

УДК 004.4

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.128802

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИПОКСИТЕРАПИИ

Слипченко В. Г., Полягушко Л. Г., Котунов В. О.

Объектом исследования является медицинское аппаратное и программное обеспечение для проведения гипокситерапии. Одним из более проблемных мест является автоматизация оценки состояния гемодинамики и системы дыхания пациента во время сеансов.

В ходе разработки комплекса для проведения гипокситерапии использовались современные аппаратные средства (датчики кислорода, углекислого газа, пульсоксиметрия и т. д.) и программные методы фильтрации сигналов. При разработке программного обеспечения для медперсонала использовались современные средства и технологии программирования (C#, MySql, CLIPS).

Получен принципиально новый автоматизированный программно-аппаратный комплекс, предназначенный для проведения диагностики и лечения пациентов. Это связано с тем, что предложенный комплекс имеет ряд особенностей реализации основных его блоков. В частности, автоматизированное рабочее место специалиста по гипокситерапии является динамической экспертной системой, которая получает данные с микроконтроллера в реальном времени во время сеансов, поэтому экспертная оценка делается сразу же. Система имеет полную базу знаний для проведения оценки сеансов диагностики и курса процедур для пациентов, уже имеющих развитую гипоксию (например, при хронической обструктивной болезни легких) и без нее.

Благодаря этому обеспечивается:

- возможность получения значений показателей состояния пациента (частота сердечных сокращений, сатурация крови, объем дыхания, частота дыхания, минутный объем дыхания) и состав вдыхаемой газовой смеси (концентрация кислорода и углекислого газа);

- предоставление экспертной оценки состояния пациента.

По сравнению с известными гипоксикаторами (Борей, AltiPower, CellAir One, ReOxy и др.) разработанный обеспечивает такие преимущества:

- проведение автоматизированной диагностики и оценки эффективности курса гипокситерапии;

- малые габариты конструкции для удобного использования даже в домашних условиях;

- невысокая и доступная стоимость комплекса для частных и государственных больниц, поликлиник, медицинских центров и спортивных комплексов.

Ключевые слова: *автоматизированный программно-аппаратный комплекс, экспертная система, диагностика состояния пациента при проведении гипокситерапии.*

1. Введение

Гипокситерапия – это один из перспективных немедикаментозных методов лечения и профилактики различных заболеваний, в основе которого лежит дыхание воздухом с пониженной концентрацией кислорода при нормальном атмосферном давлении [1]. Эффективность использования гипокситерапии в спортивной и медицинской практике доказана многолетними исследованиями ведущих специалистов Украины, Австралии [2], Германии, России, Белоруссии [3] и других стран для повышения устойчивости организма к негативным влияниям окружающей среды. Например, устойчивость при радиационном излучении, при лечении болезней органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, органов кровообразования, аллергических болезней кожи, диабета, хронических гинекологических болезней, стимуляции системы иммунологической защиты [4–6]. В связи с большой эффективностью и широким диапазоном применения метода стремительно развивается сфера разработки приборов и комплексов для проведения гипокситерапии – гипоксикаторов [7]. Анализ существующих приборов и комплексов показал, что в большинстве гипоксикаторов нет мониторинга состояния пациента, проведения диагностики и анализа полученных результатов процедур, поэтому использование метода ограничено.

Поэтому актуальным является разработка и исследование автоматизированного программно-аппаратного комплекса для проведения гипокситерапии, позволяющего проводить диагностику состояния гемодинамики и системы дыхания пациента при контролируемой подаче газовой гипоксической смеси.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования являются конструкции и программное обеспечение приборов, предназначенных для проведения гипокситерапии.

Анализ существующих приборов и комплексов для проведения гипокситерапии (табл. 1) [7–9] показал, что основная задача всех гипоксикаторов – это создание газовой гипоксической смеси и подача ее пациенту. Можно выделить два подхода создания смеси: респираторный та генераторный.

Таблица 1

Анализ гипоксикаторов

Название	Страна производит ель	Диапазон O ₂ , %	Количество пациентов, шт.	Продуктив ность, л/мин	Продолжит ельность сеанса, мин	Способ создания ГС	Тип ГС	Мощность, Вт	Габариты, см	Масса, кг	Измеритель ные параметры	Режимы работы
Вершина, Вершинка	Москва, Россия	10–21	1	–	30	Ререспират орный	Гипоксичес кая, гипероксич еская	–	–	0,35, 0,7	–	Лечение
AltiPower	Мельбурн, Австралия	9–21	1	–	30	Ререспират орный	Гипоксичес кая	–	52x38,5x25, 5	4,7	O ₂	Лечение
Гипотрон	Киев, Украина	8–17,5	1	10	50	Ререспират орный	Гипоксичес кая	25	50x18x12,6 22,5x20x13	4,2 2,0	ЧД, ОД, МОД, O ₂	Диагностик а, лечение
ReOxy	Люксембур г; Москва, Россия	10–14, 21, 35	1	25	30–60	Генераторн ый	Гипоксичес кая, гипероксич еская	460	90x60x50	38	ЧСС, SpO ₂ , O ₂ , NO ₂	Диагностик а, Лечение
CellAir One	Берлин, Германия; Москва, Россия	9–22, 36	1	–	–	Генераторн ый	Гипоксичес кая, гипероксич еская	600	50x53x103	18	ЧСС, SpO ₂ , O ₂	Лечение
GO2Altitud e® Нуроксикатор system	Мельбурн, Австралия	9–15	1, 2, 3, 4, 5	–	45–60	Генераторн ый	Гипоксичес кая	1500	27x35x10, 25x100x50	от 7 до 90	O ₂	Лечение
БИО- НОВА	Москва, Россия	10, 12; 9–16	1, 2, 4, 8	–	60	Генераторн ый	Гипоксичес кая	800– 1600	–	60–140	O ₂	Лечение
Нуроксико	Нью-Йорк, США	8–21	–	120	–	Генераторн ый	Гипоксичес кая	–	58,4x39,4x4 7	26	O ₂	Лечение
Борей	Киев, Украина	10–16	1–4	40–170	–	Генераторн ый	Гипоксичес кая	–	130x60x60	–	O ₂	Лечение

Примечание: ГС – газовая смесь; O₂ – кислород; NO₂ – азот; ЧД – частота дыхания; ОД – объем дыхания; МОД – минутный объем дыхания; ЧСС – частота сердечных сокращений; SpO₂ – сатурация крови.

Ререспираторный подход создает газовую смесь с помощью повторного дыхания пациента, а генераторный подход создает газовую смесь с воздуха с помощью газоразделительных мембран. Конструкции гипоксикаторов ререспираторного типа включают дыхательную маску, дыхательный мешок, картридж с поглотителем углекислого газа и регуляторы степени гипоксии. Недостатками таких гипоксикаторов является необходимость постоянной замены поглотителя углекислого газа и дезинфекция всех компонентов конструкции, а преимуществами – небольшие размеры, удобство использования в домашних условиях и невысокая стоимость. Упрощенная конструкция генераторного типа состоит из компрессора, мембранного блока, дыхательных трубок и маски, а также блока управления, который обеспечивает регулирование концентрации кислорода в газовой смеси и датчика кислорода. Недостатками таких конструкций являются большие габариты и высокая стоимость, а преимуществом – не нужно полностью проводить дезинфекцию аппарата, а только дыхательной трубки и маски, через которые дышит пациент.

Такие конструкции обеспечивают работу приборов в режиме лечения и измерения концентрации кислорода во вдыхаемой смеси, но для диагностики состояния пациентов во время сеансов необходимо использовать дополнительное оборудование. Это затрудняет работу и проведение процедуры гипокситерапии.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка аппаратного и программного обеспечения автоматизированного комплекса для проведения гипокситерапии с возможностями мониторинга и диагностики гемодинамики, и системы дыхания пациента во время проведения процедур и после них.

Для достижения этой цели необходимо решить задачи:

1. Рассмотреть компоненты для построения аппаратной конструкции комплекса, которая создает газовую гипоксическую смесь и проводит сбор данных о состоянии пациента.

2. Разработать программное обеспечение, позволяющее управлять сеансами и проводить сбор данных.

3. Разработать автоматизированное рабочее место специалиста по гипокситерапии, которое даст возможность просматривать статистическую информацию по всем курсам пациентов и проводить оценку состояния гемодинамики и системы дыхания пациента.

4. Исследование существующих решений проблемы

Среди существующих приборов для проведения гипокситерапии (табл. 1 [7–9]) можно выделить гипоксикаторы «Гипотрон» [10], ReOxy [11, 12] и CellAir One [13], которые оснащены дополнительными датчиками для определения состояния пациента во время процедуры.

Гипоксикатор «Гипотрон» относится к ререспираторному типу [14] и оснащен системой определения изменения потока воздуха, которая состоит из

датчика перепада давления и трубки. С помощью этой системы вычисляются параметры дыхания человека (объем дыхания, частота дыхания, минутный объем дыхания). Этот прибор может работать автономно или совместно с персональным компьютером. Программное обеспечение для врача позволяет собирать и сохранять информацию о состоянии пациента для дальнейшего просмотра, а также проводить процедуры в режиме диагностики, при котором постепенно опускается концентрация кислорода и фиксируются параметры дыхания человека. За счет этого быстро за один сеанс определяется оптимальный уровень кислорода для комфортного и безопасного лечения.

Приборы «ReOxy» и «CellAir One» относятся к генераторному типу [15] и оснащены пульсоксиметрами для определения параметров гемодинамики (частота сердечных сокращений и концентрацию кислорода в крови) во время сеансов. Эти приборы работают автономно, без возможности подключения к персональному компьютеру, что затрудняет возможность анализа состояния пациента за несколько сеансов. Программное обеспечение «ReOxy» [16] позволяет запускать режим диагностики, во время которого проводится гипоксическая проба по специально встроенной методике. На приборе «CellAir One» [17] диагностика проводится в режиме лечения при стабильной концентрации кислорода по определенной врачом методике.

Следовательно, на сегодняшний день не существует гипоксикатора, в котором бы проводилась оценка показателей гемодинамики и системы дыхания человека при проведении гипокситерапии. Также в большинстве гипоксикаторов отсутствует автоматизированный процесс определения оптимального уровня гипоксии для сеансов лечения. Решение этих задач и является основной целью новой разработки. При создании автоматизированного программно-аппаратного комплекса за прототип выбран гипоксикатор ререспираторного типа «Гипотрон». Данный прибор показал высокую надежность и безопасность во время многолетней эксплуатации и имеет невысокую стоимость по сравнению с гипоксикаторами генераторного типа.

5. Методы исследований

Разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса для проведения гипокситерапии состоит из создания аппаратного и программного обеспечения.

5.1. Аппаратная часть

Аппаратная реализация комплекса отображена на принципиальной схеме (рис. 1). На схеме отображены дыхательный контур, блок управления и система подачи газовой гипоксической смеси пациенту [18].

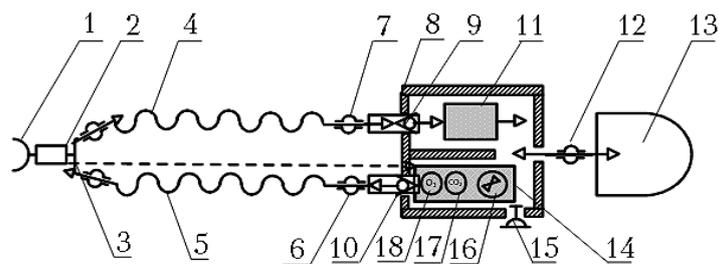


Рис. 1. Принципиальная схема комплекса

При проведении сеанса гипокситерапии пациент дышит газовой гипоксической смесью, которая находится в дыхательную камеру 8 и в дыхательном мешке с резервуарным объемом 13. Воздух, выдохнутый пациентом, проходит через дыхательную маску 1, датчик перепада давления 2, У-образный соединитель 3, шланг дыхания для выдоха 4, прямой коннектор 7, клапан выдоха 9. После этого воздух попадает в дыхательную камеру 8, а именно в емкость с поглотителем углекислого газа 11. Затем воздух попадает в дыхательном мешке с резервуарным объемом 13, создаваемое избыточное давление раздувает мешок. При вдохе пациента газовой гипоксической смеси проходит обратный путь через вторую часть дыхательной камеры, которая соединяется с блоком управления 14. Блок управления состоит из вентилятора 16, клапана лишнего давления 15, датчиков углекислого газа 17 и кислорода 18, а также микроконтроллера, на который поступает вся информация с устройств. Под действием вакуума клапан вдоха 10 открывается и воздух сквозь прямой коннектор 6, шланг дыхания для вдоха 5, У-образный соединитель 3, датчик перепада давления 2 и дыхательную маску 1 попадает в легкие пациента.

Общая структурная схема блока управления системы представлена ниже (рис. 2) [19].

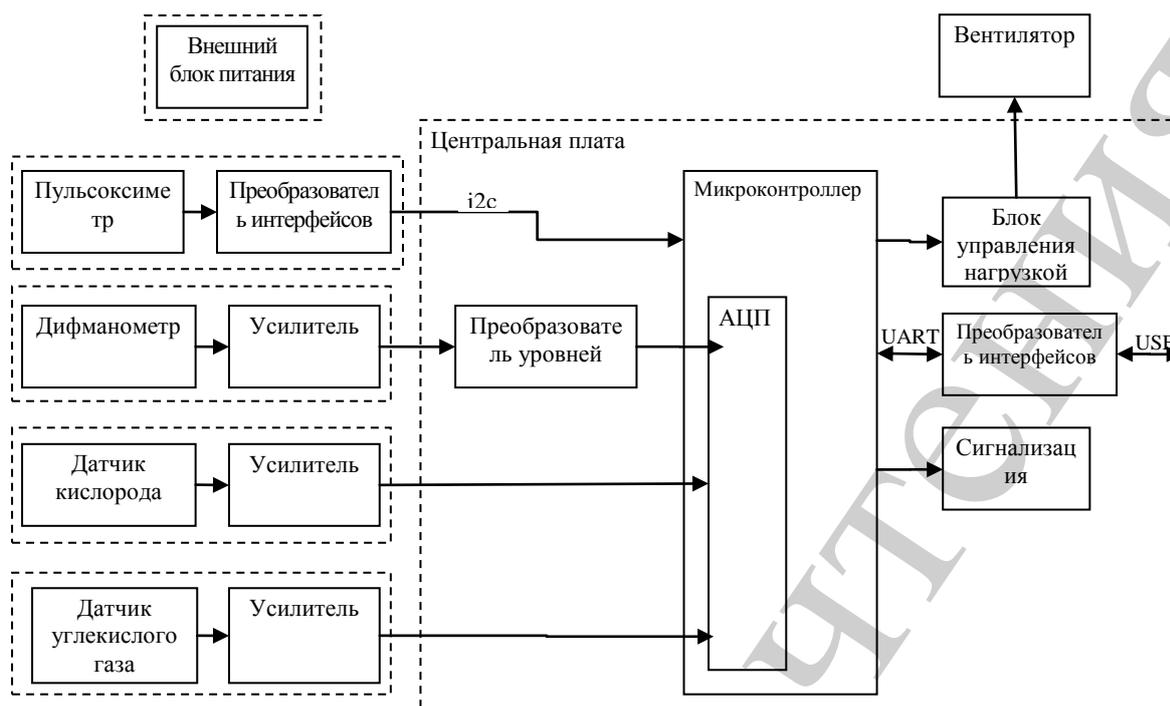


Рис. 2. Структурная схема: АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

Основной частью блока управления является микроконтроллер ATmega32A4 (США), что обеспечивает получение данных с датчиков, их математическую обработку и управление исполнительными устройствами, поддерживающими заданную концентрацию газов во вдыхаемой газовой гипоксической смеси. Кроме этого, микроконтроллер обеспечивает связь аппарата с персональным компьютером по протоколу USB.

Состояние пациента контролируется с помощью модуля пульсоксиметра и системы измерения потока воздуха. Состав вдыхаемой газовой гипоксической смеси измеряется датчиками концентрации кислорода и углекислого газа.

Пульсоксиметр является самостоятельным измерительным устройством, выполнен в виде пальцевого датчика и предназначен для контроля сатурации крови и частоты сердечных сокращений пациента. Диапазон измерений сатурации крови 0–100 %, частота сердечных сокращений – 30–250 уд/мин. Измеренные данные передаются по кабелю к основному модулю по протоколу i2c.

С помощью системы, которая состоит из датчика дифференциального давления и измерительной трубки, измеряется скорость потока вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Сигнал, полученный с датчика, усиливается и фильтруется аппаратными средствами. После чего подается на аналогово-цифровой преобразователь микроконтроллера, который выполняет программную фильтрацию, вычисления объема вдоха/выдоха и измерения частоты дыхания. Способ преобразования значения дифференциального давления в скорость потока зависит от конструкции и параметров измерительного элемента: трубки или диафрагмы. Данная система обеспечивает измерение объемов вдоха/выдоха от 250 мл до 6 л и частоты

дыхания от 5 до 30 мин⁻¹. Эти пределы предназначены для отбрасывания ложных и зашумленных измерений и, при необходимости, могут настраиваться программно пользователем.

Для определения концентрации кислорода используется электрохимический датчик кислорода КЕ-25 (Япония), который создает электродвижущую силу прямо пропорциональную концентрации кислорода в воздухе дыхательного контура. Сигнал с датчика после усиления поступает на вход аналогово-цифрового преобразователя микроконтроллера.

Датчик концентрации углекислого газа аналогичный датчику кислорода, но содержит встроенный электронагреватель. Для стабильной электрохимической реакции и корректных измерений, перед началом работы датчик должен прогреться (5–7 минут при комнатной температуре). Во время прогрева датчик должен находиться в среде с концентрацией углекислого газа не более 0,04 % (атмосферный воздух). Завершение прогрева и готовности к работе аппарат определяет автоматически, анализируя изменение электродвижущей силы на выходе датчика.

Для поддержания в дыхательном контуре заданной концентрации кислорода, предусмотрена подкачка атмосферного воздуха с помощью встроенного компрессора. Скорость вращения и время работы рассчитываются микроконтроллером с учетом разницы между заданной и измеренной концентрациями кислорода, а также скорости изменения концентрации.

Для обеспечения безопасности пациента микроконтроллером постоянно контролируются сатурация крови и частота сердечных сокращений, и в случае достижения критических значений срабатывает звуковая сигнализация, а компрессор переключается на постоянную подачу атмосферного воздуха.

5.2. Программная часть

Программная реализация комплекса делится на три программы: сервисная программа настройки автоматизированного программно-аппаратного комплекса, программное обеспечение микроконтроллера и автоматизированное рабочее место специалиста по гипоксическим тренировкам.

Сервисная программа настройки работы комплекса выполняет такие функции как: калибровка датчика кислорода, установка параметров безопасности и тестирование работы комплекса и всех его частей.

Поскольку в комплексе для определения концентрации кислорода используется электрохимический датчик кислорода КЕ-25, у которого характеристика со временем может меняться, то в приборе предусмотрено калибровка атмосферным воздухом (20,9 % кислорода) и пересчет коэффициента пропорциональности. Если после калибровки рассчитанное значение коэффициента пропорциональности выходит за пределы – пользователь получает сообщение о том, что необходимо заменить датчик.

Для обеспечения безопасности здоровья и жизни пациента вовремя сеансов гипокситерапии происходит постоянный контроль параметров: концентрации кислорода, углекислого газа, частоты дыхания, объема дыхания, частоты сердечных сокращений и сатурации крови. При выходе параметров за

установленные нормы может включаться сигнализация или останавливаться сеанс. Ниже приведены критические значения параметров (табл. 2), которые можно изменить в программе.

Таблица 2

Критические значения параметров безопасности

Параметры	Сигнализация	Завершение сеанса
Концентрация кислорода	меньше 8 %	
Концентрация углекислого газа	0,8 %	1 %
Частота сердечных сокращений	меньше 50 уд/мин или больше 110 уд/мин	меньше 40 уд/мин или больше 140 уд/мин
Сатурация крови	80 %	75 %

Программное обеспечение микроконтроллера состоит из нескольких функциональных частей (рис. 3).

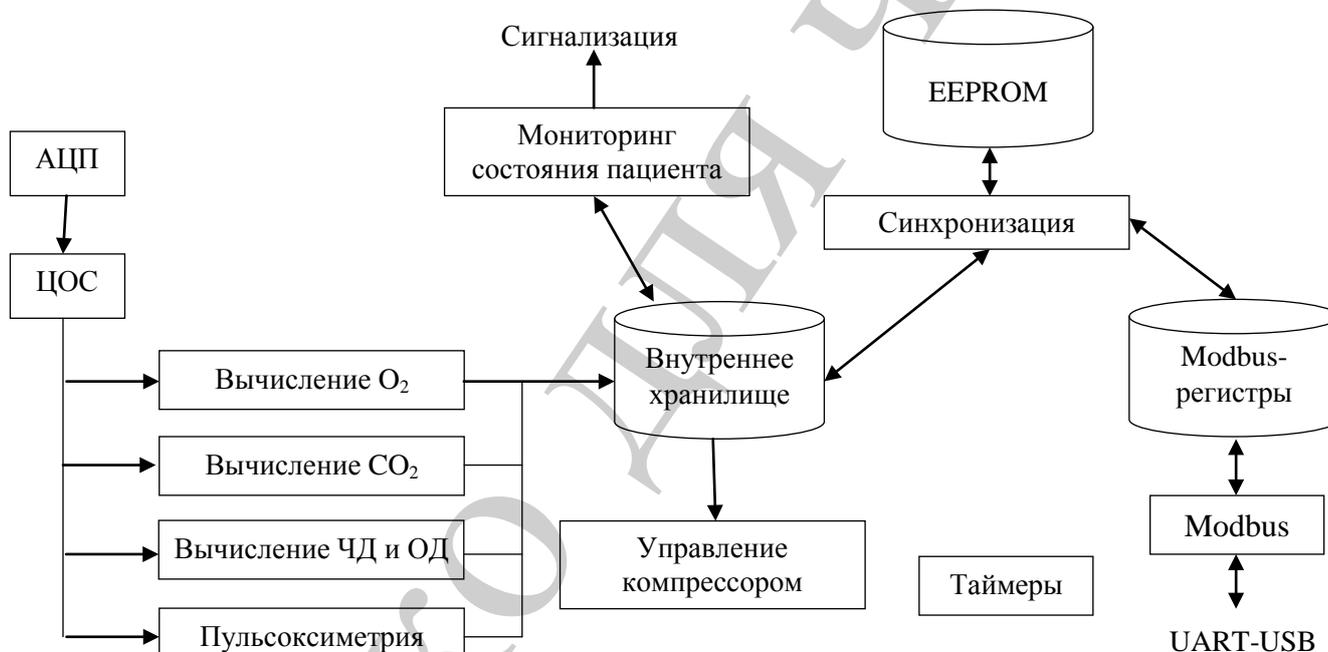


Рис. 3. Программное обеспечение микроконтроллера: АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ЦОС – цифровая обработка сигналов; ЧД – частота дыхания; ОД – объем дыхания; EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory; UART-USB – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter – Universal Serial Bus

Данные, полученные с аналогово-цифрового преобразователя, проходят первичную обработку средствами цифровой обработки сигналов, в частности, фильтрацию. По данным аналогово-цифрового преобразователя вычисляется концентрация газов в дыхательной смеси, дифференциальное давление в измерительном трубопроводе объемного расхода воздуха, интенсивность сигналов фотоплетизмограмм и другая служебная информация. По данным объемного расхода воздуха рассчитываются объем и частота дыхания.

Фотоплетизмограмма используется для анализа сердечного ритма и сатурации крови. Эта информация обрабатывается для определения состояния пациента и, при необходимости, включение сигнализации или прекращения процедуры. Взаимодействие с персональным компьютером врача и настройка осуществляются через протокол Modbus. Многозадачность и синхронизацию по времени обеспечивает система таймеров и прерываний.

Автоматизированное рабочее место специалиста по гипоксическим тренировкам устанавливается на персональный компьютер врача, схема программного обеспечения которого отображена на рис. 4.

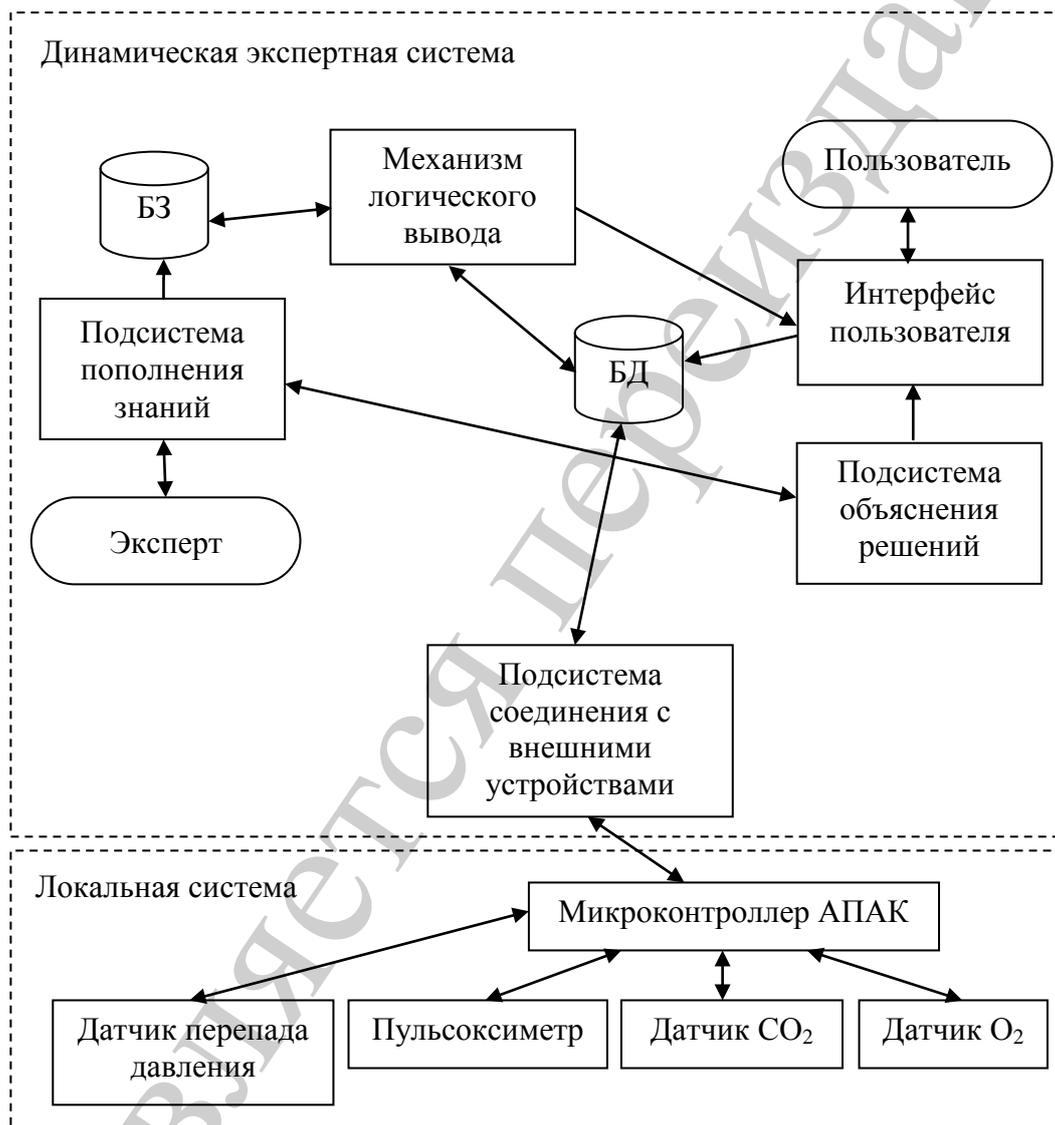


Рис. 4. Общая схема программного обеспечения на персональном компьютере врача: БЗ – база знаний; БД – база данных; АПАК – автоматизированный программно-аппаратный комплекс

Автоматизированное рабочее место специалиста является динамической экспертной системой. Система выполняет сбор данных о пациенте и сеансах с микроконтроллера, на который поступают данные с датчиков. Поступившие данные сохраняются в локальной базе данных. Отображение информации с

базы данных и вводимую пользователем отображается в интерфейсе пользователя. Система проводит оценивание сеансов диагностики и эффективности проведенного курса гипокситерапии. Эксперт (специалист в области гипокситерапии) вводит новые знания в виде правил и фактов, которые хранятся в базе знаний. На основе этого выдаются рекомендации о дальнейшем лечении или о необходимости дополнительного исследования пациента и консультации у других специалистов.

6. Результаты исследований

Внешний вид разработанного автоматизированного программно-аппаратного комплекса отображен на рис. 5.

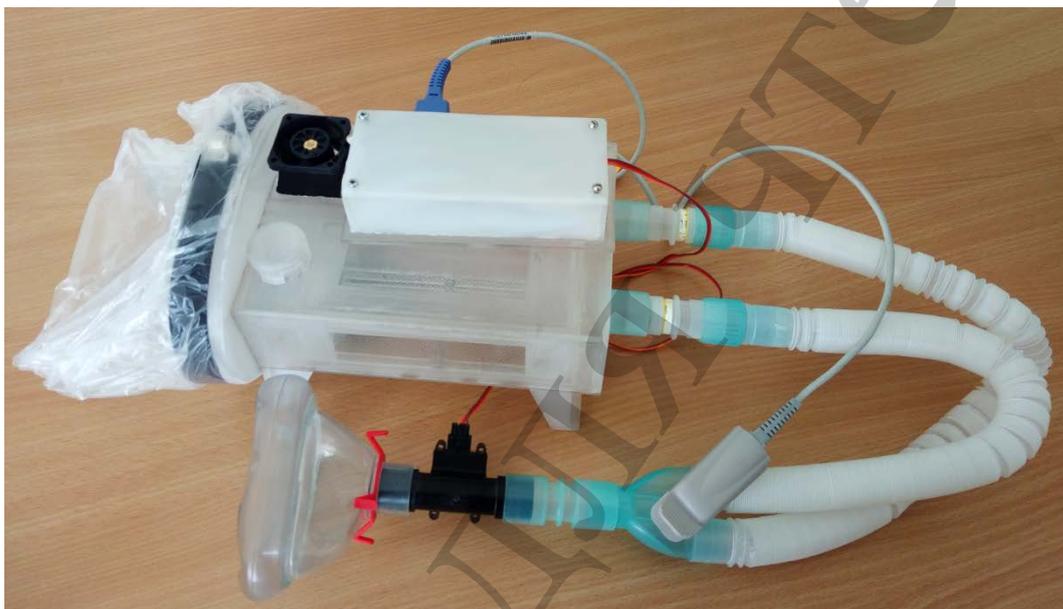


Рис. 5. Внешний вид разработанного автоматизированного программно-аппаратного комплекса для проведения гипокситерапии

Последний вариант конструкции автоматизированного программно-аппаратного комплекса состоит из трех частей блока управления, дыхательной камеры и системы подачи газовой гипоксической смеси пациенту. Особенностью его является разделение потоков вдоха и выдоха, что позволяет уменьшить объем мертвого пространства в системе подачи смеси. Это уменьшило расхождение между концентрацией кислорода, измеренной датчиком, и концентрацией кислорода, которая дошла по трубкам до пациента при длительном дыхании.

На рис. 6 отображены результаты исследования пациента в одном из доступных режимов (диагностика или лечения) проведения сеансов гипокситерапии.

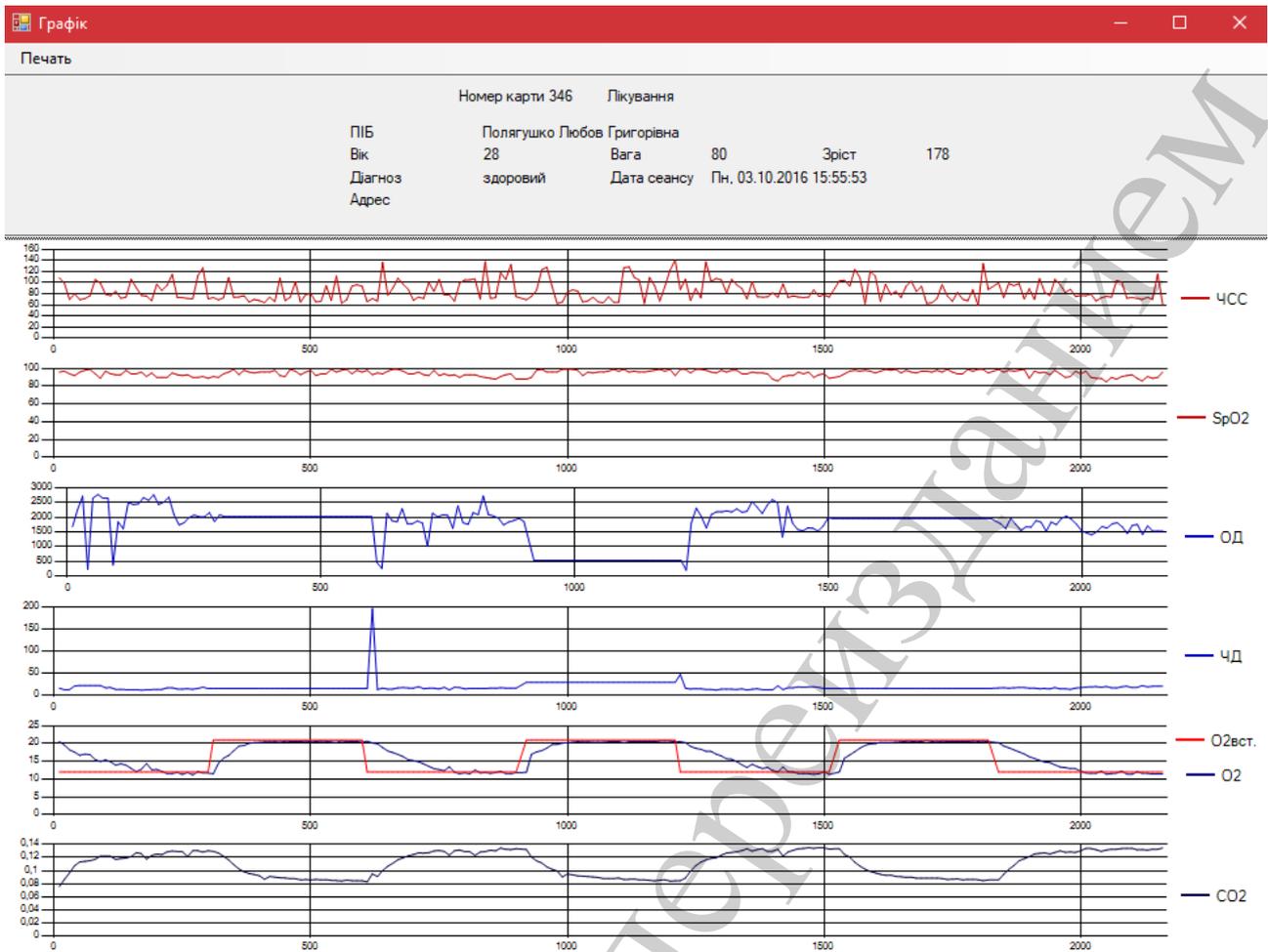


Рис. 6. Отображение результатов проведения сеанса гипокситерапии в режиме лечения

Эффективность и работоспособность автоматизированного программно-аппаратного комплекса подтверждена:

- клиническими исследованиями Института геронтологии имени Д. Ф. Чеботарёва НАМН Украины;
- полученными методическими рекомендациями Министерства здравоохранения «Применение интервальных нормобарических гипоксических тренировок у больных пожилого возраста с хроническим обструктивным заболеванием легких» № 42.17/86.17 от 21.04.2017. Комплекс и методические рекомендации рекомендуются для внедрения в лечебно-профилактических учреждениях Министерства здравоохранения (областных, городских и районных) пульмонологического и терапевтического профиля.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. Разработанный автоматизированный программно-аппаратный комплекс для проведения гипокситерапии позволяет минимизировать ошибки из-за человеческого фактора в диагностике и оценке состояния пациента во время сеансов, а также делает более конформной работу медперсонала. Цена комплекса по сравнению с аналогами, например, CellAir One в 10 раз дешевле. Компактные габариты комплекса позволяют использовать его в домашних

условиях. Широкое применение методики гипокситерапии в медицинской и спортивной практике, реализованное в данном аппарате, позволяет использовать его в больницах, поликлиниках, медицинских центрах, спортивных секциях и в учреждениях образования.

Weaknesses. До слабых сторон комплекса можно отнести необходимость дезинфекции дыхательного контура прибора после каждого пациента, что приводит к увеличению необходимого времени подготовки прибора к эксплуатации. Но это решается за счет использования нескольких комплектов дыхательной камеры аппарата и системы подачи газовой гипоксической смеси пациенту, что позволит уменьшить время необходимое для подготовки прибора к сеансам между пациентами.

Opportunities. Использование автоматизированного программно-аппаратного комплекса для проведения гипокситерапии на предприятиях позволит уменьшить расходы на выплату больничных за счет укрепления иммунитета сотрудников и как следствие сократить их заболеваемость. А также увеличит стрессоустойчивость, умственную и физическую работоспособность сотрудников, что позволит увеличить прибыль предприятия за счет более эффективной работы.

Threats. При изготовлении этого комплекса используются качественные иностранные датчики, которые закупаются в иностранной валюте, поэтому повышение курса валют приведёт к увеличению цены в гривнах.

8. Выводы

1. Проведённый анализ и исследования компонентов существующих гипоксикаторов позволили разработать принципиально новый автоматизированный программно-аппаратный комплекс для проведения гипокситерапии. Конструкции комплекса являются оптимальной по цене изготовления, сроку эксплуатации и меньшей окупаемости по сравнению с аналогами. Конструкции приведены в патентах № 113908 «Автоматизированный программно-аппаратный комплекс «Гипотрон-М», № 115261 «Устройство для определения устойчивости организма человека к гипоксии» и № 123682 «Автоматизированный программно-аппаратный комплекс для проведения гипоксических тренировок».

2. Разработано программное обеспечение для микроконтроллера, которое позволяет обрабатывать сигналы с разных типов датчиков и устройств (газоанализаторов, перепада давления и пульсоксиметра). По результатам работы получено авторское право на компьютерную программу № 75868 «Система сопровождения интервальных нормобарических гипоксических тренировок».

3. Разработано автоматизированное рабочее место специалиста по гипоксическим тренировкам, которое позволяет минимизировать ошибки из-за человеческого фактора в диагностике и оценке состояния пациента во время сеансов. Оно позволяет также сделать более конформной работу медперсонала с этим комплексом. На данную разработку также получено авторское право на

компьютерную программу № 75870 «Автоматизированное рабочее место специалиста по гипоксическим тренировкам».

References

1. Hipoksiia yak metod pidvyshchennia adaptatsiinoi zdatnosti orhanizmu / Korkushko O. V. et al.; ed. by Korkushko O. V., Slipchenko V. H. Kyiv: NTUU «KPI», 2015. 482 p.
2. Regulation of Hypoxic Therapy and Altitude Training Devices in Australia. Australian Government. July 29, 2008. 33 p. URL: <http://www.tga.gov.au/sites/default/files/consult-devices-hypoxic-080729.pdf>
3. Nikolaeva A. G. Ispol'zovanie adaptatsii k gipoksii v meditsine i sporte: monograph. Vitebsk: VGMU, 2015. 150 p.
4. Intermittent hypoxia and human diseases / ed. by Xi L., Serebrovskaya T. V. London: Springer, 2012. doi:[10.1007/978-1-4471-2906-6](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2906-6)
5. Ishhuk V. A., Shatilo V. B. Izmenenie potrebleniya kisloroda pri standartnoy fizicheskoy nagruzke u lyudey pozhilogo vozrasta pod vliyaniem kursa interval'nykh normobaricheskikh gipoksicheskikh trenirovok: proceedings // Gipoksiya: mekhanizmy, adaptatsiya, korrektsiya. Moscow, 2005. P. 51.
6. Basovich S. N. Trends in the use of preconditioning to hypoxia for early prevention of future life diseases // BioScience Trends. 2013. Vol. 7, No. 1. P. 23–32. doi:[10.5582/bst.2013.v7.1.23](https://doi.org/10.5582/bst.2013.v7.1.23)
7. Poliagushko L. H. Hipoksykatory ta yikh klasyfikatsiia // Hipoksiia yak metod pidvyshchennia adaptatsiinoi zdatnosti orhanizmu / ed. by Korkushko O. V., Slipchenko V. H. Kyiv: NTUU «KPI», 2015. P. 182–187.
8. Lopata V. A., Serebrovskaya T. V. Hypoxicators: review of the operating principles and constructions / ed. by Xi L., Serebrovskaya T. V. // Intermittent hypoxia and human diseases London: Springer, 2012. P. 291–302. doi:[10.1007/978-1-4471-2906-6_24](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2906-6_24)
9. Serebrovskaya T. V., Xi L. Intermittent hypoxia training as non-pharmacologic therapy for cardiovascular diseases: Practical analysis on methods and equipment // Experimental Biology and Medicine. 2016. Vol. 241, No. 15. P. 1708–1723. doi:[10.1177/1535370216657614](https://doi.org/10.1177/1535370216657614)
10. Device for breathing hypoxic mixtures: Patent No. 74516 UA, MPK: A61M 16/00 / Slipchenko V. H., Shulzhenko O. F., Denysenko H. T. Published: 15.12.2005. Bul. No. 12.
11. Device for Complex Interval Normobaric Hypoxic-Hyperoxic Training of a Human: Patent No. 20090183738 US / Kostin A. I. et al. Published: 23.07.2009.
12. ReOxy. General description. URL: <http://www.aimediq.com/general-description.htm>
13. CELLGYM Methode. URL: <https://cellgym.de/>
14. Nemerovskii L. I. Design of equipment for intermittent normobaric hypoxia // Biomedical Engineering. 1992. Vol. 26, No. 1. P. 1–5. doi:[10.1007/bf00562631](https://doi.org/10.1007/bf00562631)

15. Berestyuk G. I., Rozhanchuk V. N., Grishhenko V. I. Membrannoe gazorazdelenie v biologii i meditsine // Oroterapiya. Doklady akademii problem gipoksii. Vol. II. Kyiv, 1998. P. 13–18.
16. ReOxy 60-1001. Klinicheskoe rukovodstvo. Russia, 2013. 24 p.
17. HandBuch «CellAir One». Germany, 2016. 24 p.
18. Avtomatyzovanyi prohramno-aparatnyi kompleks dlia provedennia hipoksychnykh trenuvan: Patent No. 123682 UA / Kotunov V. O. et al. Published: 12.03.2018. Bul. No. 5.
19. Membrane technology as a basis for creation of treatment-and-prophylactic equipment for inhalation therapy and normobaric hypoxia / Rozhanchuk V. N. et al. // Fiziol Zh. 1992. Vol. 38. P. 91–94.

Т О Л Ь К О Д Л Я Ч Т Е Н Ь Я