

Научная статья

УДК 004.5

<https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-1-9>



Разработка модуля человеко-машинного интерфейса с функцией выявления утомления человека

Михаил Яковлевич Брагинский, Дмитрий Викторович Тараканов✉

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

Аннотация. В данной работе рассмотрена задача распознавания состояния утомления человека в процессе его трудовой деятельности. Разработано программное обеспечение для выявления утомления человека и голосового оповещения с помощью библиотеки pyttxs3. Проведенная апробация программного обеспечения показала возможность его применения для идентификации утомления человека.

Ключевые слова: состояние утомления, распознавание эмоций, человеко-машинное взаимодействие, человек-оператор

Для цитирования: Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Разработка модуля человеко-машинного интерфейса с функцией выявления утомления человека // Вестник кибернетики. 2026. Т. 25, № 1. С. 93–100. <https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-1-9>.

Original article

Developing module of human-machine interface for fatigue identification in people

Mikhail Ya. Braginskii, Dmitry V. Tarakanov✉

Surgut State University, Surgut, Russia

Abstract. The work addresses the problem of identifying a human fatigue state experienced during work activities. The authors develop software for exhaustion recognition and subsequent voice notification using pyttxs3 library. Conducted testing of the designed unit reveals the possibility of its implementation in people's fatigue detection.

Keywords: fatigue state, emotion recognition, human-machine interface, human operator

For citation: Braginskii M. Ya., Tarakanov D. V. Developing module of human-machine interface for fatigue identification in people. *Proceedings in Cybernetics*. 2026;25(1):93–100. <https://doi.org/10.35266/1999-7604-2026-1-9>.

ВВЕДЕНИЕ

Усталость человека и снижение его внимания при управлении техническими системами являются одной из ключевых причин аварий и сбоев в промышленности, транспорте и других сферах, где от концентрации оператора напрямую зависит безопасность производства. В условиях интенсивной нагрузки, продолжительных смен, монотонной деятельности или работы в ночное время даже кратковременная потеря концентрации способна привести к катастрофическим последстви-

ям. Множество катастроф техногенного характера происходили в ночное время, когда сотрудники особенно подвержены усталости [1]. По оценкам Национального управления безопасностью движения на трассах США, до 100 тысяч дорожно-транспортных происшествий ежегодно происходят по причине сонного вождения [2]. Также, по данным Министрства транспорта Новой Зеландии [3], в 2022 году произошло 34 смертельных случая, 80 – с серьезными травмами и 460 – с легкими травмами, где усталость водителя была

способствующим фактором [4]. Аналогичная ситуация наблюдается в промышленности.

Современное развитие технологий искусственного интеллекта, компьютерного зрения и обработки видеопотока создает условия для разработки интеллектуальных систем, способных в реальном времени отслеживать признаки утомления человека без использования инвазивных методов [5]. Такие системы анализируют мимику, жесты, положение головы, частоту морганий и другие визуальные признаки, позволяя оперативно определять моменты, когда внимание оператора снижается, и предпринимать превентивные меры. Основное преимущество визуальных систем в том, что они не требуют ношения датчиков, не вызывают дискомфорта, легко интегрируются в рабочую среду и доступны по стоимости, так как могут работать с обычной веб-камерой.

В то же время создание устойчивой и точной системы распознавания усталости сопряжено с рядом технических вызовов. На практике необходимо обеспечить корректную работу при нестабильном освещении, различных ракурсах лица, наличии очков или бороды, быстрой смене мимики. Требуется учитывать индивидуальные особенности пользователей. Кроме того, одни признаки усталости, такие как частые зевки или наклоны головы, могут наблюдаться и без фактической утомленности, что создает риск ложных срабатываний. Поэтому система должна быть не только чувствительной, но и интерпретируемой, способной комбинировать признаки и принимать решения на основе комплексного анализа.

В рамках данной работы реализована интеллектуальная система мониторинга признаков усталости, основанная на анализе видеопотока в реальном времени. В качестве основных инструментов используются библиотека MediaPipe для извлечения ключевых точек лица, алгоритмы для расчета метрик открытости глаз, раскрытия рта, процента закрытых глаз, а также алгоритм оценки положения головы. Дополнительно в систему интегрирована предварительно обученная сверточная нейронная сеть, позволяющая рас-

познавать эмоциональные состояния пользователя, ассоциированные с утомлением [6]. Все вычисляемые параметры визуализируются на экране и сопровождаются голосовыми оповещениями при фиксации усталости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Аппаратная часть установки включала персональный компьютер с операционной системой Windows 10 и веб-камерой.

Для разработки программной архитектуры системы интеллектуального распознавания усталости человека требовалась структурная декомпозиция всех компонентов. Программное обеспечение создавалось в рамках парадигмы модульности, чтобы каждая функциональная единица могла быть масштабируема, проверяема и логически отделима от остальных. Такая архитектура обеспечивает как удобство в сопровождении и отладке, так и возможность дальнейшего расширения системы – например, путем добавления новых биометрических метрик или интеграции с внешними устройствами мониторинга состояния водителя.

В итоге был разработан алгоритм функционирования системы, построенный в виде циклического процесса, состоящего из нескольких этапов обработки видеопотока и принятия решений. На старте выполняется инициализация необходимых ресурсов, а далее система непрерывно обрабатывает поступающие кадры в реальном времени.

1. Начало работы – Система запускается, инициализируя основной цикл обработки данных.

2. Загрузка конфигурации и моделей – На этом этапе загружаются параметры конфигурационного файла (например, пороговые значения метрик усталости), а также предварительно обученные модели, включая модель распознавания эмоций и параметры MediaPipe.

3. Захват кадра с камеры – Осуществляется подключение к видеопотоку и поочередный захват каждого кадра в режиме реального времени при помощи библиотеки OpenCV [7].

4. Предварительная обработка кадра – Включает операции улучшения изображения, такие как выравнивание гистограммы

(CLAFE), коррекция контраста и преобразование цветового пространства [8]. Это необходимо для повышения устойчивости работы моделей и точности распознавания.

5. Обнаружение лица – На обработанном кадре выполняется поиск и локализация лица с использованием алгоритма MediaPipe. Если лицо не обнаружено, система возвращается к захвату следующего кадра, повторяя цикл.

6. Проверка наличия лица – В случае успешного обнаружения лица, система переходит к следующему этапу, в противном случае продолжает попытки с последующими кадрами.

7. Расчет метрик – Извлекаются лицевые признаки и рассчитываются количественные метрики, включая:

- EAR (Eye Aspect Ratio) – степень открытия глаз;
- MAR (Mouth Aspect Ratio) – степень открытия рта;
- PERCLOS – доля времени с закрытыми глазами [9];
- положение головы (pitch, yaw, roll);
- эмоциональное состояние на основе распознанной эмоции.

8. Вывод метрик на экран – Значения всех метрик визуализируются на изображении

и отображаются пользователю вместе с контуром лица и маркерами (рис. 1). Это позволяет проводить мониторинг состояния в реальном времени.

9. Проверка состояния усталости – Производится сопоставление текущих значений метрик с порогами, заданными в конфигурации. При выполнении хотя бы одного из критериев (например, длительное закрытие глаз, зевок, наклон головы, выражение негативной эмоции) система определяет наличие признаков усталости.

10. Звуковое оповещение и визуализация тревоги – При подтверждении усталости срабатывает речевое предупреждение и выводится визуальное сообщение «Усталость обнаружена!» на экране. Также регистрируется событие в лог-файле с указанием причины.

11. Проверка завершения работы – Если пользователь нажал клавишу ESC, система завершает работу. В противном случае цикл продолжается с захвата следующего кадра.

12. Завершение работы – После выхода из цикла завершается обработка, освобождаются ресурсы видеопотока и закрываются окна визуализации.



Рис. 1. Вывод значений метрик

Примечание: составлено авторами.

Одним из ключевых элементов интерфейса системы является голосовое оповещение пользователя о наступлении усталости или риске засыпания. Для этого в системе реализована технология преобразования текста в речь Text-to-Speech (TTS), работающая в реальном времени и не влияющая на производительность потока обработки видео [10].

Для реализации речевого сопровождения в проекте использована библиотека pyttsx3 –

это кросс-платформенный синтезатор речи, не требующий подключения к интернету и обеспечивающий стабильную работу как в Windows-, так и в Linux-среде. Среди его преимуществ:

- поддержка множества языков и голосов (включая русский);
- возможность настройки скорости и громкости речи;
- полная автономность от облачных сервисов.

В настройках по умолчанию используется мужской русский голос с умеренной скоростью речи. Для каждой ситуации предусмотрен отдельный текст, озвучиваемый при возникновении события.

Воспроизведение сообщений способно задержать основной поток при использовании синхронных вызовов. Поэтому реализация TTS была перенесена в отдельный поток с помощью модуля `threading`. Это позволяет:

- запускать голосовое уведомление асинхронно, не останавливая захват и анализ видео;
- управлять очередью сообщений;
- исключить наложение или заикание при многократных вызовах.

Данный механизм был реализован следующим образом:

- при возникновении события строка с текстом добавляется в очередь озвучивания;
- поток TTS просматривает очередь и при наличии новых сообщений озвучивает их.

Для предотвращения повторов сообщений был введен флаг блокировки на 10 секунд после каждого произнесенного предупреждения.

Голосовая генерация реализована с помощью библиотеки `pyttsx3`, которая обеспечивает офлайн-синтез речи. При инициализации модуля задаются основные параметры:

```
engine = pyttsx3.init()

engine.setProperty('rate', 150)

engine.setProperty('voice',
engine.getProperty('voices')[0].id)
```

Здесь `rate` – скорость произношения, установленная в 150 слов в минуту, `voice` – используется системный голос по умолчанию.

Чтобы избежать блокировки основного видеопотока во время озвучивания, генерация речи вынесена в отдельный поток с использованием модуля `threading`. Это позволяет не прерывать захват и анализ кадров в процессе воспроизведения звукового сигнала:

```
def alert_driver():

    def speak():

        engine.say("Критическое
снижение работоспособности!")
```

```
engine.runAndWait()

threading.
Thread(target=speak, daemon=True).
start()
```

Вызов данной функции `alert_driver()` инициирует запуск нового потока, в котором происходит голосовой синтез и воспроизведение предупреждения. При использовании параметра `daemon=True` поток завершается автоматически при остановке основного процесса.

Оповещение оператора происходит при одновременном выполнении условий: если системой было выявлено состояние усталости (`fatigue == True`) и с момента предыдущего голосового сигнала прошло достаточное время.

Это реализовано следующим образом:

```
if fatigue and (time.time() -
last_alarm_time) > ALERT_COOLDOWN:

...

alert_driver()

last_alarm_time = time.time()
```

Тем самым было исключено повторное срабатывание сигнала в течение короткого промежутка времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки эффективности разработанной интеллектуальной системы распознавания усталости человека было проведено комплексное тестирование, направленное на верификацию работы каждого функционального компонента, а также общей способности системы к устойчивому и точному выявлению признаков усталости в приближенных к реальным условиям эксплуатации.

При организации тестирования было уделено внимание внешним факторам, влияющим на качество видеопотока и последующее извлечение признаков:

- 1) изменения освещенности:
 - дневной свет (естественное освещение);
 - контровой свет;
 - тусклое освещение;
- 2) различные положения лица:
 - фронтальное;
 - частичный профиль;

3) условия съемки:

- использование встроенной веб-камеры (30 FPS, 720p);
- расстояние от камеры – от 30 до 70 см;
- движение головы во время съемки;

Для всех участников продолжительность тестирования составляла 1–2 минуты. Во время работы системы участник занимался работой в текстовом редакторе, используя 2 монитора, что позволяло убедиться в устойчивости системы к ложным срабатываниям на поворот головы и зрачков.

Перед тестированием пользователь был подвержен усталости выше среднего вслед-

ствие продолжительной работы за компьютером (~7 часов).

Ниже представлены составленные графики метрик, полученные в ходе сбора данных.

В первую очередь были рассмотрены результаты изменения метрики открытия глаз. При условиях данного сценария значение EAR участника 1 для открытого состояния глаз равно 0,3–0,35. Состояние закрытых глаз на графике определяется по продолжительному сохранению значения 0. По данным графика на рис. 2 видно, что длительные закрытия глаз отсутствуют.

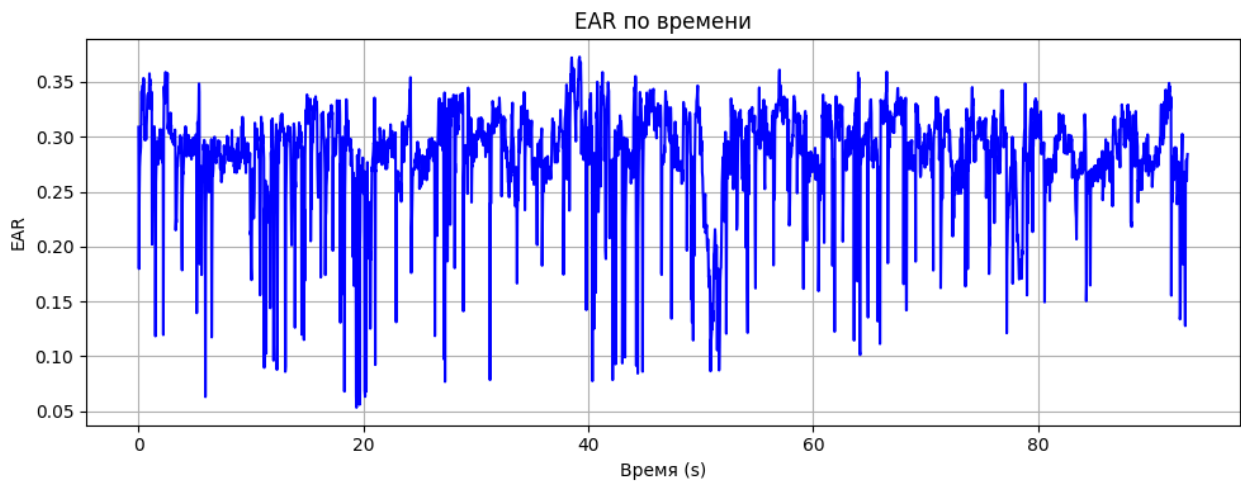


Рис. 2. График EAR для участника 1

Примечание: составлено авторами.

Далее был исследован график эмоций по времени, представленный на рис. 3. Основываясь на этих данных, можно сделать вывод, что большую часть времени были распознавались состояния «neutral» и «sad», а к концу сценария – значение «happy».

В итоге система по совокупности метрик сформировала сигнал тревоги и, как видно по рис. 6, в сумме за сеанс было 10 срабатываний тревоги.

Данная интеллектуальная система распознавания усталости ориентирована на решение задачи мониторинга состояния человека-оператора в реальных условиях эксплуатации технических систем. Принципиально важным является тот факт, что система не требует вмешательства в физиологическую структуру

пользователя, не использует инвазивные или обременяющие датчики, что делает ее особенно привлекательной с точки зрения практического внедрения.

В основе системы лежит анализ визуальной информации с обыкновенной камеры. Это означает, что разработка может быть реализована на широкой номенклатуре устройств:

- настольные компьютеры и ноутбуки;
- промышленные и пользовательские планшеты;
- встраиваемые одноплатные компьютеры;
- автомобильные терминалы и моноблоки.

Для своевременного привлечения внимания пользователя при обнаружении признаков усталости в системе реализовано голосовое оповещение. Звуковое сопровождение

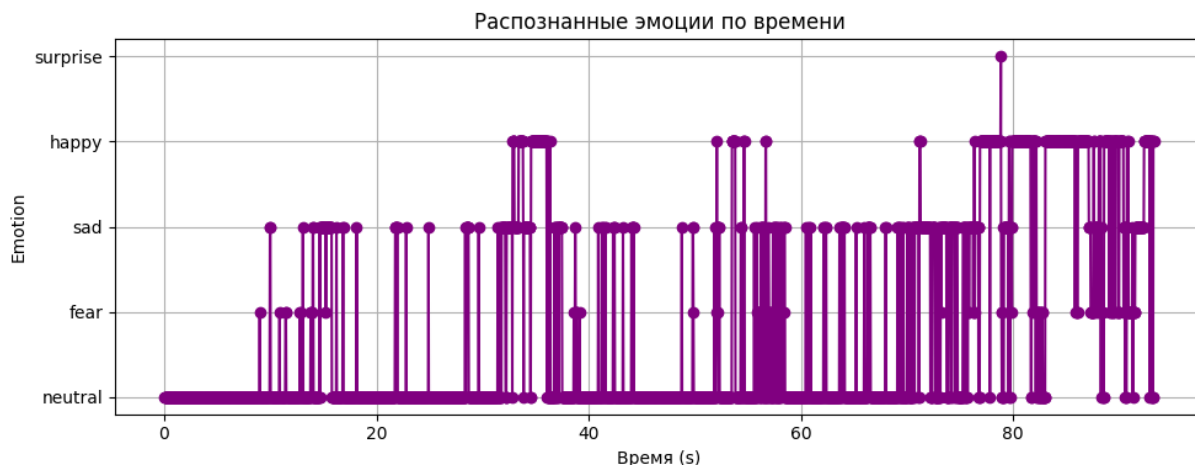


Рис. 3. График выявленных эмоций для участника 1
Примечание: составлено авторами.

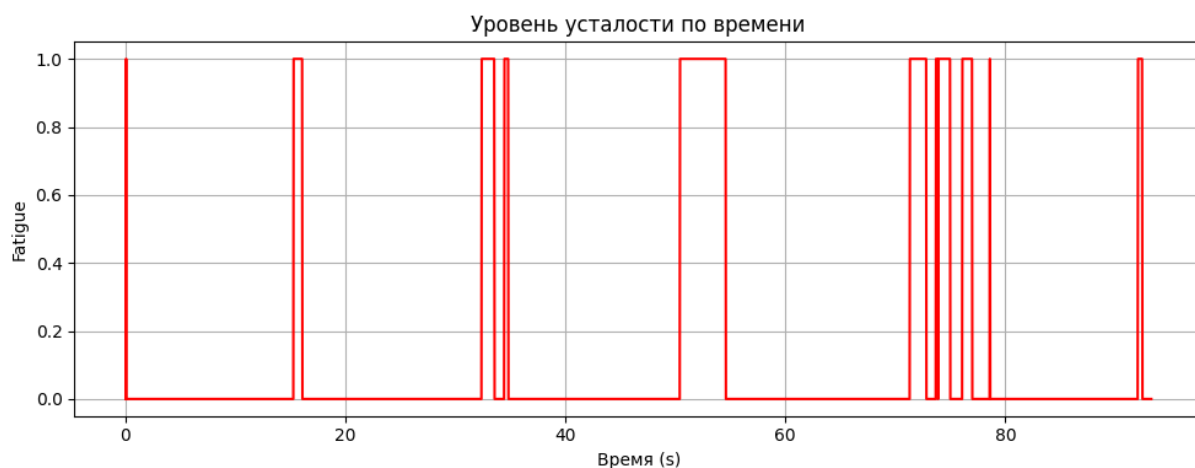


Рис. 4. График выявленных состояний усталости для участника 1
Примечание: составлено авторами.

дополняет визуальные сигналы тревоги, что актуально в случаях, когда оператор не смотрит на экран (например, при управлении транспортным средством).

В отличие от специализированных биометрических систем (ЭЭГ, ЭКГ, ЭМГ, ЭОГ), здесь не требуется обучение пользователя, установка электродов, настройка чувствительных каналов – достаточно, чтобы лицо оператора находилось в кадре.

Реализованная система может применяться в различных отраслях, где усталость человека может стать причиной ошибок, инцидентов или потери управления.

Помимо упомянутых сфер применения (транспорт, пульты управления технологическими процессами), данную систему возможно также применять при обучении и трени-

ровке операторов [11, 12]. В учебных центрах и симуляторах система может использоваться для оценки работоспособности обучающихся, прохождения ими стрессовых ситуаций или утомительных сценариев. Это может служить элементом учебной диагностики или быть частью тренажеров высокой сложности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы была разработана и апробирована программа выявления состояния утомления человека. Разработанный программный модуль может быть использован при мониторинге состояния операторов при управлении АСУ ТП и транспорта.

Научная новизна данной работы заключается в разработке и экспериментальной проверке комплексного алгоритма распознавания

признаков усталости на основе синтеза методов компьютерного зрения и нейросетевого анализа эмоционального состояния. В отличие от традиционных подходов, использующих ограниченный набор признаков (например, только закрытие глаз), в данной работе реализована многомодальная модель, учитывающая коэффициент открытости глаз, степень раскрытия рта и интегральный показатель PERCLOS.

Список источников

1. Национальный медицинский исследовательский центр им. Алмазова. Синдром хронической усталости. URL: https://www.almazovcentre.ru/?page_id=12340 (дата обращения: 10.01.2026).
2. Drowsy Driving // National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). URL: <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/drowsy-driving> (дата обращения: 10.01.2026).
3. Fatigue // Ministry of Transport, New Zealand. URL: <https://www.transport.govt.nz/statistics-and-insights/safety-annual-statistics/sheet/fatigue> (дата обращения: 10.01.2026).
4. Шиенкова А. С., Подгайный А. М. Состояние усталости за рулем как угроза безопасности дорожного движения // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2019. № 11. С. 261–263.
5. Аржанов Е. А. Оценка усталости водителя на основе нейросетевой модели с использованием библиотеки OpenCV // Молодая наука Сибири. 2024. Т. 1, № 23. URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1370> (дата обращения: 10.01.2026).
6. Катаев М. Ю., Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. и др. Применение нейросетевого классификатора для оценки эмоционального состояния человека // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 1. С. 19–25.
7. Pose computation overview // OpenCV. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d5/d1f/calib3d_solvePnP.html (дата обращения: 16.06.2025).
8. Адаптивное выравнивание гистограммы (CLAHE) // Документация Siril. URL: <https://siril.readthedocs.io/ru/latest/processing/clahe.html> (дата обращения: 16.06.2025).
9. Abe T. PERCLOS-based technologies for detecting drowsiness: Current evidence and future directions // *Sleep Advances*. 2023. Vol. 4, no. 1. P. 1–13.
10. Речевые технологии. Часть 1. Text-to-Speech: как работает синтез речи // Voximplant. URL: https://voximplant.kz/blog/how_does_text_to_speech_work (дата обращения: 10.01.2026).
11. Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Построение многофункционального тренажера по управлению теплоэнергетической системой // Вестник кибернетики. 2018. № 2 (30). С. 161–168.

Настоящее исследование основывается на сочетании современных технологий компьютерного зрения, алгоритмов машинного обучения и методов анализа человеческих эмоций. Оно ориентировано на достижение высокой точности при минимальных затратах и служит вкладом в развитие систем интеллектуального мониторинга состояния человека в реальном времени.

References

1. Natsionalnyy meditsinskiy issledovatel'skiy tsentr im. Almazova. Sindrom khronicheskoy ustalosti. URL: https://www.almazovcentre.ru/?page_id=12340 (accessed: 10.01.2026). (In Russ.).
2. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Drowsy Driving. URL: <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/drowsy-driving> (accessed: 10.01.2026).
3. Ministry of Transport, New Zealand. Fatigue. URL: <https://www.transport.govt.nz/statistics-and-insights/safety-annual-statistics/sheet/fatigue> (accessed: 10.01.2026).
4. Shienkova A. S., Podgayny A. M. Fatigue at the wheel as a threat to road safety. *Humanities, Social-Economic and Social Sciences*. 2019;(11):261–263. (In Russ.).
5. Arzhanov E. A. Driver fatigue assessment based on a neural network model using the OpenCV library. *Young Science of Siberia*. 2024;1(23). URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1370> (accessed: 10.01.2026). (In Russ.).
6. Kataev M. Yu., Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. et al. Implementation of neural classifier for assessing human emotional state. *Proceedings in Cybernetics*. 2025;24(1):19–25. (In Russ.).
7. OpenCV. Pose computation overview. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d5/d1f/calib3d_solvePnP.html (accessed: 16.06.2025).
8. Contrast-limited adaptive histogram equalization (CLAHE). Siril's documentation. URL: <https://siril.readthedocs.io/ru/latest/processing/clahe.html> (accessed: 16.06.2025). (In Russ.).
9. Abe T. PERCLOS-based technologies for detecting drowsiness: Current evidence and future directions. *Sleep Advances*. 2023;4(1):1–13.
10. Voximplant. Rechevye tekhnologii. Chast 1. Text-to-Speech: kak rabotaet sintez rechi. URL: https://voximplant.kz/blog/how_does_text_to_speech_work (accessed: 10.01.2026). (In Russ.).
11. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. Construction of multifunctional simulator for controlling heat and power system. *Proceedings in Cybernetics*. 2018;(2):161–168. (In Russ.).

12. Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Моделирование взаимодействия коллектива операторов в процессе управления технической системой // Вестник кибернетики. 2018. № 4 (32). С. 100–106.
12. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. Simulation of human operators group interaction during the control of industrial system. *Proceedings in Cybernetics*. 2018;(4):100–106. (In Russ.).

Информация об авторах

М. Я. Брагинский – кандидат технических наук, доцент;
<https://orcid.org/0000-0003-1332-463X>,
braginskiy_myasurgu.ru
Д. В. Тараканов – кандидат технических наук, доцент;
<https://orcid.org/0000-0003-1851-1039>,
sprtdv@mail.ru✉

About the authors

M. Ya. Braginskii – Candidate of Sciences (Engineering), Docent;
<https://orcid.org/0000-0003-1332-463X>,
braginskiy_myasurgu.ru
D. V. Tarakanov – Candidate of Sciences (Engineering), Docent;
<https://orcid.org/0000-0003-1851-1039>,
sprtdv@mail.ru✉