

по которому можно вычислить значение 320

Значение  $I_2$  находим как  $I_2 = I_{\text{на}} + I_1$ .

Значения  $I_{\text{на}}$  и  $U_{\text{на}}$  можно найти из выражений

$$U = A_{\text{на}}U_{\text{на}} + B_{\text{на}}I_{\text{на}}; I = C_{\text{на}}U_{\text{на}} + D_{\text{на}}I_{\text{на}};$$

$$U_{\text{на}} = \frac{UD_{\text{на}} - IB_{\text{на}}}{A_{\text{на}}D_{\text{на}} - B_{\text{на}}C_{\text{на}}}; \quad I_{\text{на}} = \frac{UA_{\text{на}} - IC_{\text{на}}}{A_{\text{на}}D_{\text{на}} - B_{\text{на}}C_{\text{на}}},$$

где коэффициенты общего четырехполюсника ответвления «а» рассчитываются путем перемножения матриц коэффициентов входящих в его состав четырехполюсников аппаратуры питающего конца ( $A_{\text{н}}, B_{\text{н}}, C_{\text{н}}, D_{\text{н}}$ ) и рельсовой линии ( $A_{\text{а}}, B_{\text{а}}, C_{\text{а}}, D_{\text{а}}$ ).

Значение  $I_1$  можно найти из выражения

$$I_1 = C_{01}U_{\text{р}} + D_{01}I_{\text{р}},$$

где коэффициенты общего четырехполюсника ответвления 1 рассчитываются путем перемножения матриц коэффициентов входящих в его состав четырехполюсников аппаратуры релейного конца ( $A_{\text{к}}, B_{\text{к}}, C_{\text{к}}, D_{\text{к}}$ ) и рельсовой линии ( $A_1, B_1, C_1, D_1$ ).

Таким образом, приняв значение сопротивления поездного шунта равным нормативному, а также приняв значения других параметров рельсовой цепи (сопротивление балласта, сопротивление рельсовой линии, сопротивление монтажных и соединительных проводов и др.) квазистационарными для момента вычислений, на основании измеренных значений напряжения и тока источника питания, тока на путевом приемнике можно определить значение сопротивления стрелочных соединителей, не обтекаемых сигнальным током в нормальном режиме. Например, увеличение значения сопротивления  $R_{\text{cc}}$  в два раза указывает на полный обрыв одного из двух соединителей. Анализ динамики изменения значений  $R_{\text{cc}}$  дает возможность выявить постепенную деградацию нормально-го (исправного) состояния соединителей (частичный обрыв, повышение переходного сопротивления в местах крепления к рельсам), что может быть использовано для организации технического обслуживания рельсовых цепей «по фактическому состоянию». Автоматизация процессов принятия решений наряду с интеграцией различных источников информации в единое информационное пространство [2] является важным фактором для решения задачи сокращения непроизводительных затрат ресурсов и времени в процессе технической эксплуатации рельсовых цепей.

#### Список литературы

1 Рельсовые цепи магистральных железных дорог: справочник / В. С. Аркадов, Н. Ф. Котляренко, А. И. Баженов, Т. Л. Лебедева ; под ред. В. С. Аркадова. – М. : Транспорт, 1982. – 360 с.

2 Пультиков, А. В. Пути повышения эффективности технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики при внедрении мобильных рабочих мест / А. В. Пультиков, В. А. Аношин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – № 1 (81). – С. 138–149. – DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).138-149.

УДК 004.9:616.831-073

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ АНАЛИЗА ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

А. В. ШКРАБОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Современная неврология сталкивается с возрастающей распространенностю нейродегенеративных заболеваний, что актуализирует проблему совершенствования методов их диагностики. В контексте развития медицинской кибернетики особый интерес представляют автоматизированные системы анализа глазодвигательных нарушений как индикаторов функционального состояния

ЦНС. Обеспечение информационной надежности и диагностической достоверности таких систем представляет собой актуальную важную задачу на стыке медицины и информационных технологий.

Анализ глазодвигательной активности основан на концепции зрительной системы как «окна в мозг», поскольку окуломоторная функция находится под строгим контролем сложных нейронных сетей, включающих корковые и подкорковые структуры. Нарушения глазодвигательной функции, проявляющиеся в виде патологических нистагмоидных движений, отклонений траекторий саккад и плавного слежения, представляют собой важные неврологические маркеры поражения различных отделов ЦНС. Современные исследования демонстрируют, что анализ параметров глазодвигательной активности позволяет неинвазивно оценивать функциональное состояние когнитивных и моторных систем мозга. В частности, нарушения саккадического контроля ассоциированы с патологией лобных долей и базальных ганглиев, тогда как изменения плавного слежения отражают дисфункцию теменно-затылочных областей и мозжечка. Технической основой автоматизированных систем регистрации выступают специализированные видеоочки Френзеля, обеспечивающие высокоточный захват окуломоторной активности. Конструктивные особенности современных моделей, таких как VF 405, предусматривают использование от одной до двух камер, однако для обеспечения надежности данных при различных анатомических особенностях пациентов оптимальным является применение систем с 4–6 камерами. Такая конфигурация позволяет минимизировать влияние факторов, связанных с наплывающими веками и изменением направления взора, что существенно повышает достоверность регистрируемых параметров. Критически важным аспектом информационной надежности является обеспечение стандартизованных условий освещения, поскольку вариабельность светового потока может приводить к значительным погрешностям в определении позиции зрачка. Для решения этой проблемы применяются специализированные осветительные системы со стабилизованными параметрами и алгоритмы компенсации бликов на основе нейросетевых технологий. Алгоритмическое обеспечение системы базируется на современных методах обработки изображений, где основное значение имеет процедура адаптивной пороговой бинаризации. Данная процедура включает построение гистограмм яркости для начальных кадров видеоряда с последующим сглаживанием методом скользящего среднего и определением первого локального минимума, который служит порогом бинаризации.

Математическая основа алгоритма описывается системой уравнений, где выделение области зрачка осуществляется через определение наибольшего кластера связанных черных пикселей по принципу 4-связности. Вычисление координат центра зрачка производится через взвешенное усреднение позиций кластера с учетом пространственного распределения пикселей. Сравнительный анализ с традиционными подходами, основанными на преобразовании Хафа, демонстрирует преимущества предлагаемого метода в условиях реального времени, поскольку классические алгоритмы требуют значительных вычислительных ресурсов и демонстрируют низкую устойчивость при работе с видеопотоком. Обеспечение диагностической достоверности достигается за счет комплексного анализа множества параметров глазодвигательной активности, включая задержку, скорость, продолжительность, амплитуду и частоту саккад. Каждый из этих параметров имеет строгую нейрофизиологическую интерпретацию и коррелирует с функциональным состоянием конкретных мозговых структур. Например, анализ саккадических путей показывает, что произвольные саккады возникают в лобных областях и направляются к базальным ганглиям, тогда как рефлекторные саккады имеют прямой путь от зрительной коры к задней теменной коре. Верификация диагностической значимости системы осуществляется через сопоставление результатов видеоокулографии с данными традиционных методов диагностики, включая МРТ, ПЭТ, ОФЭКТ и генетические исследования. Магнитно-резонансная томография обеспечивает выявление характерных паттернов атрофии серого вещества, при этом современные протоколы включают Т1-взвешенные изображения для точной вольюметрии, Т2-взвешенные и FLAIR-последовательности для оценки состояния белого вещества. Позитронно-эмиссионная томография позволяет оценивать церебральный метаболизм глюкозы и изучать паттерны накопления патологических белков с помощью специфических лигандов. Генетические исследования, включающие полногеномное и экзомное секвенирование, направлены на выявление наследственных мутаций, ассоциированных с развитием нейродегенеративных патологий.

Особое значение для обеспечения диагностической достоверности имеет стандартизация диагностического протокола, который включает последовательную оценку положения головы и глаз-

ных яблок, медленных плавных следящих движений, саккад, фиксации взгляда, функции конвергенции и дивергенции, а также вестибулярных реакций. Каждый этап протокола имеет строгие критерии оценки и временные параметры, что минимизирует субъективность интерпретации результатов. Интеграция технологий машинного обучения позволяет автоматизировать процесс выявления патологических паттернов и повысить точность диагностики. Алгоритмы глубокого обучения анализируют комплекс параметров глазодвигательной активности и формируют интегральные биомаркеры для обнаружения множественных расстройств.

Важным аспектом информационной надежности является обеспечение кибербезопасности системы, включая защиту передаваемых данных, аутентификацию пользователей и контроль целостности информации. При работе с персональными медицинскими данными необходимо применение криптографических методов защиты и систем мониторинга несанкционированного доступа. Валидация системы проводится на репрезентативных выборках пациентов с различными нейродегенеративными заболеваниями, включая болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, прогрессирующий надъядерный паралич и другие формы деменций. Статистический анализ результатов валидации включает оценку чувствительности, специфичности и прогностической ценности метода в сравнении с клиническими стандартами диагностики. Перспективы развития системы связаны с интеграцией мультимодальных данных, когда результаты видеоокулографии дополняются информацией от других диагностических методов, что позволяет создавать комплексные диагностические профили пациентов. Дальнейшее совершенствование алгоритмов компьютерного зрения направлено на повышение устойчивости к артефактам, связанным с индивидуальными анатомическими особенностями пациентов, такими как птоз, анизокория и нарушения прозрачности оптических сред.

Разработка облачных платформ для распределенного анализа данных открывает возможности для создания масштабируемых систем скрининга населения. Особое внимание уделяется вопросам стандартизации и метрологического обеспечения измерительного тракта системы, включая калибровку видеоустройств и верификацию алгоритмов обработки на стандартизованных тестовых последовательностях. Опыт применения автоматизированных систем анализа глазодвигательных нарушений в клинической практике демонстрирует их высокую эффективность для доклинической диагностики и мониторинга течения нейродегенеративных заболеваний. Внедрение таких систем в рутинную клиническую практику требует решения организационных вопросов, связанных с обучением медицинского персонала и интеграцией в существующие диагностические процессы.

Экономическая эффективность метода определяется его неинвазивностью, возможностью массового скрининга и раннего выявления заболеваний, когда терапевтические манипуляции наименее эффективны. Сравнительный анализ с традиционными методами нейровизуализации показывает преимущества видеоокулографии по критериям доступности, стоимости и возможности динамического наблюдения.

Обеспечение информационной надежности и диагностической достоверности в автоматизированных системах анализа глазодвигательных нарушений достигается за счет комплексного подхода, включающего совершенствование аппаратных средств, алгоритмов обработки данных и диагностических протоколов. Дальнейшее развитие этого направления открывает новые возможности для ранней диагностики и мониторинга нейродегенеративных заболеваний.

#### **Список литературы**

1 **Непрокин, А. В.** Алгоритм нахождения центра зрачка для систем видеонистагмографии / А. В. Непрокин, А. В. Горбунов, А. В. Солопахо, Е. Н. Туголуков // Современные научноемкие технологии. – 2022. – № 5 (ч. 2). – С. 214–218.

2 **Клюшников, С. А.** Глазодвигательные нарушения в диагностике и дифференциальной диагностике нейродегенеративных заболеваний / С. А. Клюшников // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2018. – № S3. – С. 57–59.