

УДК 615.835.3

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОЙ ТЕРАПИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ И ЕЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ В ВИДЕ ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДА КИСЛОРОДА

**Зельманский Олег Борисович**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры защиты информации  
«Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники»  
Минск, Республика Беларусь

***Абстракт.** Аргументирована целесообразность коррекции скорости подачи кислорода пациенту в ходе терапии дыхательной недостаточности на основе мониторинга значений сатурации и пульса для оптимизации расхода запасов кислорода и повышения эффективности кислородной терапии. Предложены соответствующая методика и реализующее ее устройство.*

***Ключевые слова:** кислородная терапия, дыхательная недостаточность, пульсоксиметрия, оптимизация расхода кислорода, коронавирусная инфекция, COVID-19.*

***Abstract.** The practicability of correcting the flow rate of oxygen delivery to the patient during the treatment of respiratory failure based on monitoring the values of saturation and pulse to optimize the consumption of oxygen reserves and to increase the effectiveness of oxygen therapy is argued. The corresponding method and the device realizing it are offered.*

***Keywords:** oxygen therapy, respiratory failure, pulse oximetry, optimization of oxygen consumption, coronavirus infection, COVID-19.*

### **Введение**

Продолжающееся распространение в мире коронавируса SARS-CoV-2 ведет к увеличению числа пациентов с коронавирусной инфекцией COVID-19. Как показывает практика, примерно у 14% пациентов наблюдается тяжелое течение заболевания, требующее госпитализации и проведения кислородной терапии, а у 5% – требующее перевода в отделение интенсивной терапии [1]. Таким образом, достаточно актуальной является задача оптимизации использования кислорода. Одним из способов рационального расходования запасов кислорода является применение кислородных концентраторов, обеспечивающих выработку кислорода непосредственно из атмосферного воздуха. При этом для их работы необходимо только подключение к сети электропитания 220В. Такой подход позволяет снизить расход запасов сжиженного кислорода в среднем на 30%. В то же время увеличение количества концентраторов кислорода и их производительности ведет к росту энергопотребления, поскольку средняя потребляемая мощность одного аппарата составляет 300-500 Вт. Но если для современных учреждений здравоохранения установка кислородных концентраторов позволяет оптимизировать расход запасов кислорода, то для стационаров, не имеющих современных систем энергоснабжения, такой подход имеет ограниченную эффективность. Таким образом, с целью эффективного расходования кислорода предлагается методика адаптивной терапии дыхательной недостаточности и ее аппаратно-программная реализация в виде изделия медицинской техники.

### **Методика адаптивной терапии дыхательной недостаточности**

Применение кислорода при длительной терапии пациентов с дыхательной недостаточностью при COVID-19, ХОБЛ, а также других заболеваниях требует соблюдение режима и дозировки [2]. Следует отметить, что если при первоначальном назначении кислородной терапии рекомендации по дозировке и выбору режима могут соблюдаться, то их коррекция, тем более оперативная, не всегда возможна. Таким образом, сложность своевременного контроля и коррекции параметров потока кислорода на основании изменения

состояния пациента не только негативно сказывается на результатах терапии, но может быть причиной перерасхода кислорода, поскольку при увеличении содержания кислорода в артериальной крови (сатурации) пациента через определенное время после начала сеанса кислородной терапии, целесообразно уменьшение количества подаваемого пациенту кислорода. При этом обязателен дальнейший мониторинг состояния пациента с целью недопущения падения сатурации.

Таким образом, предлагается методика адаптивной терапии дыхательной недостаточности, состоящая в следующем. Первоначальное измерение пульса и сатурации пациента и подбор соответствующей дозировки. В случае применения в качестве устройства доставки кислорода пациенту назальных канюль, дозировка подбирается согласно таблице 1.

Таблица 1– Дозировка кислородной терапии посредством назальной канюли

Сатурация без кислородной терапии, %	Скорость потока кислорода 90%, л/мин
88-90	1
85-87	2
81-84	3
75-80	4-5

Начало кислородной терапии. Непрерывный мониторинг сатурации и пульса пациента. Коррекция потока кислорода при изменении данных параметров. При использовании назальных канюль коррекция выполняется согласно таблице 1.

Как показывает практика, у пациентов с дыхательной недостаточностью после нарастания содержания кислорода в артериальной крови в процессе кислородной терапии, его поддержание возможно меньшим потоком подаваемого кислорода. Так, если при начале кислородной терапии сатурация пациента составляет 82-83% и назначается кислород со скоростью потока 3 л/мин, то, в случае если сатурация возрастет до 90%, скорость потока может быть снижена до 1 л/мин при условии, что сатурация не начнет снижаться. При достижении значения сатурации 94-96% возможно прекращение подачи дополнительного кислорода. В то же время постоянный мониторинг состояния пациента позволит своевременно выявить падение сатурации и соответствующим образом увеличить скорость подачи кислорода.

#### **Аппаратно-программная реализация методики адаптивной терапии дыхательной недостаточности**

Реализация предлагаемой методики адаптивной терапии дыхательной недостаточности выполнена в виде аппаратно-программного изделия медицинской техники, структурная схема которого представлена на рисунке 1.

Согласно рисунку 1 предлагаемое устройство работает следующим образом. Посредством интерфейса ввода/вывода осуществляется настройка устройства, а именно устанавливаются целевые значения сатурации и пульса пациента, режимы дозирования кислорода, задержка регулировки скорости потока кислорода, указывается диагностированное заболевание. Датчик измерения сатурации и пульса выполняет постоянное измерение параметров пациента и передает эти значения в модуль управления. На основании измеренных датчиком значений сатурации и пульса модуль управления с помощью регулятора потока кислорода осуществляет регулировку скорости потока подаваемого пациенту кислорода, а также посредством интерфейса ввода/вывода отображает параметры пациента.



Рисунок 1. Структурная схема устройства адаптивной терапии дыхательной недостаточности

### Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 представлен график зависимости сатурации и пульса пациента от времени, измеренные посредством сертифицированной пульсоксиметрической системы Пульсар, до начала и во время кислородной терапии, проводимой с помощью предлагаемого устройства.

Кислород подавался из кислородного баллона посредством назальной канюли через регулятор потока и увлажнитель. Начальное значение скорости потока кислорода 5 л/мин. Согласно правой части графика, через определенное время после начала кислородной терапии наблюдалось возрастание значения сатурации и, как следствие, снижение частота пульса. При достижении значения сатурации 90% скорость потока подаваемого кислорода была снижена до 1 л/мин. Снижения сатурации при этом не наблюдалось.

Таким образом, в данном случае в ходе проведения кислородной терапии расход кислорода сократился в 5 раз, эффективность терапии при этом не снизилась.

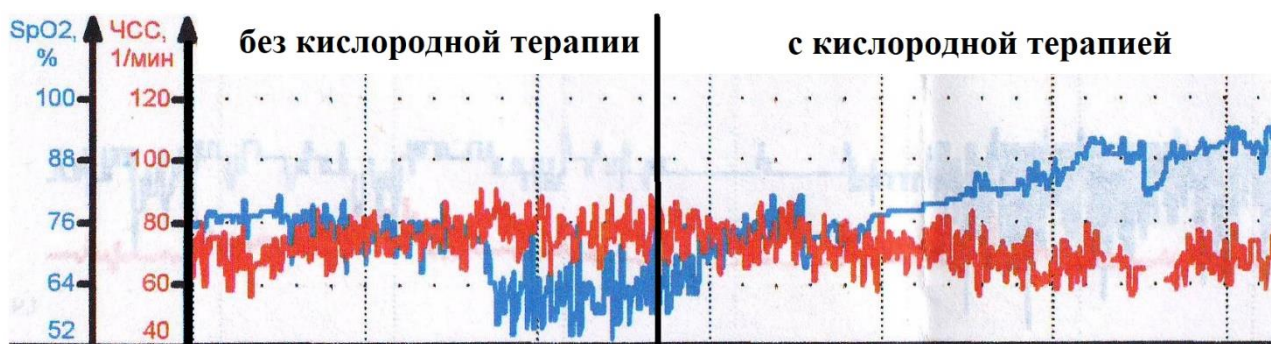


Рисунок 2. График зависимости сатурации и пульса пациента от времени

Устройство адаптивной терапии дыхательной недостаточности может работать с любым источником кислорода как со стационарной кислородной системой, использующей кислородные баллоны, так и с кислородными концентраторами [3].

Отдельное внимание следует уделить типу применяемого устройства доставки кислорода пациенту, так как он влияет на долю кислорода во вдыхаемом воздухе (таблица 2) и, как следствие, на дозировку [4].

Таблица 2– Зависимость доли кислорода во вдыхаемом воздухе от типа устройства доставки и скорости потока кислорода

Тип устройства доставки кислорода пациенту	Скорость потока кислорода, л/мин	Доля кислорода во вдыхаемом воздухе, %
Низкопоточная назальная канюля	5	40
Простая лицевая маска	6	50
Высокопоточная лицевая маска с увлажнением	8	80
Маска Вентури	8	80
Маска с резервуаром	10	99

Таким образом, для разных типов устройств доставки кислорода пациенту, необходимо устанавливать разные режимы дозирования.

Устройство может применяться для пациентов с дыхательной недостаточностью (COVID-19, ХОБЛ, астма, альвеолит, БАС и т.д.) во время течения заболевания, а также во время реабилитации как в учреждениях здравоохранения, так и на дому.

### Заключение

Предложена методика и реализующее ее устройство адаптивной терапии дыхательной недостаточности, которое позволяет в автоматическом режиме контролировать значения сатурации и пульса пациента, фиксировать факты снижения сатурации, обеспечивать проведение кислородной терапии с необходимой дозировкой и необходимой продолжительности и подстраивать поток кислорода под текущее состояние пациента, что на практике обеспечивает оптимизацию расхода кислорода при повышении эффективности терапии.

### Список использованных источников

1. Перечень приоритетных устройств медицинского назначения для осуществления мер реагирования на COVID-19 и соответствующие технические характеристики / Всемирная организация здравоохранения: временные рекомендации 19 ноября 2020 г. Режим доступа <https://www.who.int/ru/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-MedDev-TS-O2T.V2> (дата обращения: 01.04.2022).

2. Давидовская, Е.И. Дыхательная недостаточность: техническое обеспечение диагностики и респираторной поддержки / Е.И. Давидовская, А.С. Дубровский, О.Б. Зельманский // Доклады БГУИР. – 2020. – № 8 (18). – С. 29–36.

3. 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.

4. Давидовская, Е.И. Устройство для проведения длительной кислородной терапии / Е.И. Давидовская, О.Б. Зельманский // Доклады БГУИР. – 2016. – № 7 (101). – С. 226–230.

**Адрес для корреспонденции**

220119, Республика Беларусь, г. Минск, а/я 95,  
e-mail: 7650772@rambler.ru  
Зельманский Олег Борисович..