РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ КИСЛОРОДНОГО КОНЦЕНТРАТОРА

И.А. Аполлонова, *канд. техн. наук, доцент*
Е.А. Иванов, *студент*
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Россия, г. Москва)

DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11887

Аннотация. *В статье была показана актуальность и новизна разработки портативного кислородного концентратора. Проведен анализ и сравнение различных способов доставки кислорода, проведен анализ рынка портативных кислородных концентраторов, которые имеются в продаже в России и обзор литературы в области устройств, необходимых для проведения кислородной терапии. Описан принцип работы и требуемые параметры кислородного концентратора, а также разработана и описана структурная схема разрабатываемого прибора.*

Ключевые слова: *кислородный концентратор, гипоксия, адсорбция, давлени, кислород, азот, воздух.*

По данным Федеральной службы государственной статистики, на 24 сентября 2018 года в России каждый третий имеет заболевания органов дыхания, а это 51,8 млн граждан только в нашей стране. Среди основных причин смертности болезни системы кровообращения занимают первое место 46,3%, второе – онкологические заболевания 15,6% [1].

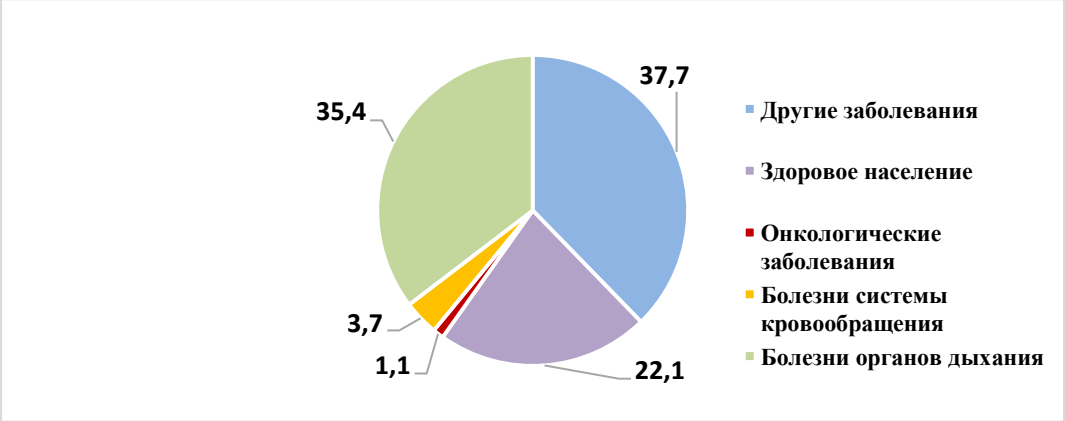

Рис. 1. Обзор статистики заболеваемости среди населения РФ на 2018 г., %

Все эти люди, имеющие заболевания системы кровообращения, онкологические заболевания или болезни органов дыхания, имеют нарушения в физиологии дыхания. Вследствие чего организм перестает получать достаточное количество кислорода и развивается гипоксия, которая при постепенном развитии и отсутствия необходимого лечения принимает угрожающую жизни пациента [2]. В связи с этим, для устранения гипоксии необходима кислородная терапия. Кроме того, она рекомендуется пациентам, перенесшим операции и различные тяжелые заболевания, так как она помогает укрепить иммунитет человека и ускорить процесс выздоровления.

Урбанизация – значительная и растущая мировая тенденция, которая сопряжена с возникновением всё более важных экологических проблем. Первой и, безусловно, наиболее очевидной проблемой, вызванной урбанизацией, является, несомненно, загрязнение воздуха. Как следствие идет снижение уровня кислорода, поэтому многие жители мегаполисов ощущают постоянную гипоксию. Она проявляется в чрез-

мерной утомляемости, головной боли, сонливости и раздражительности [3]. Таким образом, можно сделать вывод, что кислородная терапия полезна не только больным, но и здоровым людям в особенности детям.

Кислородотерапия применяется при различных патологиях таких как: хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), бронхиальная астма, энфизема, хроническое легочное сердце, муковисцидоз, сердечная и легочная недостаточности, легочная гипертензия и другие [4].

В настоящее время для кислородотерапии используют три способа доставки кислорода [5]:

– баллоны со сжатым газом (кислородом);

– баллоны с жидким кислородом;

– кислородные концентраторы.

Таблица 1. Сравнительная характеристика различных способов доставки кислорода [5]

	Кислородные концентраторы	Баллоны со сжатым кислородом	Баллоны с жидким кислородом
Требуется ли источник питания	Да, постоянно (зависит от модели:100–600 Вт)	Нет	
Требуется ли транспортировка	Только во время установки	Да, регулярно; тяжело и дорого транспортировать	
Требуется ли перезаправка	Нет, постоянное питание до тех пор, пока подключено к сети	Да, в зависимости от размера, давления, хранения и потребности пациента	
Необходимость ухода	Умеренная: очистка фильтров и устройства снаружи, и минимизировать пожароопасность	Минимальная: необходимы регулярная проверка и минимизация пожароопасности (без смазки или легковоспламеняющихся)	
Расходы на эксплуатацию	Небольшие: электричество и обслуживание	Высокие: заправка баллонов и транспортировка от заправки станция в больницу или к пациенту	
Техническое обслуживание	Умеренное: необходима проверка кислорода на выходе с помощью анализатора	Умеренное: проверять на утечки давления с помощью манометра	

Проанализировав таблицу, которая представлена выше, видим, что кислородный концентратор является наиболее оптимальным решением доставки кисло-рода с точки зрения пожаробезопасности, обслуживания и комфортной эксплуата-ции. Портативный кислородный концентратор помогает повысить качество жизни пациента, так как его можно брать с собой благодаря небольшому весу и наличию аккумуляторных батарей.

Сегодня переносные кислородные концентраторы работают как в импульсном режиме, в зависимости от индивидуальных особенностей дыхания пациента, так и в потоковом для использования в ночное время во время сна при этом равномерно кислород равномерно распределяется во всей воздушной смеси. Данный прибор адсорбирует азот, углекислый газ и другие составные части окружающего нас воздуха и выделяет кислород, который в дальнейшем подается пациенту.

Новизна работы и обзор рынка портативных кислородных концентраторов, которые имеются в продаже в России

В России большое количество компаний занимается продажей кислородных концентраторов. На рынке присутствуют модели из США, Германии и Китая.

Таблица 2. Сравнительная характеристика пятилитровых портативных кислородных концентраторов

	Габариты, см	Вес, кг	Время работы, ч	Цена, руб.	Уровень шума, дБ
Invacare XPO2 NEW (Германия)	24 x 19 x 10	2.6	до 5	310 000	40
Airsep Freestyle 5L (США)	27.2 x 16.8 x 11.2	3.0	до 4.25	251 867	43
Respironics EverGo (США)	30.5 x 15.2 x 21.6	3.8	до 4	260 224	50
Ventum P2 (Китай)	22.1 x 8.5 x 16.0	1.97	до 4	195 000	49
Philips SimplyGo (США)	29.2 x 25.4 x 15.2	3.8	до 4.5	273 616	43
DeVilbiss iGo (США)	49.0 x 31.2 x 18.0	7	до 5	342 000	40

Проанализировав таблицу, представленную выше, самым подходящим аналогом является германский концентратора «Invacare XPO2 NEW», так как он обладает небольшими габаритами, весом, низким уровнем шума и долгим временем работы от аккумулятора, по сравнению с другими аппаратами. Единственным недостатком является его цена.

Проведя анализ рынка устройств, можно сказать, что на рынке представлены только зарубежные производители кислородных концентраторов, которые либо обладают низкой мобильностью и автономностью, либо высокой стоимостью, аналогов Российского производства нет.

Поэтому необходимо создать кислородный концентратор из запчастей, которые можно приобрести в России. А также необходимо максимально уменьшить стоимость оборудования, увеличить мобильность и автономность устройства.

Принцип работы кислородного концентратора

В основе принципа работы кислородного концентратора лежит процесс адсорбции переменного давления, основанного на селективной адсорбции кислорода из воздушной смеси через цеолитные молекулярные сита [6]. Эффект разделения основан на различиях в силах связывания с абсорбирующим материалом. Высоколетучие компоненты с низкой полярностью, такие как кислород, практически не поглощаются в отличие от таких молекул, как N_2, CO, CO_2, углеводороды и водяной пар. Таким образом, эти примеси могут быть адсорбированы из кислородосодержащего потока и выделен кислород высокой концентрации [7].

На входе поток газовоздушной смеси сжимается компрессором 1 до давления адсорбции $P_{ад}$ и поступает в адсорбер 2а, который заполнен цеолитным адсорбентом. Азот адсорбируется адсорбентом под давлением $P_{ад}$ в течение промежутка времени от 0 до $t_ц/2$, и таким образом газовоздушная смесь окисляется. Процесс адсорбции осуществляется с выделением тепла, которое накапливается в адсорбенте и используется для его последующей регенерации.

У части кислородсодержащей газовоздушной смеси понижается давление через клапан 5 до давления десорбции $P_{дес}$, создаваемого вакуумным насосом 7, и направляется встречным потоком в адсорбер 2б для десорбции азота из адсорбента в течение интервала времени от $t_ц/2$ до $t_ц$. В результате регенерация адсорбента осуществляется в адсорбере 2б. А при закрытии клапанов 3а и 4б и открытии клапанов 3б и 4а происходит десорбция азота в адсорбере 2а и адсорбция азота в адсорбере 2б. При повороте клапанов в обратном положении цикл повторяется [8].

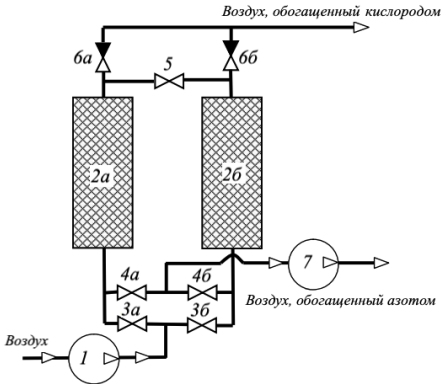

Рис. 2. Установка, основанная на процессе адсорбции переменного давления. Где: 1 – компрессор; 2а, 2б – адсорберы; 3а, 3б, 4а, 4б – клапаны; 5 – дроссель; 6а, 6б – обратные клапаны; 7 – вакуумный насос [8]

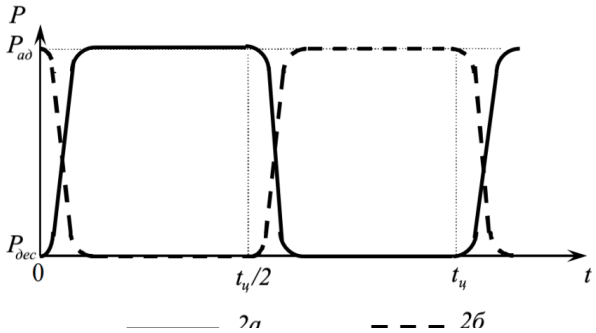

Рис. 3. График изменения давления от времени. Где: $P_{ад}$ – давление адсорбции; $P_{дес}$ – давление десорбции; 2а, 2б – адсорберы; $t_ц$ – время цикла [8]

Далее для равномерной подачи кислорода пациенту необходим резервуар для накопления кислорода и вентиль для регулировки подачи кислород. Обязательно стоит предусмотреть датчик, анализирующий состав воздуха, чтобы убедиться, что подается насыщенная кислородом в требуемой концентрации воздушная смесь.

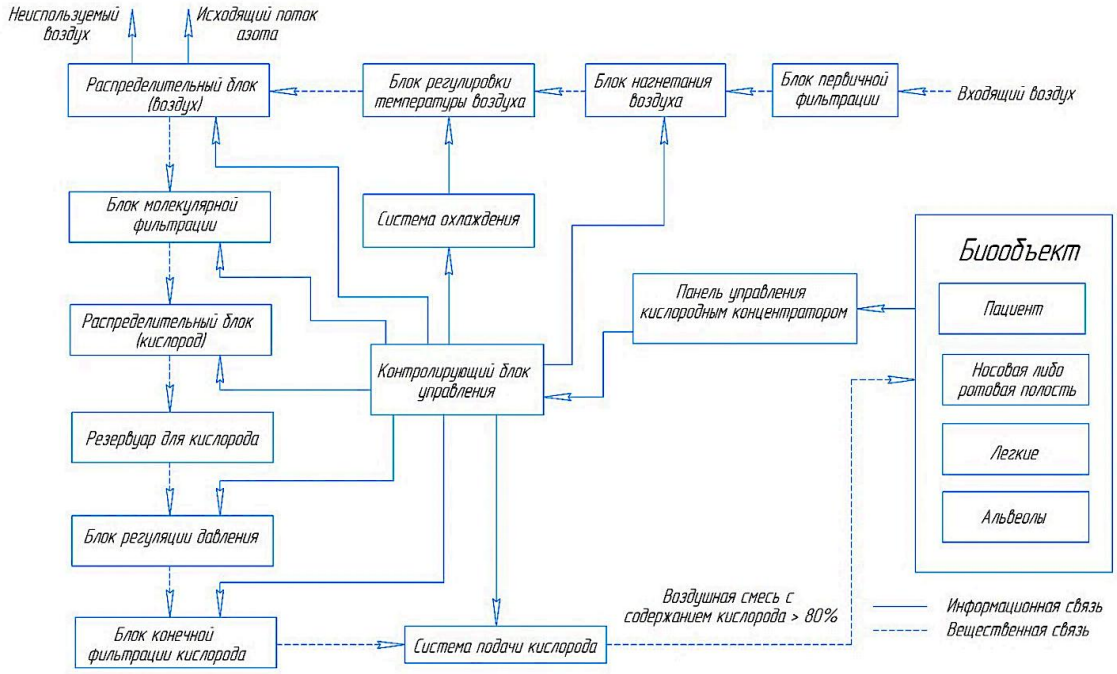

Рис. 4. Структурная схема разрабатываемого кислородного концентратора

На рисунке 4 поток входящего воздуха проходит через блок первичной фильтрации. Обычно он представлен фильтрами грубой очистки и тонкой очистки. Далее он попадает в блок нагнетания воздуха. Так как в ходе данного процесса воздух нагревается необходимо его охладить до температуры окружающей среды – это происходит в блоке регулировки температуры воздуха. Потом он идёт в распределительный блок, откуда попадает в блок молекулярной фильтрации. В нём происходит адсорбция азота, а воздушная смесь, насыщенная кислородом, через распределительный блок (клапаны) отправляется в резервуар для хранения, где происходит дальнейшее накопление данной смеси. После посредством блока регуляции давления равномерно при это проходя через блок конечной фильтрации (так как возможно попадание в воздушную смесь цеолитовой пыли) направляется пациенту. Весь этот процесс осуществляется с помощью контролирующего блока управления посредством специальных алгоритмов на основе данных с датчиков давления в

адсорберах, датчика, анализирующего состав воздуха и датчика расхода выходящей газовой смеси. Пациент также с помощью панели управления может изменять концентрацию и скорость подачи воздушной газовой смеси, насыщенной кислородом.

Данный прибор является очень перспективным. Мировой рынок медицинских кислородных концентраторов был оценен в 1,75 млрд долл. США в 2018 году. Ожидается, что рынок будет расширяться с годовым темпов роста в 7,4% в ближайшие 6 лет [5]. Исследования показали, что кислородные концентраторы являются более экономичными, чем баллоны с газом. При этом общая экономия при использовании кислородных концентраторов достигает до 75% от затрат на баллоны с газом [9]. Таким образом, разрабатываемый прибор должен помочь снизить стоимость устройства, вес аппарата и увеличить время автономной работы от аккумулятора в отличии от зарубежных аналогов.

Заключение. Таким образом, в рамках данной статьи была показана актуальность и новизна разработки портативного кислородного концентратора в нашей стране. Главной задачей данного проекта является снижение стоимости, габаритов и веса, а также увеличение автономности работы аппарата от аккумулятора. Это достигается путем оптимизации выбора компонентов прибора, то есть подбора более простых и доступных по цене элементов, но при этом сохраняющих высокое качество для потребителя. Был проведен анализ рынка портативных кислородных концентраторов, которые имеются в продаже в России и обзор литературы в области устройств, необходимых для проведения кислородной терапии. Был описан принцип работы и требуемые параметры кислородного концентратора, а также разработана и описана структурная схема разрабатываемого прибора.

Библиографический список

1. *Статистика* заболеваемости населения заболеваемость населения по основным классам болезней с 2000–2017 года федеральной службы государственной статистики. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru/ (Дата обращения: 27.11.2019)

2. *Зарубина И.В.* Современные представления о патогенезе гипоксии и ее фармакологической коррекции // Научные обзоры. – 2011. – №9. – С. 31–48.

3. *Сердюкова А.Ф.* Экологические проблемы мегаполисов / А.Ф. Сердюкова, Д.А. Барабанщиков // Молодой ученый. – 2018. – №25. – С. 36-39.

4. *Зарембо И.А.* Длительная кислородная терапия при хронической дыхательной недостаточности // Клиническая геронтология. – 2009. – №9. – С. 45–51.

5. *Oxygen* devices and delivery systems / Hardavella G., Karampinis I., Frille A. [and etc] // Breathe. – 2019. – №15. – P. 108–116.

6. *Oxygen* concentrators: evolution of inspired concentration of oxygen and repercussions in an anesthetized patient with CO2 absorber system / Moll J.R., Moll A.R, Guttman A. [and etc] // Revista Brasileira de Anestesiologia. – 2007. – №57. – P. 649–657.

7. *Oxygen* generation. By Vacuum Pressure Swing Adsorption. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.linde-engineering.ru/en/process-plants/adsorption-and-membrane-plants/index.html (Дата обращения: 29.12.2019)

8. *Akulinin E. I.* Optimization of energy-saving vacuum pressure swing adsorption unit // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2015 (Albena, Bulgaria June 2015). – Albena, 2015. – P. 1-7.

9. *Bradley B.* A retrospective analysis of oxygen concentrator maintenance needs and costs in a low-resource setting: experience from the Gambia / Bradley B., Peel D., Nyassi E. // Health and Technology. – 2015. – P. 1-11.

DEVELOPMENT OF A BLOCK DIAGRAM OF AN OXYGEN CONCENTRATOR

I.A. Apollonova, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*
E.A. Ivanov, *Student*
Bauman Moscow State Technical University
(Russia, Moscow)

Abstract. *The article showed the relevance and novelty of developing a portable oxygen concentrator. The analysis and comparison of various methods of oxygen delivery, the analysis of the market of portable oxygen concentrators, which are commercially available in Russia, and a review of the literature in the field of devices necessary for oxygen therapy. The principle of operation and the required parameters of the oxygen concentrator are described, and a block diagram of the device under development is developed and described.*

Keywords: *oxygen concentrator, hypoxia, adsorption, pressures, oxygen, nitrogen, air.*