

АЛГОРИТМ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ КОРРЕКЦИИ ПОКАЗАНИЙ КОМПЛЕКСА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ГЛЮКОЗЫ

Сарычев В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Деменковец Д.В. – старший преподаватель

В работе представлен алгоритм коррекции показаний комплекса непрерывного мониторинга глюкозы в крови для снижения погрешности измерений. Повышение точности достигается благодаря учету персональных особенностей организма пользователя.

Сахарный диабет остается одной из наиболее актуальных проблем современной медицины, представляя собой не просто заболевание, а сложный метаболический синдром с системными последствиями. По данным ВОЗ в 2022 году распространённость диабета достигла 880 миллионов случаев [1]. Сахарный диабет опасен не своим наличием, а тяжёлыми осложнениями, такими как инфаркт, инсульт и ампутация нижних конечностей, которые развиваются при хронически повышенном или нестабильном уровне глюкозы в крови. Ключевым условием предотвращения этих осложнений является поддержание целевого уровня глюкозы в крови, что невозможно без её регулярного и точного мониторинга.

На сегодняшний день комплекс непрерывного мониторинга глюкозы (НМГ) представляет собой наиболее технологичный и перспективный способ измерения, позволяющий отслеживать динамику уровня сахара в режиме реального времени. Комплекс представляет собой электрохимический сенсор с ферментом глюкозооксидазы для измерения концентрации глюкозы в интерстициальной жидкости, что обеспечивает значительное преимущество перед традиционными инвазивными глюкометрами, требующими частых проколов пальцев. Схема работы сенсора представлена на рисунке 1.

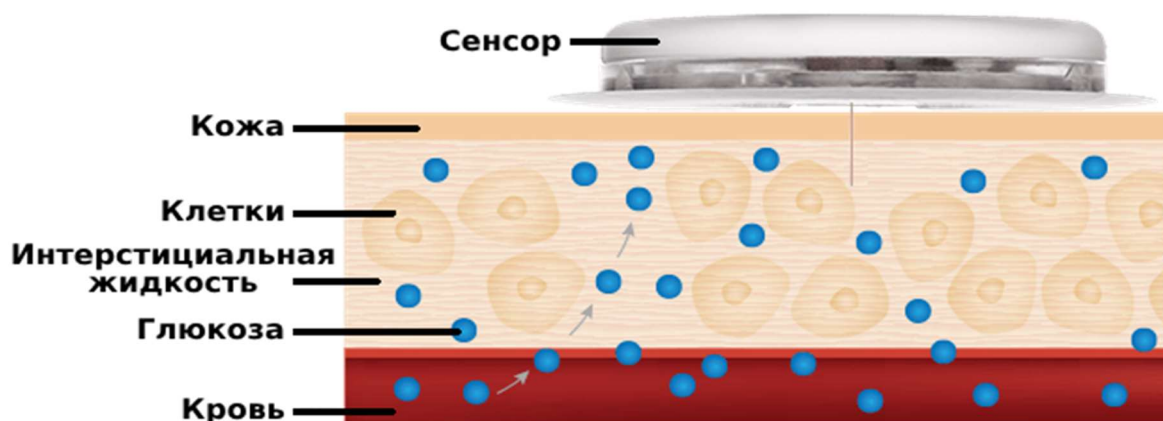


Рисунок 1 – Схема работы электрохимического сенсора непрерывного мониторинга глюкозы [2]

Однако даже самые совершенные из существующих комплексов имеют погрешность измерения (MARD), что особенно критично при быстрых изменениях уровня глюкозы и при использовании в замкнутых системах имитации поджелудочной железы. В таких системах погрешность измерения непосредственно влияет на качество контроля. MARD рассчитывается по следующей формуле:

$$MARD(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|a_i - b_i|}{b_i} (1),$$

где N – число парных измерений, b_i – i -е показание точного глюкометра или лабораторного анализа, a_i – i -е показание системы НМГ

Проведенный анализ показал, что существующие алгоритмы обработки сигнала не в полной мере учитывают такие индивидуальные параметры пользователей как: особенности метаболизма, влияние пищевого поведения и физической активности, фармакокинетические параметры применяемых препаратов.

Исследования подтверждают эффективность персонализированного подхода [3]. В частности, адаптивные алгоритмы, учитывающие персональные особенности, показывают меньшую погрешность по сравнению со стандартными калибровочными подходами.

Индивидуальный подход предлагается реализовать путем использования алгоритма, состоящего из 4 этапов, представленных на рисунке 2.

На I этапе осуществляет сбор и первичный анализ данных из трех основных источников: показаний сенсора НМГ, отражающего уровень глюкозы в интерстициальной жидкости; пользовательских данных о питании и введении инсулина, вводимых через мобильное приложение; а также информации о физической активности, получаемой с синхронизированных фитнес-трекеров. Эти данные формируют исходную информационную базу для последующей обработки.

На II этапе производится глубокий анализ метаболических особенностей конкретного пользователя. Комплекс с помощью специально обученных алгоритмов выявляет индивидуальные особенности усвоения углеводов из разных типов пищи, анализирует характерные реакции на физические нагрузки различной интенсивности и продолжительности, а также учитывает фармакокинетические параметры применяемой инсулинотерапии. Особое внимание уделяется выявлению суточных колебаний чувствительности к инсулину.

На III этапе применяется нейросеть, которая осуществляет прогнозирование уровня глюкозы на 15-20 минут вперед. Модель анализирует данные за последние 6 часов, выявляя характерные тренды и закономерности в изменениях уровня глюкозы в крови. При этом учитывается время и состав последнего приема пищи, дозы и время введения инсулина, уровень и характер физической активности. Такой подход позволяет предсказывать изменения уровня глюкозы с приемлемой точностью.

На IV этапе выполняется динамическая адаптация, при которой каждые 5 минут пересчитываются калибровочные коэффициенты. Комплекс учитывает контрольные замеры глюкозы, индивидуальную скорость ее изменения, а также различные внешние факторы, такие как уровень стресса или фаза циркадного ритма. Подход позволяет непрерывно корректировать параметры алгоритма, минимизируя погрешность измерений.

На выходе комплекс формирует скорректированные показания уровня глюкозы в крови с учетом всех выявленных индивидуальных особенностей, а также прогноз изменения уровня глюкозы в крови на ближайшие 15-20 минут и персонализированные рекомендации по коррекции терапии.



Рисунок 2 – схема предлагаемого алгоритма

Целью работы является улучшение показателя погрешности измерений (MARD) посредством алгоритма за счёт трёх основных факторов: учёта пищевых привычек, коррекции по данным физической активности, и динамической калибровки. Перспективность такого комплексного подхода доказывают результаты схожих исследований: исследование, направленное на расширение возможностей НМГ и исследование по снижению риска критических падений уровня глюкозы в крови [4, 5].

Список использованных источников:

1. World Health Organization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>. – Дата доступа: 11.04.2025.
2. FreeStyle Libre [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.freestyle.abbott/kw-en/discover-freestyle-libre/why-freestyle-libre-what-are-the-components-of-the-freestyle-libre-system.html>. – Дата доступа: 11.04.2025.
3. National Library of Medicine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29032732/>. – Дата доступа: 11.04.2025.
4. National Library of Medicine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39158994/>. – Дата доступа: 11.04.2025.
5. IEEEExplore. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10652799>. – Дата доступа: 11.04.2025.