

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ***Литинская Евгения Львовна*

научный сотрудник

ООО «ЭСДИАР»

г. Москва

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ**

*Аннотация:* в статье анализируется актуальность разработки устройств для неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови, рассматриваются спектрофотометрических метод неинвазивного измерения концентрации глюкозы, приведена структурная схема устройства, описаны его основные элементы и узлы, представлена оптическая схема устройства и описание программного обеспечения для управления устройством.

*Ключевые слова:* сахарный диабет, глюкоза, концентрация глюкозы, спектрофотометрический метод, неинвазивный метод, программное обеспечение.

Сахарный диабет – это эндокринное заболевание, характеризующееся хроническим повышением концентрации глюкозы в крови (КГК) вследствие абсолютного или относительного дефицита инсулина – гормона поджелудочной железы. По данным международной диабетической федерации, на 2014 год количество людей, страдающих сахарным диабетом по всему миру, составляет 387 миллион человек, это более 5 % населения планеты.

Большинство людей вынуждено жить с сахарным диабетом и во избежание тяжелых осложнений, придерживаться специального ритма жизни и режима питания, чтобы поддерживать концентрацию глюкозы в крови в пределах нормы. Для этого необходимо знать текущее значение КГК. Для этих целей был создан ряд портативных инвазивных приборов, то есть требующих прокалывание пальца и забор экземпляра крови. Однако они имеют свои недостатки, такие как риск инфекций, болевые ощущения, риск кровопотери.

Наиболее перспективными являются разработки полностью неинвазивных систем постоянного мониторинга уровня глюкозы в крови, поскольку они не доставляют больному дискомфорта, и инфекционно безопасны.

На данный момент не создано неинвазивного глюкометра, который бы соответствовал требованиям стандартов. Минимальные требования по точности к устройствам по проведению самостоятельного контроля уровня глюкозы в крови определяются стандартом DIN EN ISO 15197:2003. Согласно данному стандарту не менее 95 % результатов измерений должны находиться в пределах погрешности  $\pm 20$  мг/дл при концентрации глюкозы более или равном 75 мг/дл и в пределах погрешности  $\pm 15$  мг/дл при концентрации глюкозы менее 75 мг/дл [1].

Спектрофотометрический метод основан на пропускании ИК-излучения через ткань и анализа спектра прошедшего излучения для оценки уровня глюкозы в крови [2,3,4]. Обычно в качестве источника берётся светоизлучающий диод или лазер (матрица лазерных диодов), работающий на длине волны, на которой глюкоза поглощает или близкой к ней. На противоположной стороне ткани помещается детектор (фотоприемник), который регистрирует прошедшее через ткань излучение. Процессор обрабатывает сигнал детектора и с учетом коэффициента пропускания тканью ИК-излучения оценивает уровень глюкозы в крови.

Устройство неинвазивного измерения КГК (рисунок 1), основанного на спектрофотометрическом методе включает в себя следующие элементы [2]: микроконтроллер; цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); оптический блок; интегрирующую сферу, которая собирает рассеянный и отраженный свет; детектор, который преобразует излучение в электрический аналоговый сигнал; аналого-цифровой преобразователь (АЦП); цифровой дисплей.

Микроконтроллер задает ток в виде цифрового сигнала, который с помощью ЦАП преобразуется в аналоговый и, затем, передается от источника питания к узлу лазерных диодов (источник излучения). При этом поддерживаются стабильные уровни напряжения и температуры. Источник излучения состоит из множества лазерных диодов, излучающих свет различной интенсивности в зависимости от тока, подаваемого источником питания.

**Научные исследования: от теории к практике**

Аналоговый электрический сигнал преобразуется в цифровой сигнал в АЦП и передается на микроконтроллер. Вычисление концентрации глюкозы в крови происходит путем сравнения этого сигнала, с калибровочными данными, хранящимися в памяти контроллера. Цифровой дисплей отображает полученную концентрацию глюкозы в крови, в зависимости от цифрового сигнала, полученного микроконтроллером.

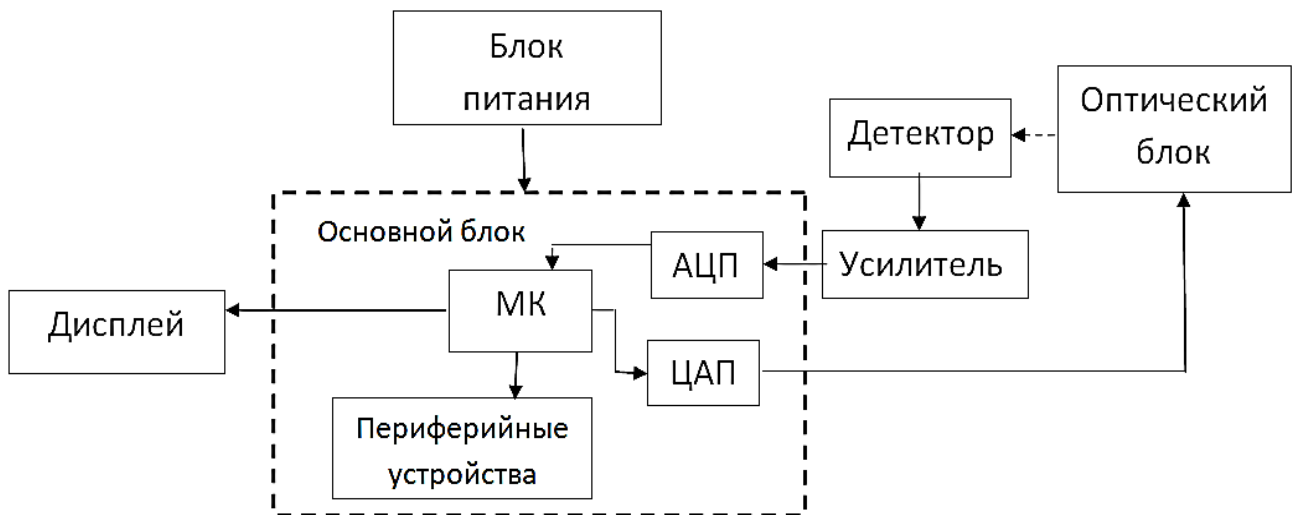


Рис. 1. Схема устройства для неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови

Основной проблемой данного метода является то, что тело человека сильно рассеивает излучение в ИК-диапазоне. Поэтому может показаться, что метод не обеспечивает достаточную точность. Однако существуют способы снижения влияния рассеяния. Простейшим из них является использование в качестве просвечиваемого образца мочки уха.

Наиболее удобным вариантом для создания оптического неинвазивного глюкометра является использование схемы с одним детектором и одним источником лазерного излучения. При проведении измерений плоскость детектора и плоскость лазерного диода должны быть строго параллельны друг другу, так как изменение угла между данными плоскостями может привести к изменению показаний детектора.

В качестве источника излучения используется лазерный диод. Этот диод обладает большой расходимостью пучка излучения, и он не пригоден для прямых измерений объекта. Для фокусировки пучка необходима оптическая система линз, формирующая параллельный пучок излучения. Разработанная оптическая схема фокусировки представлена на рисунке 2а.

Анализирующая часть устройства соединяется с измерительной при помощи кабеля, который представляет собой оптическое волокно и электрические провода для питания фотодиода и передачи данных с приемника на анализатор, помещенные в общую изоляцию. Диаметр оптического волокна составляет 400 мкм, поэтому максимальный радиус изгиба волокна равный 30 диаметрам составляет 12 мм, внутри устройства оптическое волокно должно располагаться как можно дальше от нагревающихся элементов.

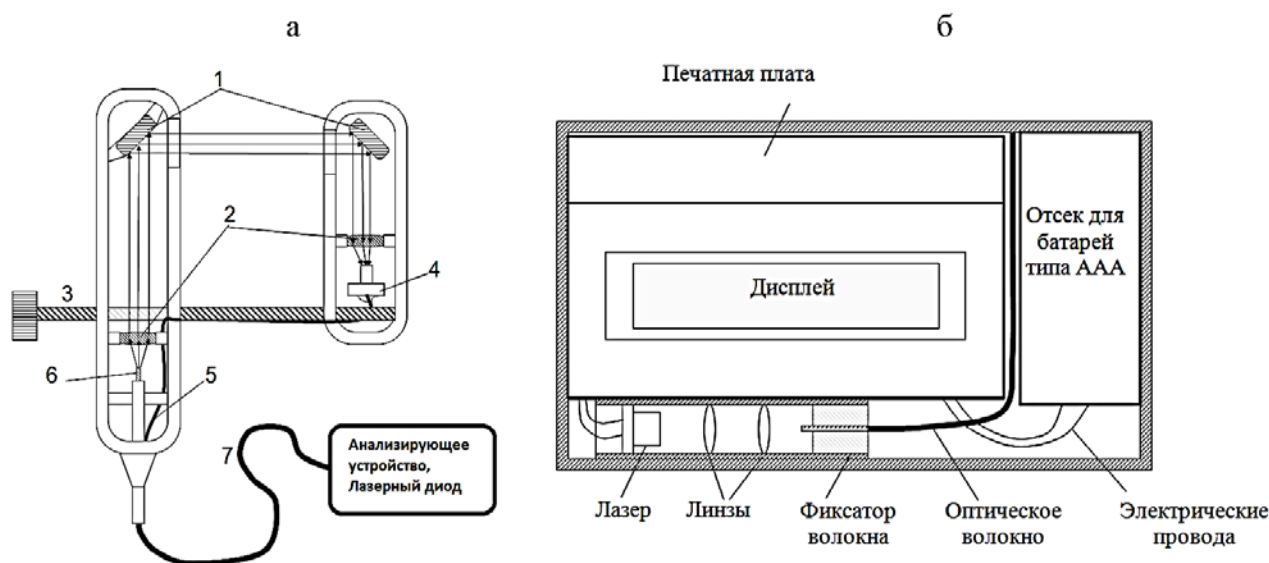


Рис. 2. (а) Оптическая схема глюкометра:

- 1 – ИК – зеркала; 2 – ИК – линзы; 3 – винт регулировки; 4 – фотодиод;  
 5 – сигнальный провод; 6 – оптоволокно; 7 – оптический и  
 сигнальный провод для связи между блоками глюкометра.

(б) Схема анализирующего блока глюкометра

Внутри анализирующего блока располагается излучающий модуль, состоящий из лазерного диода, двух линз для фокусировки излучения на оптическое

волокно и соблюдения требуемого угла вхождения и оптического волокна, зафиксированного в латунном цилиндре. Все оптические элементы помещаются в специальный металлический корпус в форме трубки. Питание устройства осуществляется как при помощи внешнего источника питания, для которого в корпус должен быть вмонтирован специальный разъем, так и при помощи аккумуляторных батарей.

Основой разрабатываемого устройства является печатная плата с микроконтроллером, в котором происходит обработка данных. Для визуализации КГК, калибровочных параметров системы и аварийных сигналов, на плату был добавлен цифровой дисплей. Схема анализирующего блока представлена на рисунке 26.

Программное обеспечение реализует функционирование и взаимосвязь узлов устройства, диагностику узлов, пользовательский интерфейс и измерение концентрации глюкозы в крови и состоит из двух модулей: модуля управления и измерительного модуля.

В рамках модуля управления реализованы следующие функции: тестирование основных аппаратных узлов; считывание и хранение данных, вводимых пользователем, таких как референсные данные инвазивного глюкометра, дата и время; инициализация устройства; пользовательское меню (рисунок 3).

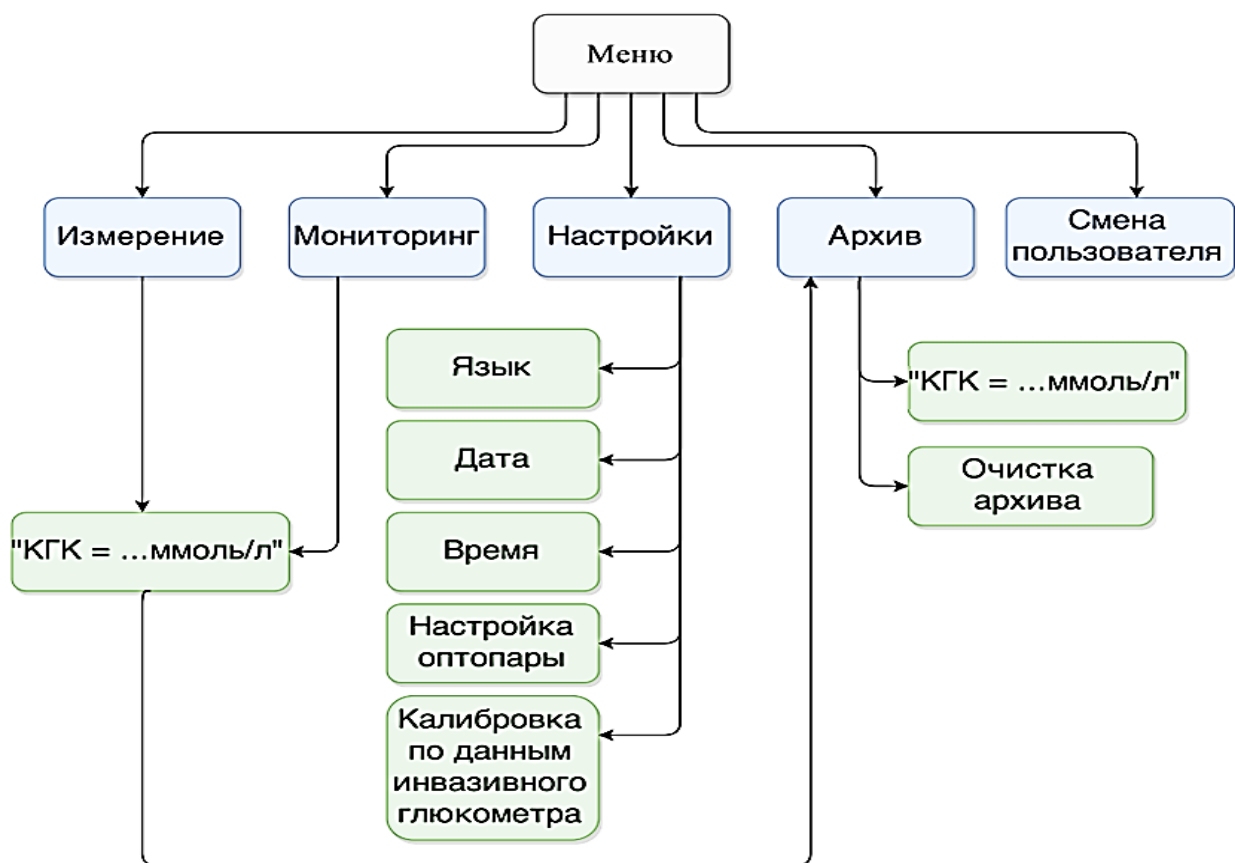


Рис. 3. Логическая схема пользовательского меню

Измерительный модуль предназначен для обеспечения процесса подготовки к измерениям концентрации глюкозы в крови и проведения измерений. Модуль состоит из трех программ: подготовка оптической пары (предназначена для введения оптической пары в стабильный режим работы); оптимизация режима работы оптической пары (предназначена для автоматического определения оптимальных временных параметров программы измерения); измерение концентрации глюкозы (проводит измерение оптических характеристик объекта и рассчитывает концентрацию глюкозы по референсным данным).

### *Список литературы*

1. DIN EN ISO 15197: In Vitro Diagnostic Test Systems – Requirements for Blood Glucose Monitoring Systems for Self-Testing in Managing Diabetes Mellitus (ISO 15197:2003). European Committee for Standardization, Brussels.

2. Yang W.S., Chang-dong D., Kim Y.O. Non-invasive method and apparatus for measuring blood glucose concentration // Patent № 5267152. – USA. – October 26, 1990.
3. Rosenthal R.D., Paynter L.N., Mackie L.H. Non-invasive measurement of blood glucose // Patent № 5028787. – USA. – January 19, 1989.
4. Acosta G., Henderson J.R., Monfre S.L., Blank T.B., Hazen K.H. Compact apparatus for noninvasive measurement of glucose through near-infrared spectroscopy // Patent № 20050020892. – USA. – April 7, 2004
5. Базаев Н.А., Пожар К.В. Исследование эффективности спектрофотометрического метода неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови. // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2013. – №1. – с. 28-30.
6. Литинская Е.Л., Пожар К.В. Разработка программного обеспечения для оптимизации измерений концентрации глюкозы в крови и управления оптическим неинвазивным глюкометром. // Микроэлектроника и информатика – 2015. 22-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов. – М.: МИЭТ, 2015. – с. 315.