полиграфических блоков регистрации (Поли-2, Поли-8). Показатели ЭКГ и РД.

Частота сердечных сокращений (ЧСС по сигналу ЭКГ)

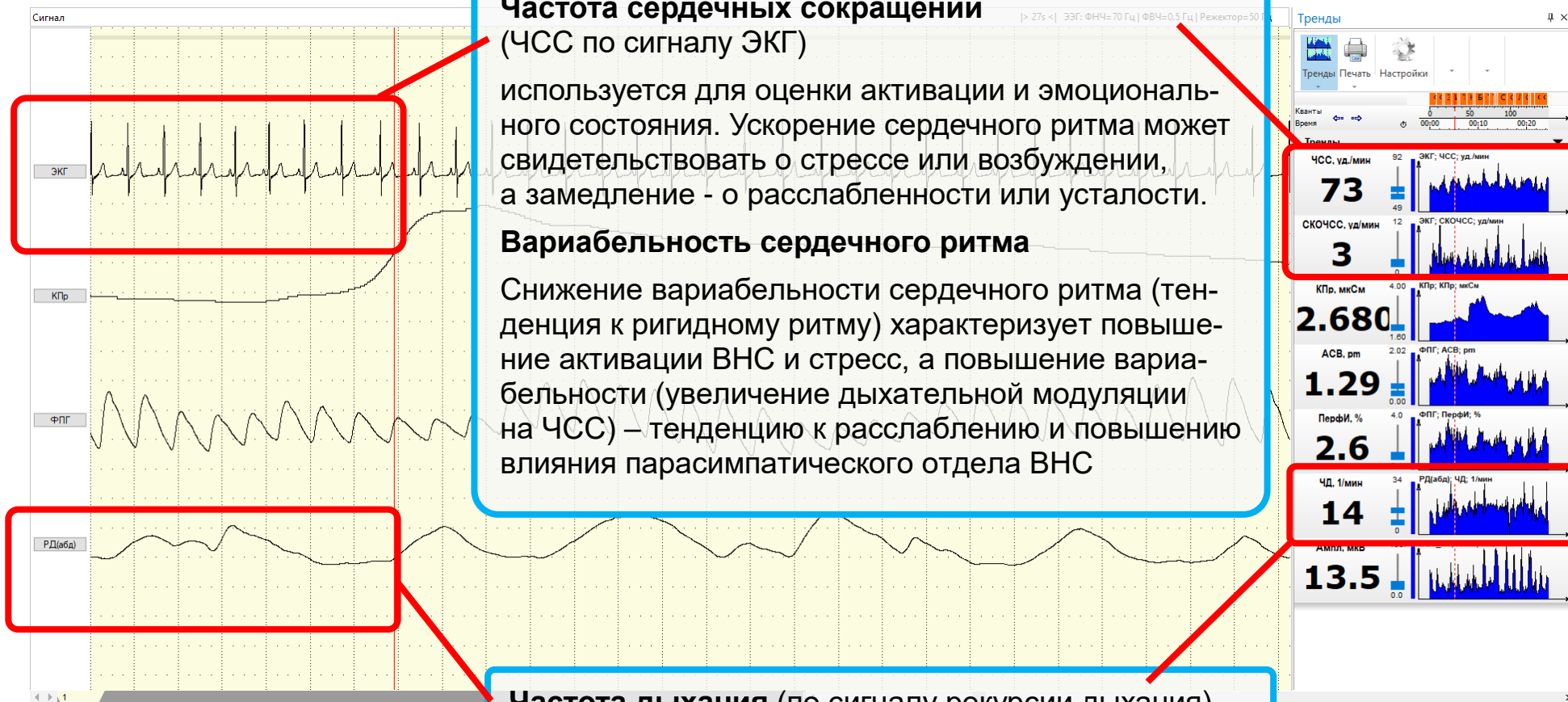
используется для оценки активации и эмоционального состояния. Ускорение сердечного ритма может свидетельствовать о стрессе или возбуждении, а замедление - о расслабленности или усталости.

Вариабельность сердечного ритма

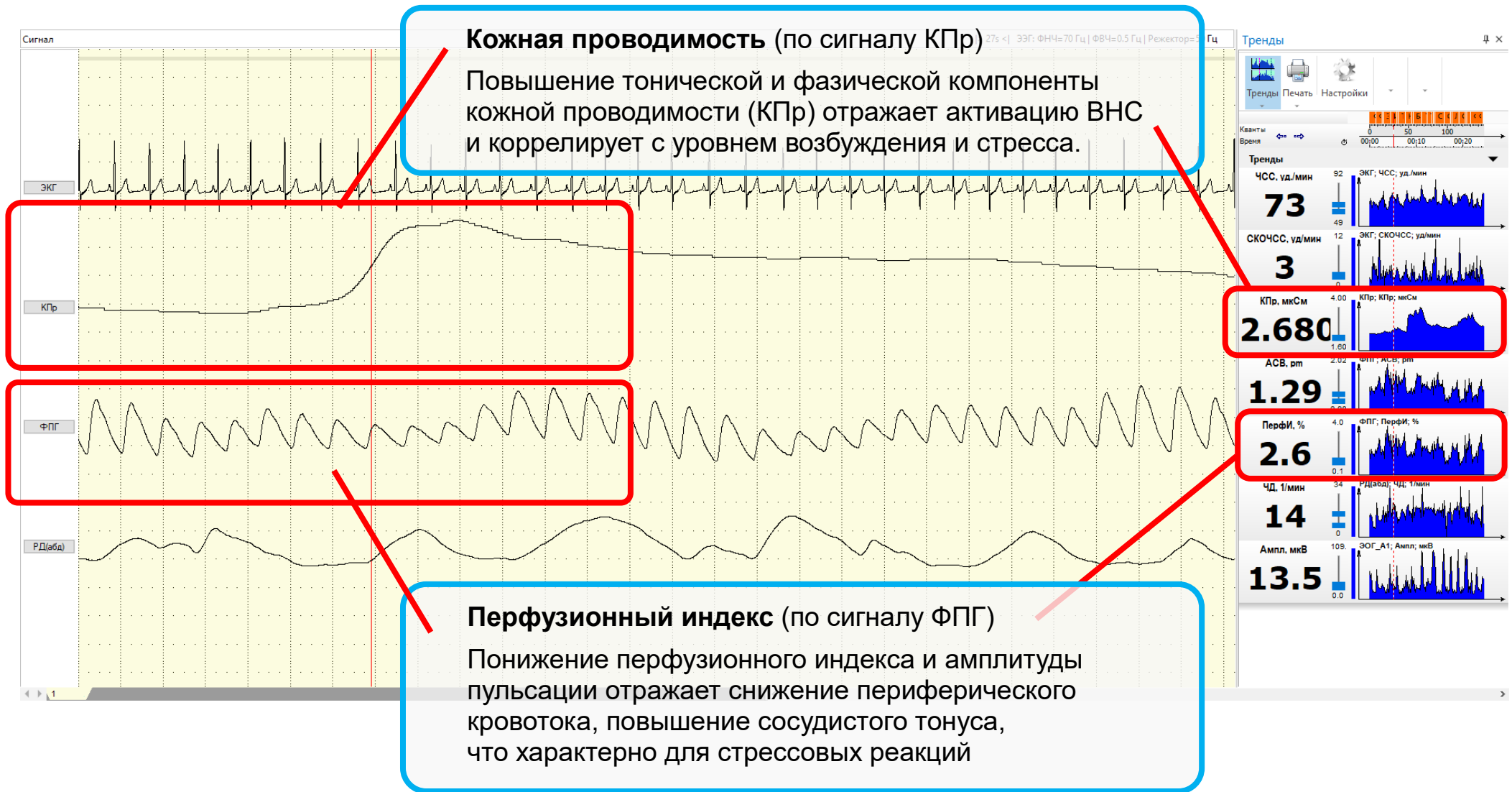
Снижение variability сердечного ритма (тенденция к ригидному ритму) характеризует повышение активации ВНС и стресс, а повышение variability (увеличение дыхательной модуляции на ЧСС) – тенденцию к расслаблению и повышению влияния парасимпатического отдела ВНС

Частота дыхания (по сигналу рекурсии дыхания)

отражает метаболические потребности, коррелирует с когнитивной и эмоциональной нагрузкой.



Пример визуализации соматовегетативных данных от полиграфических блоков регистрации (Поли-2, Поли-8). Показатели КПр и ФПГ.



Некоторые примеры отчётных форм

Отчет с перечнем автоматически детектированных глазодвигательных событий, их привязкой ко времени и к «зонам интереса», заданным на видеоконтенте

Слева – статистика по автоматически детектированным глазодвигательным событиям (моргания, фиксации, саккады) на анализируемом интервале времени с указанием абсолютных значений (количества событий) и относительных значений (в %).

Справа – таблица с хронологической последовательностью событий, времени их появления, длительности событий, частоте событий в минуту, локализация фиксации, принадлежность к какой-либо «зоне интереса», в проекции которых эти события проявлялись:

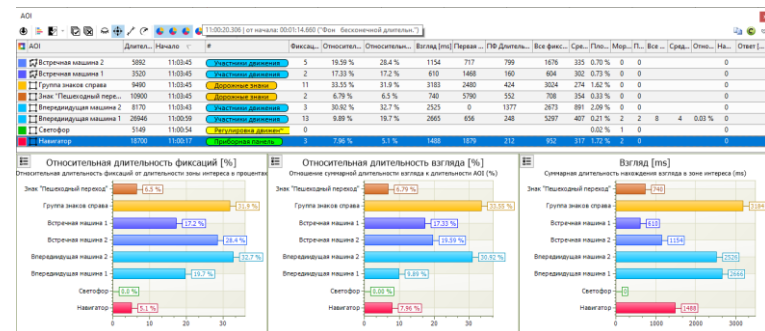
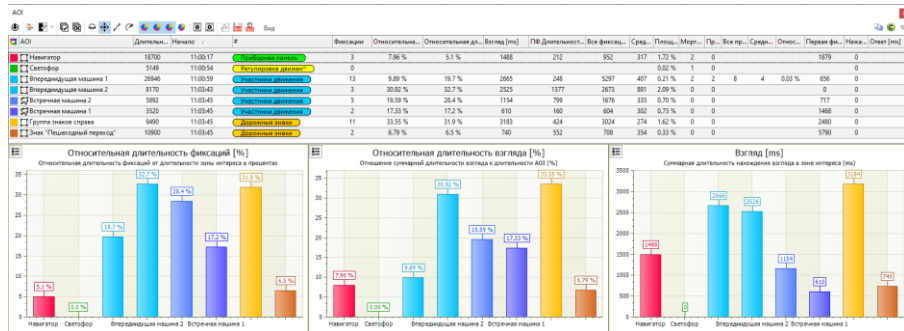
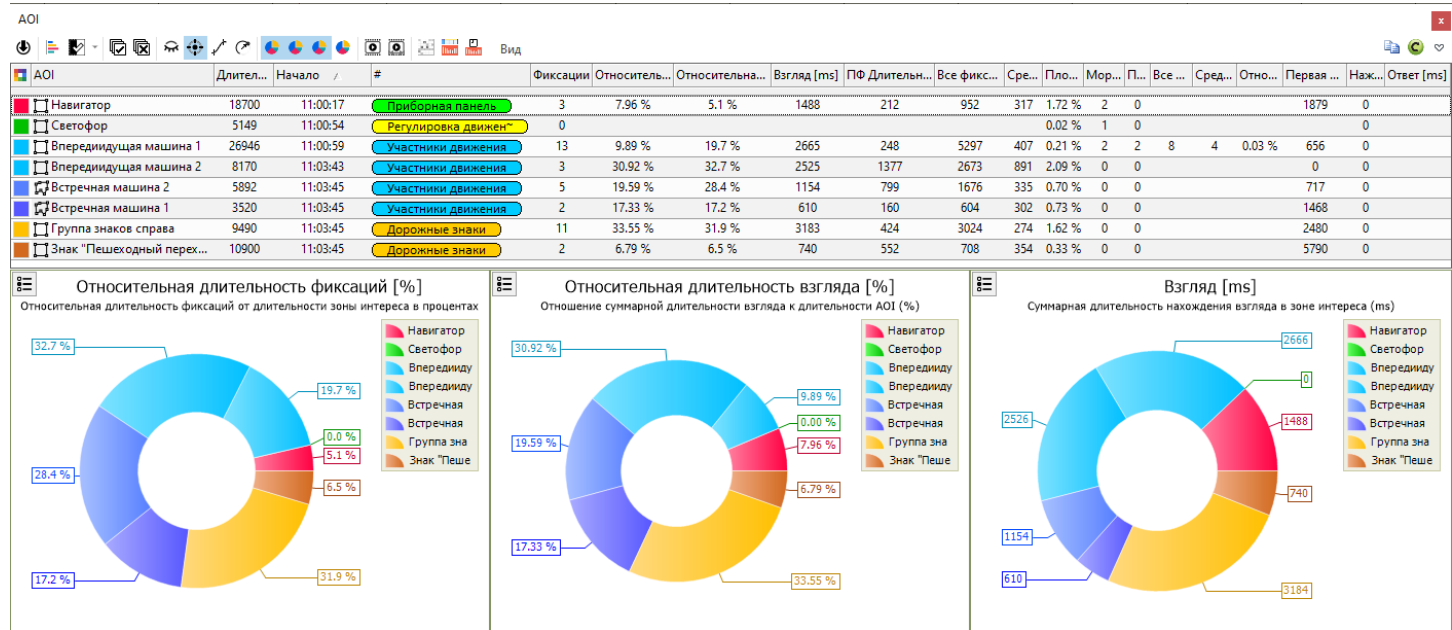
Статистика по событиям						#	Событие	Начало	Длительность	Частота	Центр фиксации	Сигма, фиксации	AOI	Прослуж...	Прослежив...
• Моргание	43 шт	6.8%	60 ms	189 ms	368 ms	559	Моргание	11:03:41.660	236 ms	6					
• Фиксация	360 шт	57.1%	92 ms	722 ms	3764 ms	560	Фиксация	11:03:41.940	128 ms	73	(918, 664)	3.301			
• Саккада	228 шт	36.1%	16 ms	33 ms	76 ms	561	Моргание	11:03:42.064	212 ms	7					
						562	Фиксация	11:03:42.320	1948 ms	74	(904, 666)	15.061	Впередидущая машина(0x208394b2)		
						563	Фиксация	11:03:44.268	1752 ms	73	(876, 654)	64.545	Впередидущая машина(0x208394b2)		
						564	Фиксация	11:03:46.021	1880 ms	72	(765, 668)	59.364	Встречная машина 2 (0x33d59fe9),Вст...		
						565	Фиксация	11:03:47.908	1428 ms	68	(799, 636)	109.467			
						566	Саккада	11:03:49.337	16 ms	40					
						567	Фиксация	11:03:49.381	556 ms	68	(1140, 704)	63.988	Впередидущая машина(0x208394b2)		
						568	Фиксация	11:03:49.968	1748 ms	68	(845, 612)	126.856			
						569	Фиксация	11:03:51.729	728 ms	67	(618, 599)	16.540	Дорожные знаки слева(0x3d140221)		
						570	Саккада	11:03:52.457	20 ms	39					
						571	Фиксация	11:03:52.493	540 ms	68	(909, 589)	25.272	Дорожные знаки справа(0x21ffb10f)		
						572	Саккада	11:03:53.033	16 ms	40					
						573	Фиксация	11:03:53.065	180 ms	69	(1016, 511)	7.506	Дорожные знаки справа(0x21ffb10f)		
						574	Фиксация	11:03:53.269	328 ms	70	(1032, 461)	7.978	Дорожные знаки справа(0x21ffb10f)		
						575	Фиксация	11:03:53.625	308 ms	71	(1046, 512)	16.232	Дорожные знаки справа(0x21ffb10f)		
						576	Фиксация	11:03:53.957	380 ms	72	(971, 554)	11.981	Дорожные знаки справа(0x21ffb10f)		
						577	Саккада	11:03:54.336	36 ms	41					
Всего глазодвигательных соб...	631 шт					578	Фиксация	11:03:54.380	744 ms	73	(809, 701)	26.953			

Отчет по статистическим показателям фиксации взгляда в привязке к «зонам интереса»

На основе размеченных «зон интереса» и детектированных глазодвигательных событий формируются отчеты.

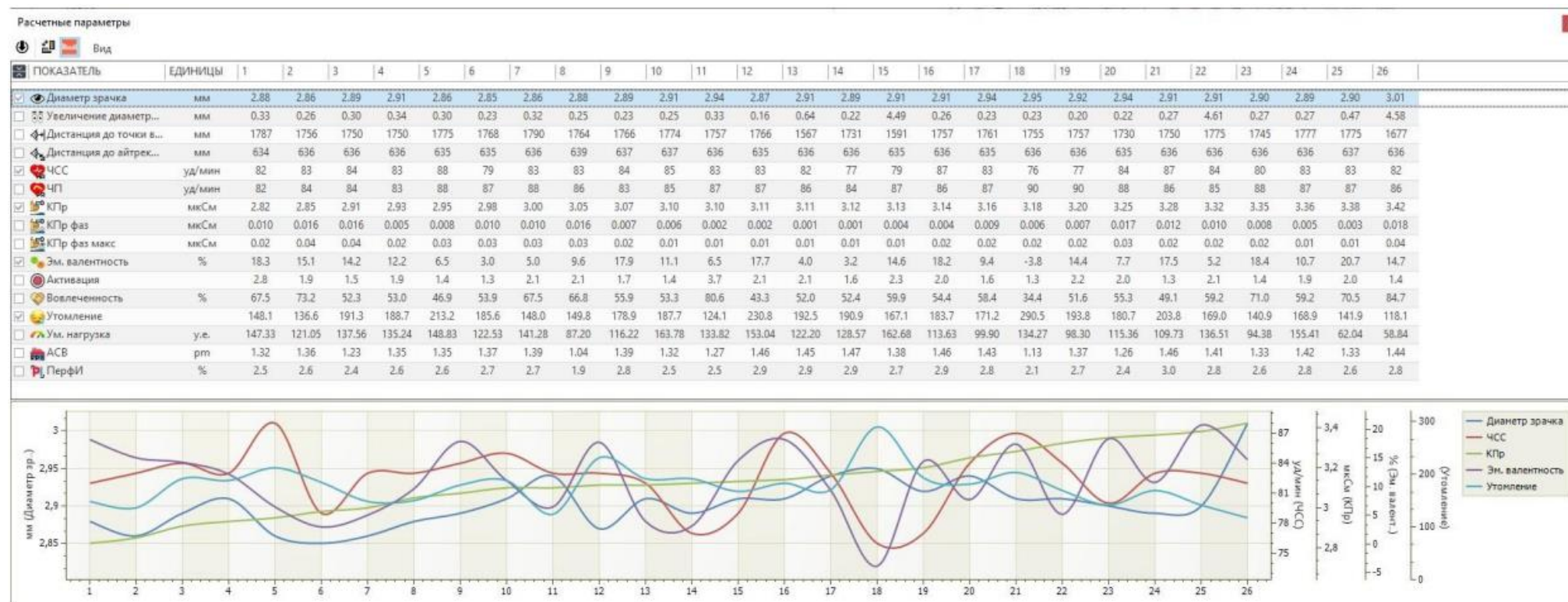
Пример одного из возможных представлений рассчитанных статистических параметров (относительная и итоговая длительность фиксаций и пр.) по глазодвигательным событиям в выбранных «зонах интереса». Сверху – табличное представление, снизу представление выбранных расчетных показателей в виде кольцевых диаграмм. В данном примере выбраны следующие показатели: относительная и суммарная длительность фиксаций и нахождения взгляда в зоне интереса. В данном примере используются «зоны интереса», отражающие навигатор, светофор, дорожные знаки, встречные машины.

Пользователь может переключать вид диаграмм, например, внизу – два вида столбиковых диаграмм.



Контроль ФС водителя на основе расчетных психофизиологических показателей

Оценка динамики изменения функционального состояния человека-оператора осуществляется на основе психофизиологических показателей, рассчитываемых по физиологическим сигналам (ЭЭГ, ЭКГ, ФПГ, КПр, РД и пр.). Отчет отражает временную динамику этих показателей, относящуюся к выбранному фрагменту исследования. Строки таблицы отражают средние значения каждого из расчетных показателей, а столбцы - номера временных интервалов анализируемого фрагмента. Исследователь может задать любую длительность временных интервалов (с шагом 1 с) или разметить исследование на интересующие фрагменты, требующие анализа. Ниже таблицы показаны графики динамики выбранных расчетных показателей и «легенда» с отражением наименований показателей, цветов графиков и индивидуальных шкал.



Выводы

1. Исследование функционального состояния водителя транспортного средства в процессе вождения является актуальной темой.

2. Результаты исследований могут использоваться для следующих целей:

2.1. Исследование функционального состояния водителей транспортных средств в процессе вождения с целью выявления состояний, потенциально снижающих безопасность и эффективность работы водителей и влияющих на аварийность. Исследование уровня усталости и зрительного внимания водителя на основе регистрируемых психофизиологических показателей и глазодвигательной активности.

2.2. Исследование восприятия водителем дорожной обстановки, элементов трассы, оборудования дорог средствами организации движения с целью выработки рекомендаций по их улучшению и определения оптимальных дорожных условий, обеспечивающих более высокую надежность работы водителей.

2.3. Оценка эргономики кабины водителя: как расположение приборов управления и информационных дисплеев влияет на способность водителя быстро и эффективно получать информацию без отвлечения от дороги. Формирование рекомендаций для улучшения эргономических характеристик транспортных средств.

2.4. Улучшение программ подготовки и обучения водителей: Применение полученных данных для разработки более эффективных программ обучения водителей, направленных на формирование безопасного стиля вождения.



МЕДИКОМ МТД

Юридический адрес: 347900, Россия, г. Таганрог, ул. Петровская, 99

Почтовый адрес (адрес производства):

347900, Россия, г. Таганрог, ул. Фрунзе, 68

medicom-mtd.com

+7 (8634) 62-62-42 (доб. 1);

+7 (989) 508-25-92 (моб. / WhatsApp);

office@medicom-mtd.com