

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 617-7

### Проектирование пневмопривода аппарата ударно-волновой терапии

В.А. Колесниченко<sup>1</sup>, Н.В. Авилова<sup>1</sup>, Н.А. Цынко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>2</sup>ГБУЗ «Успенская центральная районная больница», с. Успенское, Краснодарский край, Российская Федерация

#### Аннотация

Рассматривается проектирование пневмопривода аппарата ударно-волновой терапии с расширенными техническими характеристиками. Проведен анализ конструкций и технических характеристик аппаратов ударно-волновой терапии основных мировых производителей. Представлена структурная схема пневмопривода аппарата ударно-волновой терапии, состоящая из элементов пневмоавтоматики, доступных для приобретения в России. Приведены технические характеристики комплектующих пневмопривода и их стоимость. Выполнены расчеты производительности компрессора и ёмкости ресивера.

**Ключевые слова:** аппарат ударно-волновой терапии, пневмопривод, датчик давления, электромагнитный клапан, компрессор, ресивер

**Для цитирования.** Колесниченко В.А., Авилова Н.В., Цынко Н.А. Проектирование пневмопривода аппарата ударно-волновой терапии. *Молодой исследователь Дона*. 2024;9(1):4–9.

### Pneumatic Drive Design of the Shockwave Therapy Apparatus

Vladislav A. Kolesnichenko<sup>1</sup>, Nataliya V. Avilova<sup>1</sup>, Nikolai A. Tsynko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>2</sup>Uspenskaya Central District Hospital, V. Uspenskoye, Krasnodar Krai, Russian Federation

#### Abstract

This article is devoted to the pneumatic drive design of the shockwave therapy apparatus with advanced technical characteristics. The analysis of the designs and technical characteristics of shockwave therapy devices of the main world manufacturers was carried out. A block diagram of the pneumatic drive of the shockwave therapy apparatus was presented, consisting of pneumatic automation elements available for purchase in Russia. The technical characteristics of the components of the pneumatic drive and its cost were given. Calculations of compressor performance and receiver capacity were performed.

**Keywords:** shockwave therapy apparatus, pneumatic drive, pressure sensor, solenoid valve, compressor, receiver

**For citation.** Kolesnichenko VA, Avilova NV, Tsynko NA. Pneumatic Drive Design of the Shockwave Therapy Apparatus. *Young Researcher of Don*. 2024;9(1):4–9.

**Введение.** В последние годы при лечении значительного количества заболеваний опорно-двигательного аппарата и последствий травм, а также в урологии, стоматологии, дерматологии применяется эффективная и перспективная технология физиотерапии — ударно-волновая терапия (УВТ) [1, 2]. Кроме того, методы УВТ начали активно использовать в кардиологии при лечении ишемической болезни сердца [3, 4], реабилитации спортсменов [5]. Работа аппаратов ударно-волновой терапии основана на пневматическом принципе действия, который является наиболее надежным и эффективным, по сравнению с пьезоэлектрическим и электромагнитным методами [1, 5]. Одним из основных узлов аппарата УВТ является аппликатор, встраиваемый в корпус типа «пистолет». При подаче давления воздуха в пневмосистему поршень аппликатора совершает возвратно-поступательные движения с заданной частотой и скоростью. При ударе поршня со сменной насадкой аппликатора генерируется инфразвуковая ударная волна, которая при воздействии на соответствующие ткани, мышцы и суставы оказывает на них лечебное воздействие.

В России применяются в основном дорогостоящие аппараты УВТ зарубежного исполнения: BTL 6000 SWT (Великобритания), Masterpuls MP 200, Duolith SD1 (Швейцария), Longest LGT-2500S Plus (Южная Корея), Kimatur 500 (Германия) и другие. Аппараты российского производства, например, Exotonus K1, имеют высокую стоимость и широкий спектр применения, но ограничены при лечении некоторых заболеваний по техническим характеристикам: по частоте генерирования ударных волн (до 8 Гц) или по значению уровня энергии (до 185 мДж, что соответствует 4 барам). Поэтому разработка аппаратов УВТ с более высокими техническими характеристиками и невысокой стоимостью является актуальной задачей.

Цель статьи — разработка пневматической системы аппарата УВТ с частотой генерирования ударных волн до 24 Гц и давлением в пневмосистеме до 7 бар на основе отечественных элементов или элементов, доступных для приобретения в России, что расширяет возможности лечения сложных заболеваний опорно-двигательного аппарата и снижает себестоимость изготовления аппарата УВТ. Материалы, представленные в статье, помогут значительно сократить время проектных работ и позволят разработчикам медицинской техники применить современные элементы автоматики в условиях импортозамещения, а также будут полезны инженерам сервисного обслуживания медицинской техники при восстановлении её работоспособности.

**Основная часть.** При проектировании пневмопривода аппарата УВТ применены расчетные методы, позволяющие подобрать мощность компрессора, элементы пневмоавтоматики. Метод аналогов позволил составить структурную схему пневмопривода аппарата УВТ. Результаты анализа характеристик и стоимости аппаратов УВТ производителей крупных международных компаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

Аппараты УВТ с пневматическим принципом генерации ударных волн производителей крупных международных компаний

Марка	Стоимость, руб.	Частота акустических волн, Гц	Давление, бар	Страна-производитель
BTL-6000 SWT	800000	1–20	1–5	Великобритания, Чехия
LongestLGT-2501A	1478000	1–22	1–5	Южная Корея, Китай
Masterpuls MP200	1400000	1–21	1–5	Швейцария
Duolith SD1 T	1700000	1–21	1–5	Швейцария
Kimatur 500	1350000	1–22	1–7	Германия
Exotonus K1	744000	1–16	1–4	Россия

По техническим характеристикам и протоколам лечения наиболее перспективен аппарат Kimatur 500, по цене — BTL-6000 SWT, Exotonus K1. Принимая во внимание сложность поставок аппаратов УВТ Kimatur 500, BTL-6000 SWT, врачи-ортопеды используют в своей практике Longest LGT-2501A, а в последние годы начали закупать отечественные аппараты УВТ Exotonus K1 и Exotonus Э1.

При анализе конструкции вышеперечисленных аппаратов УВТ можно сделать следующие выводы: аппараты УВТ Kimatur 500, BTL-6000 SWT имеют значительный вес, громоздкую конструкцию пневмоприводов, что требует их модернизации на более современную элементную базу. В аппарате Longest LGT-2501A применен масляный компрессор, что не рекомендуется для лечебных учреждений разработчиками отечественных аппаратов УВТ из-за загрязнения окружающей среды. Аппараты УВТ Exotonus K1 и Exotonus Э1 отечественной разработки наиболее компактны, но требуют увеличения глубины проникновения ударной волны в ткани, что может быть достигнуто повышением интенсивности воздействия за счет увеличения давления в пневмосистеме аппарата.

Структурная схема пневматической системы аппарата, в которой может быть сформирована ударная волна частотой до 24 Гц при давлении 7 бар представлена на рис. 1. В состав пневмопривода входят следующие комплектующие:

- микроконтроллер, управляющий всем пневмоприводом;
- органы управления — 3 кнопки без фиксации, кнопки «+», «-» и «ОК»;
- дисплей для отображения информации;
- три полевых транзистора для управления мощной нагрузкой;
- два датчика давления, преобразующие давление в системе в электрический сигнал для последующей обработки;
- два электромагнитных клапана, которые при подаче питания открывают подачу воздуха;
- компрессор поршневого, воздушный, нагнетающий давление;
- ресивер, аккумулирующий воздух, а также сглаживающий импульсы в системе в момент работы компрессора;
- блок питания, питающий всю систему электроэнергией.

Микрокомпьютер представлен платой Arduino UNO на базе микроконтроллера ATMEGA328 (Китай) [6] (рис. 2). Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как

выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки, на борту есть флеш-память объёмом 32 кБайт, достаточная для записи исполнительной программы. Для написания и заливки прошивки в микроконтроллер ATMEGA328 используется приложение для ПК Arduino IDE. Разработан соответствующий код программы.

Органы управления включают в себя лишь кнопки, так как они самые дешёвые, более надёжные, чем потенциометры, а также более практичные из-за возможности закладывания нескольких функций на одну кнопку (нажатие, двойное нажатие, удерживание).

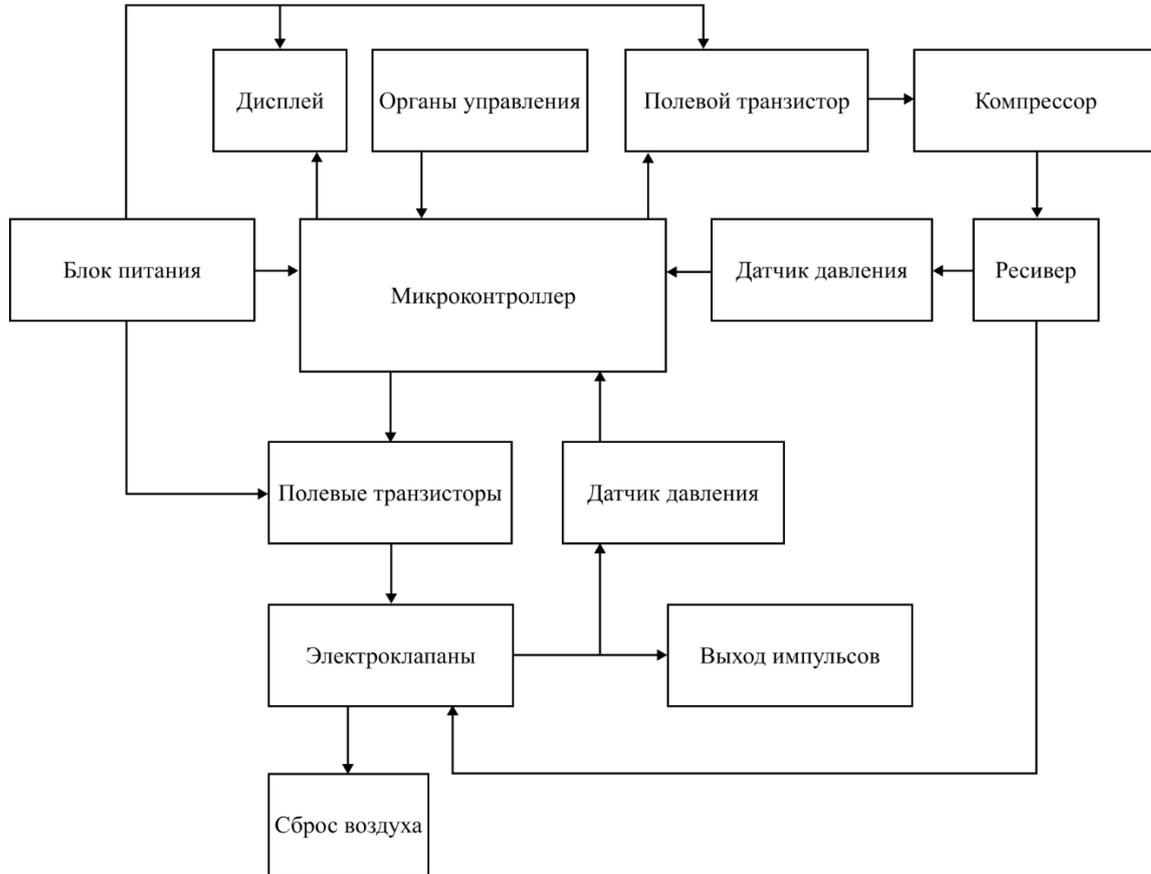


Рис. 1. Структурная схема пневмопривода

Дисплейный модуль LCD1602 i2c (Китай) представлен на рис. 3. Главное достоинство этого дисплея — дополнительная плата с микроконтроллером PCF8574T, которая позволяет подключить дисплей, используя два пина, и передавать данные по интерфейсу i2c. На рис. 4 изображён популярный MOSFET, или полевой транзистор IRL3705N (доставка из Китая), он имеет хорошие характеристики: пропускаемый ток до 80 А, управление логическим сигналом в 5 В, а также цена в 70 рублей за 5 штук. Транзистор N-канальный, поэтому управление идёт по линии «земли».



Рис. 2. Плата Ардуино UNO [6]



Рис. 3. Дисплей LCD1602 с модулем i2c



Рис. 4. Транзистор IRL3705N

На рис. 5 представлен датчик давления USP-G41-1.2 (Китай), который вкручивается в ресивер для замера давления внутри ресивера и последующей регулировки давления в пневмосистеме. Второй датчик давления находится после электромагнитного клапана для автоматического отключения системы в случае неполадок с аппликатором аппарата УВТ. Характеристики датчика давления: питание (Vcc) + 5 В, напряжение выхода — в диапазоне от 0,5 до 4,5 В, рабочий ток потребления — 10 мА, измеряемое давление — в диапазоне от 0 до 1,2 Мпа, рабочая температура — в диапазоне от 0 до 85 °С, время измерения показаний — 2 мс, погрешность от температуры — 3,5 %.



Рис. 5. Датчик давления

На рис. 6 представлен электромагнитный клапан (Китай), работающий при напряжении 12 В, в неактивном состоянии закрытый, при подаче напряжения открывается. Работает при давлении до 1,2 Мпа, или 12 бар. Электромагнитный клапан дает возможность регулировать частоту импульсов, не прибегая к сложным механизмам.



Рис. 6. Клапан электромагнитный

Расчет производительности компрессора произведен по методике, представленной в статье «Сжатый воздух в практических расчетах»<sup>1</sup>. С учетом потерь в пневмосистеме расчетное значение производительности компрессора составило 44 л/мин. Поэтому из модельного ряда выбран компрессор Berkut (Китай), модель PRO-21, так как по характеристикам соответствует требованиям работы аппарата УВТ и имеет непрерывное время работы<sup>2</sup>. Компрессор Berkut PRO-21 представлен на рис. 7. Технические характеристики: напряжение питания — 12 В, максимальный ток потребления — 20 А, рабочая мощность — 240 Вт, максимальное рабочее давление — 14 атм. (бар), производительность (23 °С/0 атм.) — 50 л/мин, максимальный рабочий цикл (23 °С/7 атм.) — 100 %, время непрерывной работы (23 °С/7 атм.) — непрерывно, диапазон рабочих температур — от –40 до +70 °С, уровень шума — менее 68 дБ, класс защиты — IP 67, длина шланга с клапаном — 500 мм, размеры устройства — 272x112x185 мм, масса — 4,4 кг.

Рис. 7. Компрессор Berkut PRO-21<sup>2</sup>

Ресивер аккумулирует нагнетаемый воздух, поддерживает постоянное давление, сглаживает пульсации при работе пневмопривода. Расчет необходимого объема ресивера осуществлен по методике [6]. Максимальное значение объема ресивера составил 4,4 литра.

В качестве блока питания выбран компьютерный блок питания, из которого будут выпаяны лишние провода (рис. 8). Блок питания имеет мощность 360 Вт по линии 12 В, что с запасом хватит для питания компрессора и электромагнитных клапанов. Кроме того, в компьютерных блоках есть линия на 5 В с максимальным током 15 А. Блок питания имеет положительные отзывы и цену в 1200 рублей.

Компрессор создает необходимое давление в пневмосистеме, ресивер накапливает воздух и сглаживает пульсации давления. Электромагнитные клапаны регулируют переменное давление на выходе. Всем процессом управляет микроконтроллер, задающий давление, частоту, количество импульсов. Возможность регулировки давления и частоты импульсов позволяет использовать изделие в более широком диапазоне, а также для широконаправленного лечения путем изменения настройки в реальном времени для каждого пациента.

Работа пневмопривода аппарата УВТ производится в следующем порядке. При включении питания микроконтроллер загружает программу, вносятся необходимые значения параметров давления, частоты и т. д. В это время компрессор нагнетает воздух до определенного, заданного с помощью органов управления давления

<sup>1</sup> Сжатый воздух в практических расчетах. Компрессоры и пневматика. URL: [https://static.insales-cdn.com/files/1/1518/15074798/original/кип\\_сжатый\\_воздух.pdf](https://static.insales-cdn.com/files/1/1518/15074798/original/кип_сжатый_воздух.pdf) (дата обращения: 27.12.2023).

<sup>2</sup> Автомобильный компрессор BERKUT PRO-21 [66-00002387]. Характеристики. URL: <https://www.citilink.ru/product/avtomobilnyi-kompressor-berkut-pro-21-50l-min-shlang-0-5m-1610913/properties/> (дата обращения: 28.12.2023).

в ресивере. После достижения необходимого давления аппарат готов к работе. При преждевременной остановке процедуры (воздух не выходит более 2 с) микроконтроллер прерывает цикл. При необходимости есть возможность сбросить давление, выбрав соответствующий пункт в меню.



Рис. 8. Блок питания HIPER HPR-400

**Заключение.** Разработанный пневмопривод имеет простую модульную конструкцию, т. е. любой элемент можно легко заменить на элемент с аналогичными характеристиками. Примерная стоимость комплектующих 25000 рублей, что значительно ниже стоимости аппаратов-аналогов. Результаты анализа международного рынка аппаратов ударно-волновой терапии показали перспективность проведенных исследований и проектной разработки современного аппарата УВТ.

#### Список литературы

1. Могилевич В.В., Хренина Н.М. Метод ударно-волновой терапии в практике врача-физиотерапевта. *Военная медицина*. 2023;1(66):59–65. URL: <https://rep.bsmu.by/handle/BSMU/36783> (дата обращения: 27.12.2023).
2. Zubovich I.V., Kot I.V. Опыт применения ударно-волновой терапии в лечении заболеваний опорно-двигательного аппарата. *Медицинские новости*. 2021;9(324):57–59. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-primeneniya-udarno-volnovoy-terapii-v-lechenii-zabolevaniy-oporno-dvigatel'nogo-apparata> (дата обращения: 27.12.2023).
3. Кульчицкая Д.Б., Кончугова Т.В., Кияткин В.А. Обоснование применения ударно-волновой терапии в клинической практике. *Физиотерапевт*. 2018;1:83–88.
4. Гаврилевич Б.А., Семенов А.А., Гуревич К.Г., Нагорнев С.Н., Радченко С.Н., Пузырева Г.А. Ударно-волновая терапия: состояние проблемы и возможности применения в клинической практике. *Человек и здоровье*. 2017;3:11–18.
5. Куршев В.В., Литвиненко А.С., Безуглов Э.Н., Репетюк А.Д., Патрина Е.В. Реабилитация спортсменов с заболеваниями и травмами опорно-двигательного аппарата. *Хирургическая практика*. 2015;(3):71–77.
6. Петин В.А., Биняковский А.А. *Практическая энциклопедия Arduino*. Москва: ДМК Пресс; 2017. 152 с. ISBN 978-5-97060-344-4.

*Об авторах:*

**Наталья Васильевна Авилова**, кандидат технических наук, доцент кафедры приборостроения и биомедицинской инженерии Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1), [av170556@rambler.ru](mailto:av170556@rambler.ru)

**Владислав Александрович Колесниченко**, магистрант кафедры приборостроения и биомедицинской инженерии Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [2001vlad01@mail.ru](mailto:2001vlad01@mail.ru)

**Николай Алексеевич Цырко**, врач-ортопед, заведующий физиотерапевтическим отделением Успенской ЦРБ (352450, РФ, Краснодарский край, Успенский р-н, с. Успенское, ул. Крупской, 35).

*Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*About the Authors:*

**Nataliya V. Avilova**, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor of the Instrumentation and Biomedical Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [av170556@rambler.ru](mailto:av170556@rambler.ru)

**Vladislav A. Kolesnichenko**, Master's degree student of the Instrumentation and Biomedical Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [2001vlad01@mail.ru](mailto:2001vlad01@mail.ru)

**Nikolai A. Tsynko**, Orthopedic Surgeon, Head of the Physiotherapy Department of the Uspenskaya Central District Hospital (35, Krupskaya str., Uspenskoye village, Uspenskiy district, Krasnodar Krai, 352450, RF).

*Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.*

*All authors have read and approved the final manuscript.*