

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДОСТАВКИ КИСЛОРОДА ПРИ
ХРОНИЧЕСКОЙ ДЫХАТЕЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

О.Б. Зельманский¹ (к.т.н.), Е.И. Давидовская² (к.м.н)

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

²Белорусская медицинская академия последипломного образования

г. Минск, Республика Беларусь

Введение. В настоящее время хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) представляется одной из основных проблем здравоохранения, поскольку связана с увеличением распространенности (на 40% в течение 90-х годов), ростом заболеваемости, потерей трудоспособности и ростом смертности. При тяжелых формах ХОБЛ у пациентов развивается хроническая дыхательная недостаточность, представляющая собой патологический синдром, сопровождающийся снижением парциального напряжения кислорода артериальной крови (P_{aO_2}) менее 60 мм.рт.ст., а затем и повышением парциального напряжения углекислоты (P_{aCO_2}) более 45 мм.рт.ст [1,2]. Основным методом лечения дыхательной недостаточности – пролонгированная кислородотерапия [3], целью которой является достижение значений P_{aO_2} более 60 мм.рт.ст., насыщения кислородом артериального гемоглобина (сатурации кислорода) - SaO_2 более 90% [2]. Длительная кислородотерапия на сегодняшний день является единственным методом лечения хронической дыхательной недостаточности, улучшающим выживаемость больных ХОБЛ [1]. У больных ХОБЛ с развившейся гипоксемией длительная кислородная терапия способна продлить жизнь на 6–7 лет.

Методы. В качестве источника кислорода при длительной кислородотерапии применяются баллоны, наполненные газообразным сжатым кислородом; баллоны с жидким кислородом; устройства для получения кислорода из перекисных и других химических соединений; концентраторы кислорода, отделяющие кислород от воздуха хроматографически или на основе электрохимической генерации кислорода; пермеаторы, обогащающие воздух кислородом путем удаления азота через селективную полимерную мембрану [2].

Очевидно, что кислородные баллоны и кислородные подушки, которые требуют регулярной перезаправки, являются небезопасными и неудобными в применении и заставляют отказываться от кислородной терапии. Однако с разработкой концентраторов кислорода стало возможным получать очищенный до 95% кислород из окружающего воздуха. Данная методика позволяет проводить пролонгированную кислородотерапию не

только в стационаре, но и в домашних условиях. Необходимо лишь подключение к сети 220 Вольт [4].

В основе работы адсорбционных концентраторов кислорода лежит короткоцикловая безнагревная адсорбция - КБА (PSA – «Pressure Swing Adsorption»), характеризующаяся тем, что при давлении выше атмосферного (4–6 атмосфер) происходит поглощение адсорбентом преимущественно молекул азота с получением потока кислорода. В качестве адсорбента применяются синтетические цеолиты, способные поглощать молекулы азота и пропускать молекулы кислорода. Это обусловлено тем, что диаметр молекулы азота немного превосходит диаметр молекулы кислорода.

На сегодняшний день в Республике Беларусь зарегистрированы кислородные концентраторы «Оксимед», прошедшие клинические испытания и разрешенные к медицинскому применению. Небольшие габариты позволяют применять данные концентраторы для длительной кислородотерапии в амбулаторных условиях, как на дому, так и в условиях дневного стационара.

При проведении длительной кислородотерапии важен постоянный контроль SaO_2 и частоты сердечных сокращений. Для этого применяют портативный пульсоксиметр. Пульсоксиметр состоит из датчика, микропроцессора, дисплея, показывающего кривую пульса, значение сатурации и частоты пульса. Датчик устанавливается в периферических отделах организма, например, на пальцах, мочке уха или крыле носа. Датчик представляет собой комбинацию двух светодиодов, один из которых излучает видимый свет красного спектра (660 нм), а второй дает невидимое глазу инфракрасное излучение (940 нм). На противоположной части датчика находится фотодетектор, определяющий интенсивность падающего на него светового потока. Когда между светодиодами и фотодетектором находится палец или мочка уха пациента, часть излучаемого света поглощается кровью и мягкими тканями в зависимости от концентрации в них гемоглобина. Количество поглощенного света каждой из длин волн зависит от степени оксигенации гемоглобина в тканях. Насыщение артериальной крови кислородом, измеренное методом пульсоксиметрии, обозначается SpO_2 .

В настоящее время в Республике Беларусь применяются портативные пульсоксиметры «Оксимед». Они зарегистрированы в Министерстве здравоохранения Республики Беларусь, прошли клинические испытания и разрешены к медицинскому применению.

С целью обеспечения автоматической подачи кислорода пациенту в необходимом количестве и необходимой концентрации в соответствии с результатами мониторинга содержания кислорода в кровотоке пациента и его пульса предлагается автоматизированная

система доставки кислорода пациенту [5]. Сущность предлагаемого технического решения состоит в том, что автоматизированная система доставки кислорода пациенту содержит:

1. Датчик измерения содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента «Оксимед», модель JPD-500, обеспечивающий:

- измерение SpO_2 в диапазоне 70-100% с погрешностью в пределах $\pm 2\%$ в диапазоне 80-99% и $\pm 3\%$ в диапазоне 70-79%;

- измерение пульса в диапазоне 30-235 ударов в минуту с погрешностью в пределах ± 2 удара в минуту в диапазоне 30-99 ударов в минуту и $\pm 3\%$ в диапазоне 100-235 ударов в минуту.

2. Концентратор кислорода «Оксимед», модель F7-5 производительностью до 5 литров в минуту, обеспечивающий выработку кислородсодержащей воздушной смеси с объемной долей кислорода не менее 87%.

3. Подсистему пневматики (рисунок 1), которая обеспечивает смешивание кислорода, поступающего от концентратора кислорода, и воздуха с образованием газообразной смеси, имеющей требуемую концентрацию кислорода, и ее доставку пациенту.

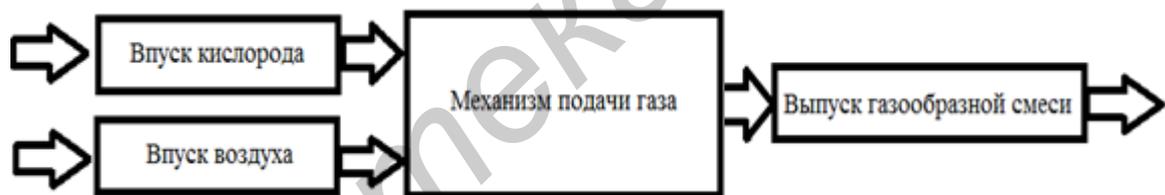


Рисунок 1 – Структурная схема подсистемы пневматики

4. Управляющую подсистему, соединенную с датчиком и подсистемой пневматики, и в свою очередь включающую:

- устройство ввода, предназначенное для задания желательной концентрации кислорода в кровотоке пациента;

- сенсорный интерфейс для получения данных измерений датчика;

- интерфейс подсистемы пневматики для отсылки команд и получения данных от подсистемы пневматики;

- интерфейс концентратора кислорода;

- процессор, осуществляющий управление концентрацией и количеством подаваемого кислорода исходя из данных измерений датчика и заданной желательной концентрации кислорода в кровотоке пациента.

Структурная схема автоматизированной системы доставки кислорода пациенту представлена на рисунке 2.

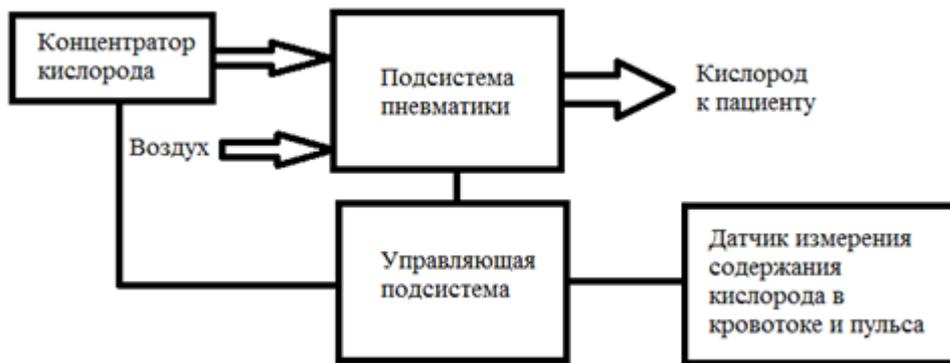


Рисунок 2 – Структурная схема автоматизированной системы доставки кислорода пациенту

Система функционирует следующим образом. Датчик измерения содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента определяет значения концентрации кислорода в кровотоке пациента и его пульса и передает эти значения управляющей подсистеме по средствам сенсорного интерфейса. Управляющая подсистема на основании введенного с помощью устройства ввода желательного значения концентрации кислорода в кровотоке и полученных от датчика фактических значений отсылает команды и получает данные от концентратора кислорода по средствам интерфейса концентратора кислорода и подсистемы пневматики по средствам интерфейса подсистемы пневматики. Концентратор кислорода обеспечивает выработку из атмосферного воздуха кислородсодержащей смеси, заданного процессором объема, которая через выход кислорода поступает на впуск кислорода подсистемы пневматики. Механизм подачи газа смешивает получаемый от впуска кислорода кислород и получаемый от впуска воздуха воздух с образованием газообразной смеси, заданной процессором концентрации, и доставляет ее пациенту по средствам выпуска газообразной смеси.

Результаты и обсуждение. На рисунке 3 приведен график зависимости содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента от времени в вечерние и ночные часы посредством портативного пульсоксиметра.

Как видно из рисунка после 23:20 наблюдается значительное снижение SpO_2 и, как следствие, повышение пульса. Применение предлагаемой автоматизированной системы в данном случае позволило бы зафиксировать момент выхода значений контролируемых параметров пульса и содержания кислорода в кровотоке за установленные граничные значения и начать подачу кислорода, необходимой концентрации и в необходимом объеме пациенту. Концентрация и количество, подаваемого кислорода, рассчитываются исходя из значений содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента, с учетом диагноза и статистики наблюдения.

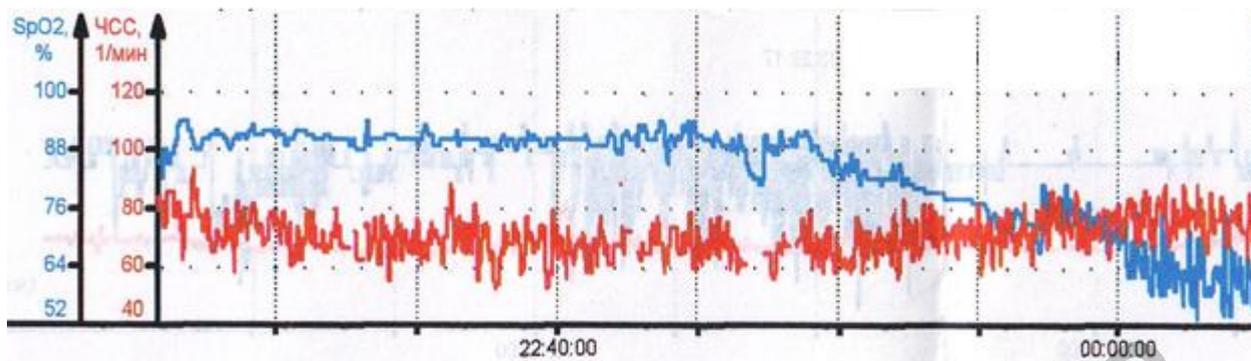


Рисунок 3 – График зависимости содержания кислорода в кровотоке и пульса пациента от времени

Выводы. Таким образом, применение предлагаемой системы позволяет обеспечить автоматическую доставку кислорода, вырабатываемого из атмосферного воздуха, требуемой концентрации и в требуемом объеме, пациенту в соответствии с концентрацией кислорода в его кровотоке с целью кислородной терапии при различных заболеваниях, сопровождающихся хронической дыхательной недостаточностью.

Литература

1. Титова, О.Н. Клинические и фармако-экономические подходы к эффективной медицинской реабилитации больных инвалидов по хронической обструктивной болезни легких: автореф. дис. ... докт. мед.наук : 14.00.51 ; 14.00.43 / О.Н. Титова ; Санкт-Петербургский гос. мед. ун-т им. акад. И.П. Павлова. – Санкт-Петербург, 2008. – 39 с.
2. Инструкция по применению кислородотерапии при хронических обструктивных болезнях легких: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 01.07.05. – Минск : Дикта, 2005. – 10 с.
3. Авдеев, С.Н. Дыхательная кислородная терапия при хронической недостаточности / С.Н. Авдеев. – Москва : ФГУ НИИ Пульмонологии Росздрава, 2011. – 16 с.
4. Зельманский, О.Б. Применение концентраторов кислорода при кислородной терапии / О.Б. Зельманский, А.В. Юшкевич // Хроническая обструктивная болезнь легких. Современные аспекты лечения: материалы Республ. научн.-практ. конф., Витебск, 25 апреля 2014 г. / Витебский гос. мед. ун-т. – Витебск, 2015. – С. 127.
5. Автоматизированная система доставки кислорода пациенту: пат. 10536 Респ. Беларусь, МПК8 А61М 16/00, В01D 53/04 / О.Б. Зельманский, Б.В. Зельманский; заявитель ООО «Борлен». – № u20140236; заявл. 26.06.2014 ; опубл. 28.02.2015 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. – № 1(102). – С. 131–132.