

УДК 616-788

<sup>1</sup> Т. И. Дровосекова [T. I. Drovosekova]<sup>1</sup> С. Б. Сизов [S. B. Sizov]<sup>2</sup> Н. С. Стригун [N. S. Strigun]

## УСТРОЙСТВО УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЯ

## DEVICE OF ULTRASONIC SPRAYING OF AEROSOL

<sup>1</sup>Северо-Кавказский федеральный университет (филиал в г. Пятигорске),  
Россия, e-mail: tatyana0706@gmail.com<sup>2</sup>Пятигорский медико-фармацевтический институт филиал ВолгГМУ Минздрава России

**Аннотация.** Сегодня, с целью профилактики и лечения заболеваний органов дыхательной системы используют небулайзеры. Небулайзер – аппарат, преобразующий жидкое лекарство в аэрозоль для проведения ингаляций, селективно воздействующий на определенные участки дыхательных путей.

**Материалы и методы, результаты.** В данной статье рассматривается разработка устройства для ультразвукового распыления лекарственных препаратов, позволяющее регулировать параметры распыления. Сформирован перечень технических требований к устройству, разработана принципиальная схема и интерфейс управления небулайзером, рассчитана необходимая частота генератора ультразвука, выбрано оборудование для реализации прибора и рассчитана его себестоимость.

**Заключение.** Разработанный в данной работе небулайзер позволяет гибко регулировать скорость распыления препарата, интенсивность воздушного потока и время процедуры с автоматическим отключением по таймеру. Так же в устройстве предусмотрена защита от опустошения резервуара и перегрузок в цепи испарителя.

Себестоимость данного прибора сводится к затратам на комплектующие, которые составили 5667 рублей, что значительно меньше предлагаемых на рынке аналогов.

**Ключевые слова:** небулайзер, микроконтроллер, программирование, ингалятор, ультразвук, частота генератора ультразвука.

**Abstract.** Today, nebulizers are used to prevent and treat diseases of the respiratory system organs. Nebulizer is an apparatus that converts a liquid medication into an aerosol for inhalation, selectively acting on certain parts of the respiratory tract.

**Materials and methods, results.** This article discusses the development of a device for the ultrasonic spraying of drugs that allows you to adjust the spray parameters. A list of technical requirements for the device has been developed, a circuit diagram and a nebulizer control interface have been developed, the required frequency of the ultrasound generator has been calculated, equipment has been selected to implement the device, and its cost has been calculated.

**Conclusion.** The nebulizer developed in this paper allows flexible adjustment of the drug spraying rate, air flow rate and procedure time with automatic timer shut-off. Also, the device provides protection against tank emptying and overloads in the evaporator circuit.

The cost of this device is reduced to the cost of components, which amounted to 5667 rubles, which is significantly less than the analogues on the market.

**Key words:** nebulizer, microcontroller, programming, inhaler, ultrasound, ultrasound generator frequency.

**Введение.** В настоящее время в целях профилактики и лечения органов дыхания врачи часто назначают небулайзерную терапию. Небулайзер – это аппарат, который преобразует жидкое лекарство в аэрозоль (облако) для проведения ингаляций.

В отличие от обычного ингалятора, используя небулайзер можно более точно воздействовать на определенные участки дыхательной системы (верхние, средние или нижние), подбирая аппарат в зависимости от размера частиц получаемого аэрозоля [2, 3].

Однако, современные ультразвуковые устройства распыления жидкостей обладают разными характеристиками. Ингаляторы и небулайзеры для домашнего использования относительно недороги, а цена профессиональных устройств резко возрастает (небулайзеры для лечебных заведений стоят более 100 тыс. рублей).

**Материалы и методы.** Таким образом, возникла задача создать небулайзер, обладающий рядом профессиональных параметров, который можно было бы применить для оборудования небулайзерной комнаты для процедур. Аналоги такого прибора очень дороги, а себестоимость его невысока и разработка его не слишком трудоемка.

Профессиональное оборудование для ингаляций, должно предоставлять оператору возможность гибкой настройки параметров процедуры таких как интенсивность парообразования, скорость воздушного потока и возможность ограничить время проведения процедуры. Так же необходим функционал отключения устройства при низком уровне жидкости в резервуаре.

Таким образом был сформирован перечень технических требований к устройству:

- Регулируемая производительность до 3,8 мл/мин;
- Функция регулировки воздушного потока и скорости распыления;
- Дисплей с подсветкой, таймер;
- Защита от опустошения резервуара.

**Результаты** Для реализации данного функционала, была разработана принципиальная схема устройства, приведенная на рис. 1.

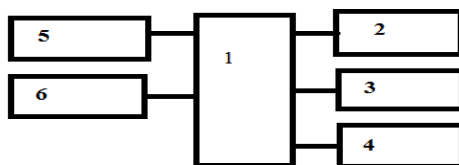


Рис. 1. Принципиальная схема небулайзера  
 1 – микроконтроллер, 2 – блок кнопок, 3 – LCD дисплей,  
 4 – датчик уровня жидкости, 5 – ультразвуковой распылитель,  
 6 – кулер с регулятором воздушного потока

Интерфейс управления устройством приведен на рис. 2.

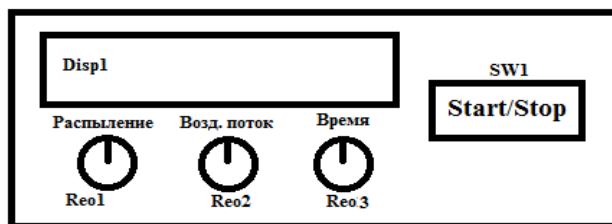


Рис. 2. Управление небулайзером

SW1 – кнопка запуска и остановки ингаляции, Reo1 – переменное сопротивление управляющее мощностью ультразвукового излучателя, Reo2 – переменное сопротивление управляющее скоростью воздушного потока, Reo3 – переменное сопротивление задающее длительность сеанса ингаляции, Disp1 – жидкокристаллический двухстрочный дисплей, использующийся для индикации оставшегося времени процедуры и ошибок.

Система управления небулайзером состоит из микроконтроллера, тактовой кнопки и переменного сопротивления (для задания длительности процедуры), двухстрочного жидкокристаллического экрана, датчика уровня жидкости и реле (для управления включением генератора).

С помощью переменного сопротивления задается длительность процедуры от 1 до 30 минут. При установке крайнего положения регулятора, длительность процедуры не задается, и остановить ее можно только нажатием на кнопку Start/Stop. На дисплее выводится информация о длительности процедуры, оставшемся времени, и текущем состоянии. Нажатие на кнопку Start/Stop запускает либо останавливает процедуру путем переключения реле. В случае опустошения емкости с водой, микроконтроллер останавливает выполнение процедуры распыления и выводит сообщение об ошибке на экран. Программирование микроконтроллеров рассмотрено в работах [7, 8, 9, 12].

Основным исполнительным механизмом ингалятора, является камера ультразвукового испарителя, ее устройство и принцип работы показаны на рис. 3.

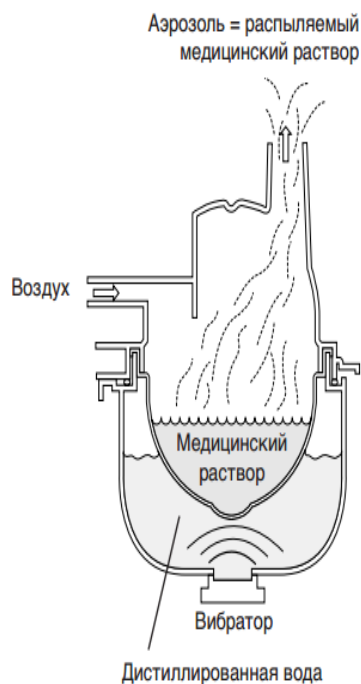


Рис. 3. Ультразвуковой распылитель жидкости

В емкость заливается медицинский раствор, который распыляется с помощью ультразвукового вибратора, и полученная взвесь поднимается вверх по трубке под действием потока воздуха [1, 12, 15, 16].

Резервуар ингалятора состоит из двух частей – емкости с дистиллированной водой и емкости с препаратом. В нижней части установки установлен ультразвуковой кварцевый пьезоизлучатель. Поскольку контакт препарата с пьезоизлучателем может привести к быстрой коррозии последнего, так же, не съемный резервуар затрудняет проведение работ по чистке и дезинфекции полостей аппарата.

Под действием напряжения, пьезоизлучатель вибрирует и передает собственные колебания жидкости. Ультразвуковые волны хорошо распространяются в твердой среде и очень быстро затухают в воздухе, поэтому между вибратором и пластиковой емкостью с препаратом находится дистиллированная вода.

Частота колебаний определяет средний диаметр капель формируемого аэрозоля:  $D = a * \lambda_{кr}$ .

Диаметр зависит от  $\lambda$  – длины капиллярных волн, образующихся на поверхности слоя жидкости, рассчитывается по следующей формуле [14]:

$$\lambda_{к} = \sqrt[3]{\frac{8\pi\sigma}{\rho f^2}}$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности (частично зависит от вязкости жидкости);  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения жидкости;  $\rho$  – плотность жидкости;  $f$  – частота УЗ колебаний.

Рассчитаем необходимую частоту генератора ультразвука. Поскольку характеристики физраствора, который применяется в качестве основы для ингаляций, аналогичны характеристикам воды, в расчете будут использоваться характеристики дистиллированной воды.

Коэффициент поверхностного натяжения для воды равен  $\sigma = 72,86 \cdot 10^{-3}$  Н/м. Плотность воды  $\rho = 103$  кг/м<sup>3</sup>. Размер капли  $D = 5 \cdot 10^{-6}$  м. Коэффициент пропорциональности для воды  $a = 0.58$ . Подставим значения, получаем:

$$f = \sqrt{\frac{8\pi\sigma}{\rho\lambda^3}} = \sqrt{\frac{8\pi * 72.86 * 10^{-3}}{10^3 * \left(\frac{5 * 10^{-6}}{0.58}\right)^3}} = 1.69 * 10^6$$

Требуемая частота работы генератора 1.7 МГц.

В качестве исполнительного устройства, мы используем ультразвуковой пьезораспылитель HL0013-002с резонансной частотой 1.7 МГц в защищенном корпусе

Для генерации частоты была использована типовая схема автогенератора на транзисторе, которая показана на рисунке 4 [8, 9, 10].

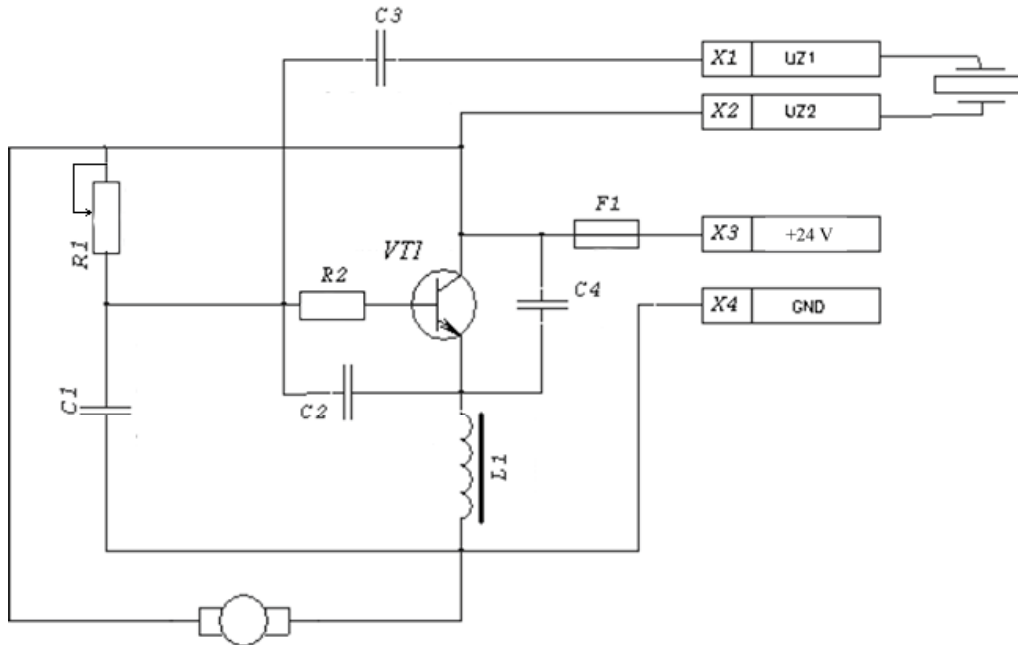


Рис. 4. Схема автогенератора

В результате вычислений для заданной частоты генерации были подобраны следующие номиналы элементов (таблица 1).

Таблица 1

Параметры автогенератора

Компонент	Значение
F1	2А
C1	0.01 x 160 В
C2	0.056 x 250 В
C3	0.2 x 250 В
C4	2700
R1	6.8 кОм 25Вт
R2	1 Ом 25Вт
L1	22 мкГн 1А
VT1	КТ805АМ

Воздушного поток создается с помощью кулера 8x8 см модели Fonsan DFB0824НН. Характеристики приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры вентилятора

Размер	80mm x 80mm x 25mm
Напряжение	24 volts DC
Ток	0.18А
RPM (максимальное количество оборотов в минуту)	3250
Поток воздуха (м <sup>3</sup> /мин)	1
Срок службы	60000

Вентилятор подключен к источнику питания через переменное сопротивление, что позволяет регулировать поток воздуха в системе в реальном времени.

**Заключение.** Разработанный в данной работе небулайзер позволяет гибко регулировать скорость распыления препарата, интенсивность воздушного потока и время процедуры с автоматическим отключением по таймеру. Так же в устройстве предусмотрена защита от опустошения резервуара и перегрузок в цепи испарителя.

Себестоимость данного прибора сводится к затратам на комплектующие, которые составили 5667 рублей, что значительно меньше предлагаемых на рынке аналогов. Таким образом, разработка небулайзера для лечебных заведений является выгодной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамкин С. Е., Душин С. Е., Поляшова К. А. Математическая модель управляемого теплообменного процесса в испарителе // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ. 2011. № 9. С. 32-36.
2. Авдеев С. Н. Устройства доставки ингаляционных препаратов, используемые при терапии заболеваний дыхательных путей // Русский медицинский журнал. 2002. Т. 10. № 5. С. 255-261.
3. Боев И. В., Першим И. М., Уткин В. А., Кухарова Т. В., Ковалев Г. Ф., Чалая Е. Н. О возможности применения методов теории управления в решении задач восстановительной медицины // Курортная медицина. 2014. № 3. С. 79-87.
4. Воронин А. Ю. Анализатор пространственно-частотного спектра геодинамических сигналов// Пятигорск, 2010.
5. Дровосекова Т. И., Сизов С. Б. Параллельные вычисления в приложении к задаче моделирования физических процессов// В мире научных открытий Красноярск: Научно-инновационный центр, 2014. № 6.1 (54). С. 338-349.
6. Зайцев С. В. Адаптивная настройка высокоточного распределенного регулятора// Научное обозрение. 2012. № 4. С. 194-198.
7. Зайцев С. В., Жерносок И. А. Адаптивный распределенный высокоточный регулятор // В мире научных открытий. 2015. № 4 (64). С. 83-94.
8. Зайцев С. В., Жерносок И. А. Реализация распределенного высокоточного регулятора с применением промышленного логического контроллера// Актуальные проблемы гидролитосферы (диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация) Сборник докладов. 2015. С. 623-635.
9. Ильющин Ю. В., Першин И. М. Метод управления температурным полем на основе функции Грина// Записки Горного института. 2015. Т. 214. С. 57-70.
10. Никонова В. С. Современные ингаляционные способы доставки препаратов при болезнях органов дыхания// Трудный пациент. 2013. Т. 11. № 6. С. 10-14.
11. Першин И. М. Распределенные системы обработки информации. Пятигорск. – 2008. 146 с.
12. Прозорова В. К., Абросимов А. Г., Архипов В. В. Современная небулайзерная терапия// Consilium Medicum. 2010. Т. 12. № 11. С. 76-79.
13. Drovosekova T.I., Sizov S.B. Parallel computations annexed to the problem of physical processes simulation// In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. vol. 2, № 2 - pp. 17-22.

#### REFERENCES

1. Abramkin S. E., Dushin S. E., Polyashova K. A. Matematicheskaya model' upravlyаемого teploobmennogo processa v isparitele // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo e'lektrotexnicheskogo universiteta LE`TI. 2011. № 9. S. 32-36.
2. Avdeev S. N. Ustrojstva dostavki ingyalyacionny`x preparatov, ispol`zuemy`e pri terapii zabolevanij dy`xatel`ny`x putej // Russkij medicinskij zhurnal. 2002. T. 10. № 5. S. 255-261.
3. Boev I. V., Pershim I. M., Utkin V. A., Kuxarova T. V., Kovalev G. F., Chalaya E. N. O vozmozhnosti primeneniya metodov teorii upravleniya v reshenii zadach vosstanovitel`noj mediciny` // Kurortnaya medicina. 2014. № 3. S. 79-87.
4. Voronin A. Yu. Analizator prostranstvenno-chastotnogo spektra geodinamicheskix signalov// Pyatigorsk, 2010.
5. Drovosekova T. I., Sizov S. B. Parallel`ny`e vy`chisleniya v prilozhenii k zadache modelirovaniya fizicheskix processov// V mire nauchny`x otkry`tij Krasnoyarsk: Nauchno-innovacionny`j centr, 2014. № 6.1 (54). S. 338-349.
6. Zajcev S. V. Adaptivnaya nastrojka vy`sokotochnogo raspredelennogo reguljatora// Nauchnoe obozrenie. 2012. № 4. S. 194-198.
7. Zajcev S. V., Zhernosek I. A. Adaptivny`j raspredelenny`j vy`sokotochny`j reguljator // V mire nauchny`x otkry`tij. 2015. № 4 (64). S. 83-94.
8. Zajcev S. V., Zhernosek I. A. Realizaciya raspredelennogo vy`sokotochnogo reguljatora s primeneniem promy`shlennogo logicheskogo kontrollera// Aktual`ny`e problemy` gidrolitosfery` (diagnostika, prognoz, upravlenie, optimizaciya i avtomatizaciya) Sbornik dokladov. 2015. S. 623-635.
9. Il'yushin Yu. V., Pershin I. M. Metod upravleniya temperaturny`m polem na osnove funkcii Grina// Zapiski Gornogo instituta. 2015. T. 214. S. 57-70.

10. Nikonova V. S. Sovremenny'e ingyacionny'e sposoby' dostavki preparatov pri boleznyax organov dy'xaniya// Trudny'j pacient. 2013. T. 11. № 6. S. 10-14.
11. Pershin I. M. Raspredeleenny'e sistemy' obrabotki informacii. Pyatigorsk. – 2008. 146 s.
12. Prozorova V. K., Abrosimov A. G., Arxipov V. V. Sovremennaya nebulajzernaya terapiya// ConsiliumMedicum. 2010. T. 12. № 11. S. 76-79.
13. Drovosekova T. I., Sizov S. B. Parallel computations annexed to the problem of physical processes simulation// In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. vol. 2, № 2 - pp. 17-22.

#### ОБ АВТОРАХ

**Дровосекова Татьяна Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры управления в технических системах Северо-Кавказский федеральный университет (филиал в г. Пятигорске), тел.: +7-928-325-06-05, e-mail: tatyana0706@gmail.com

**Drovosekova Tatiana Ivanovna**, PhD in techniques, associate Professor Department of control in engineering systems, North-Caucasus Federal University (Branch in Pyatigorsk), phone: +7-928-325-06-05, e-mail: tatyana0706@gmail.com

**Сизов Сергей Борисович**, Южный федеральный университет, аспирант 1 года обучения Института компьютерных технологий и информационной безопасности, тел.: +7-918-755-16-13, e-mail: harrior@gmail.com

**Sizov Sergey Borisovich**, 1 year graduate student, Institute of Computer Technology and information security, Southern Federal University, phone: +7-918-755-16-13, e-mail: harrior@gmail.com

**Стригун Наталья Сергеевна**, Пятигорский медико-фармацевтический институт филиал ВолгГМУ Минздрава России, преподаватель кафедры физики и математики.тел.: +7-962-448-76-46, e-mail: strigunnatasha@yandex.ru

**Strigun Natalia Sergeevna**, Senior Lecturer Physics and Informatics Department, Medical and Pharmaceutical Institute branch VolGMU Russian Ministry of Health in Pyatigorsk, phone: +7-962-448-76-46, e-mail: strigunnatasha@yandex.ru

Дата поступления в редакцию 20.09.2018 г.