

**В.В. Козырев**, О.И. Алборов, О.В. Федотов, С.М. Воробьев,  
С.Л. Тихомиров, И.М. Мамаев

## АВТОНОМНЫЙ ОРТОПЕДИЧЕСКИЙ АППАРАТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОСТЕОСИНТЕЗА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ИНВАЛИДОВ

### Аннотация

В настоящей статье рассматриваются конструкция аппарата и назначение его основных модулей (роликотвинтовой передачи РВПЗК, промежуточного редуктора, шагового микроэлектродвигателя, микропроцессорной системы управления и системы питания), а также описан принцип работы аппарата и приведены его основные технические характеристики.

### Актуальность проблемы удлинения конечностей

Улучшение условий реабилитации и интеграции инвалидов в общество, повышение уровня жизни инвалидов путем обеспечения их современными техническими средствами реабилитации входят в число приоритетных задач Российской Федерации, обозначенных в посланиях Президента РФ Федеральному собранию РФ 2004-2009 гг. и реализуемых в рамках ФЦП «Социальная поддержка инвалидов» 2006-2010 гг.

Серьезными заболеваниями, приводящими к инвалидности среди населения, в том числе среди детей, являются врожденные и приобретенные аномалии развития скелета. Согласно данным экспертов Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), за последние четверть века частота таких заболеваний удвоилась и в настоящее время представляет серьезную социальную проблему. Постоянное увеличение врожденных и приобретенных аномалий развития опорно-двигательного аппарата человека выдвигает проблему удлинения конечностей в число важных медико-социальных задач. Исходя из статистических данных, ориентировочная потребность взрослого и детского населения России с различными нарушениями опорно-двигательного аппарата в удлинении конечностей составляет около 20 000 на 1 млн человек.

Рост числа указанных заболеваний в России связан с ухудшением социально-экономической ситуации в стране и с увеличением числа экологических катастроф, с высоким уровнем травматизма, в том числе детского, в результате техногенных и автомобильных аварий, террористических актов и т. п.

Анализ опубликованных работ [1], посвященных проблеме удлинения конечностей, показал, что в настоящее время наибольшее распространение получили методики постепенной, дозированной дистракции аппаратами наружной фиксации. Наиболее перспективным методом удлинения конечностей является метод чрескостного остеосинтеза, предложенный проф. Г.А. Илизаровым в середине 60-х годов XX века.

К настоящему времени в медицинской практике широко используется уже целый спектр аппаратов Илизарова, реализующих данный метод остеосинтеза применительно к различным элементам опорно-двигательного аппарата человека. Основ-

ной особенностью этих аппаратов является наличие ручного привода.

К современным наукоемким аппаратам остеосинтеза предъявляются дополнительные требования касательно методов оказания пациентам высокотехнологичной медицинской помощи, в частности по автоматизации процессов удлинения конечностей, введению элементов диагностики и т. д. Применение новых высокотехнологичных методов лечения имеет большое значение для оптимизации реабилитационного лечения. Оптимальные условия автоматизированной дистракции при чрескостном остеосинтезе позволяют:

- существенно сократить сроки восстановительного лечения, в частности уменьшить сроки нахождения больных в стационаре;
- оптимизировать социальную бытовую реабилитацию больных (возможность лечения в амбулаторных условиях) без потери либо с улучшением качества лечения.

Эти факторы обуславливают существенное сокращение расходов на лечение, что чрезвычайно актуально для инвалидов как для одной из самых социально уязвимых категорий населения.

Попытки автоматизировать процесс удлинения конечностей, предпринимавшиеся ранее на базе накостных, внутрикостных аппаратов и аппаратов внешней фиксации в Курганском ортопедическом центре «Восстановительная травматология и ортопедия» и в других ортопедических центрах страны и за рубежом, не нашли широкого применения в медицине.

### Назначение и конструкция автоматизированного аппарата

Во Владимирском государственном университете создан автономный ортопедический аппарат автоматизированного остеосинтеза (далее – автоматизированный аппарат) [2]-[6], реализующий широкий круг травматологических и ортопедических задач методом чрескостного остеосинтеза проф. Г.А. Илизарова применительно к индивидуальным особенностям пациента и патологического процесса за счет автоматизации процесса лечения. Схема автоматизированного аппарата приведена на *рис. 1*, а основные конструктивные модули автоматизированного аппарата представлены на *рис. 2*.

Автоматизированный аппарат, так же как и аппарат Илизарова с ручным приводом, выполнен с использованием опорных колец со спицами, ус-

тановленных на соединенных участках оперируемой кости. Однако кольца раздвигаются не с помощью передачи винт-гайка скольжения, как в ручном приводе, а с помощью электромеханических приводов линейного перемещения.

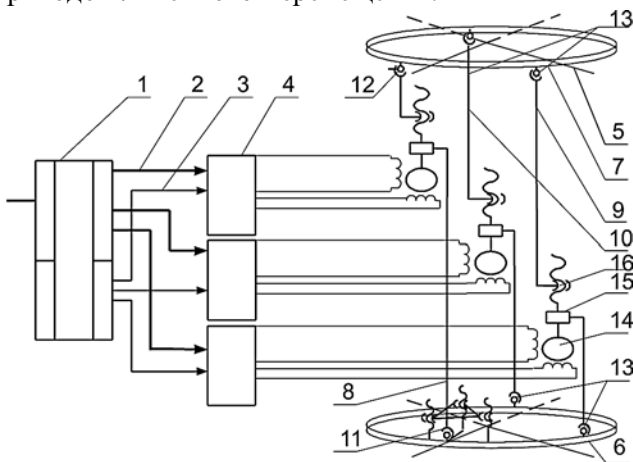


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного аппарата: 1 – однокристалльная микроЭВМ; 2 – шина данных (два канала); 3 – шина управления; 4 – контроллер управления шагового двигателя; 5 – спицы; 6 – нижнее кольцо (неподвижное); 7 – верхнее кольцо (подвижное); 8 – основной стержень; 9 и 10 – боковые стержни; 11 – трехступенной шарнир с фиксаторами его углового положения относительно кольца 6; 12 – двухступенной шарнир; 13 – трехступенной шарниры; 14 – шаговый электродвигатель; 15 – промежуточный планетарный редуктор; 16 – планетарная передача с резьбовыми роликами типа 3К

Основным элементом автоматизированного аппарата, обеспечивающим оптимальный цикл дистракции и усилия на выходе, соответствующих естественным условиям регенерации костной ткани, являются три шаговых электромеханических привода (рис. 3) на базе роликовинтовой передачи винт-гайка с резьбовыми роликами типа 3К (РВПЗК).

### Особенности роликовинтовой передачи винт-гайка с резьбовыми роликами типа 3К

РВПЗК отличаются от известных роликовинтовых передач (с короткими роликами) более широким диапазоном выбора передаточного отношения с обеспечением высокой редукции, более высокой кинематической точностью и плавностью при одинаковых габаритах, в 2...4 раза меньшей величиной приведенного момента инерции, на 15...20 % большей удельной грузоподъемностью, в несколько раз большей долговечностью. Эти преимущества РВПЗК в составе электропривода обеспечивают высокие разрешающую способность и чувствительность привода, что способствует высокой плавности движения привода при регенерации костной ткани.

### Назначение промежуточного редуктора

Промежуточный планетарный редуктор типа 2К-Н занимает по габаритам место муфты, кото-

рая могла бы соединить двигатель и РВПЗК, но в отличие от муфты редуктор не только соединяет двигатель с РВПЗК, но и обеспечивает дополнительную редукцию.

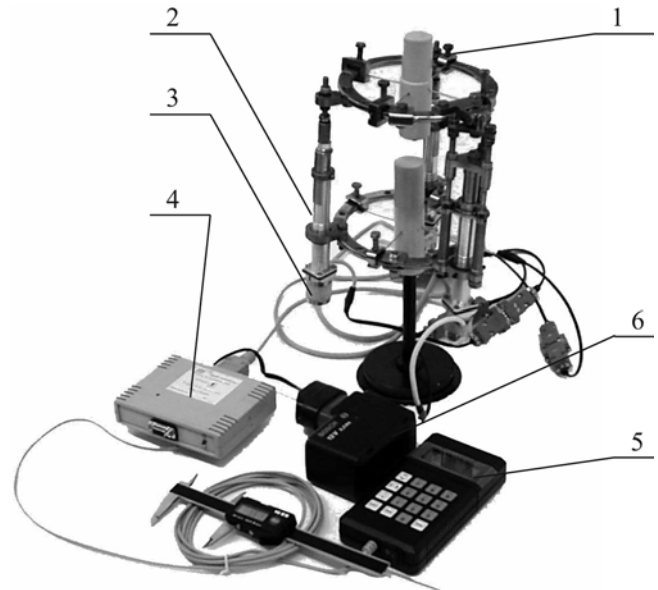


Рис. 2. Общий вид автономного ортопедического аппарата автоматизированного остеосинтеза:

1 – рабочий орган – кольца и спицы; 2 – исполнительные механизмы (ИМ) в количестве 3 шт. в составе роликовинтовой передачи винт-гайка с резьбовыми роликами типа 3К РВПЗК 12,6x0,1 и промежуточного планетарного редуктора; 3 – шаговый электродвигатель ДШ25-0,001-45УХЛ4 (3 шт.); 4 – блок управления приводами (БУПр) на базе унифицированного однокристалльного микроконтроллера AT89C2051 фирмы «Atmel» и трех контроллеров управления шаговыми двигателями L6208N фирмы «STM»; 5 – пульт управления (ПУ) на базе унифицированного однокристалльного микроконтроллера AT89C51 фирмы «Atmel» с использованием жидкокристаллического индикатора и пленочной клавиатуры; 6 – автономный источник питания – аккумулятор на 12 В; управляющее программное обеспечение

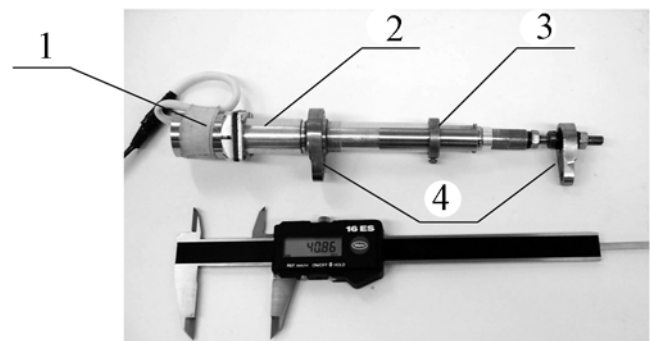


Рис. 3. Шаговый электромеханический привод аппарата: 1 – шаговый двигатель; 2 – РВПЗК 12,6x0,1; 3 – шток; 4 – кронштейны крепления к кольцам

## Шаговый двигатель и особенности его выбора

Целью управления двигателями применительно к автоматизированному аппарату является обработка заданной величины удлинения конечности (перемещения штоков аппарата) за цикл дистракции с требуемой точностью. Сравнительный анализ применения различных двигателей в автоматизированном аппарате показал, что шаговый двигатель более всего соответствует указанному требованию.

Анализ результатов исследования различных шаговых двигателей выявил возможность использования шагового двигателя ДШ-25-0,001 45УХЛ4 при 15-кратных перегрузках по сравнению с номинальным моментом на малых скоростях вращения при кратковременных включениях на 4...6 с и перерывами между включениями 30...40 мин. При этом достигается требуемое осевое усилие дистракции, необходимое для удлинения конечности.

Применение шагового двигателя предполагает работу системы управления в импульсном режиме, что значительно упрощает реализацию самой системы управления, а также алгоритмов ее функционирования. Управление шаговым двигателем заключается в формировании последовательности импульсов на обмотках статора двигателя и в их коммутации в определенной последовательности в зависимости от направления вращения. Частота следования импульсов определяет скорость вращения двигателя.

## Микропроцессорная система управления

Микропроцессорная система управления автоматизированного аппарата [5] конструктивно включает в себя два блока – БУПр и ПУ. Основной блок – БУПр построен на базе унифицированного однокристалльного микроконтроллера AT89C2051. Его отличительные характеристики: 2 кбайта Flash-памяти, 128 байтов оперативной памяти, 15 программируемых линий ввода-вывода, два 16-разрядных таймера/счетчика, 6 источников прерывания, программируемый последовательный интерфейс. Наличие последовательного интерфейса позволяет простыми средствами реализовать связь с ПУ.

Для управления микромашинами как постоянного тока, так и шаговыми двигателями фирмами «Motorola», «Ericsson», «STMicroelectronics» и др. выпускаются специальные контроллеры (драйверы). Так, фирмой «STMicroelectronics» выпускается ряд контроллеров для управления двухфазными шаговыми двигателями. Контроллер L6208N, входящий в состав БУПр, представляет собой интегральную схему двухканального прерывателя (формирователя) постоянного тока для обмоток двухфазного шагового двигателя.

Пульт управления ПУ (управляющая информационная подсистема) построен на микроконтроллере AT89C51. В состав ПУ входят устройство отображения вводимой информации и пленочная клавиатура. С пульта задаются следующие параметры:

- диапазон задания величины удлинения за цикл дистракции, мкм (отдельно для каждого привода): 7...250;

- диапазон задания величины временного интервала между последовательными циклами дистракции, мин: 1...250;
- скорость вращения двигателей, об/мин (в автоматическом режиме): 30...100.

Для индикации вводимых данных используется двухстрочный жидкокристаллический дисплей DV-16252. В каждой строке индикатора можно выводить до 16 символов, в том числе буквенных.

## Организация питания

Для обеспечения автономной работы автоматизированного аппарата используется внешний источник питания (аккумулятор) фирмы «Bosh» на 12 В. Проведенные экспериментальные исследования показали, что емкости данного аккумулятора достаточно для 70-часовой непрерывной работы, что соответствует требованиям, предъявляемым к автоматизированным аппаратам.

## Принцип работы и технические характеристики автоматизированного аппарата

Управление всеми шаговыми двигателями осуществляется от одного микроконтроллера, выполняющего функции распределения импульсов на обмотки статора двигателей и их коммутацию в определенной последовательности и в соответствии с программой. В управляющее программное обеспечение, которое является составной частью системы управления, введены функции регулирования скорости вращения двигателей. В автоматическом режиме работы автоматизированного аппарата устанавливается небольшая скорость вращения (от 30 до 100 об/мин) с целью получения значительного вращающего момента на валу двигателя. Развиваемое при этом исполнительными механизмами усилие соответствует значениям, необходимым для удлинения костного регенерата. В ручном режиме работы, осуществляемом с пульта управления, устанавливается высокая скорость (от 100 до 2000 об/мин), так как в этом режиме не требуется большой момент на валу двигателя, а необходимо лишь обеспечить заданные перемещения штоков приводов аппарата в нужное положение. Ручной режим работы используется, как правило, во время установки автоматизированного аппарата на пациентов.

Величина линейного перемещения штоков шаговых электромеханических приводов за цикл дистракции определяется количеством импульсов, поступающих на обмотки двигателя. Для используемого шагового двигателя один импульс соответствует повороту вала двигателя на 45°. С учетом передаточного отношения механической передачи, это соответствует перемещению штока на 3,385 мкм. С пульта управления величина перемещения (удлинения) задается в микрометрах, которые пересчитываются в эквивалентное значение числа импульсов. Данные о настройках хранятся во внутренней энергонезависимой памяти данных (EEPROM).

Программы работы и управления автоматизированным аппаратом хранятся отдельно, во внутренней памяти микроконтроллеров БУПр и ПУ соответственно. После задания лечащим врачом новых параметров работы автоматизированного аппарата (процесса лечения) ПУ отсоединяется от БУПр и хранится у врача.

Таблица 1

### Технические характеристики автоматизированного аппарата

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Номинальное развиваемое усилие distraction, Н	1000
2	Величина максимального перемещения штоков приводов при distraction, мм	50
3	Минимальный шаг изменения величины удлинения за цикл distraction, мкм	3,385
4	Диапазон задания величины удлинения за цикл distraction (с ПУ, отдельно для каждого двигателя) с шагом 3,385 мкм, мкм	7...250
5	Диапазон задания величины временного интервала между последовательными циклами distraction с шагом 1 мин	1...250
6	Количество каналов управления, шт.	3
7	Потребляемая мощность, Вт	18
8	Габариты аппарата, мм	275x240x195
9	Масса частей аппарата, размещаемых на конечности, кг, не более	2,2
10	Масса частей аппарата, размещаемых на пояском ремне, кг, не более	1,3
11	Режимы работы: • автоматический (отработка введенной программы); • ручной (наладочный)	–

Коммерциализация автоматизированного аппарата как конкурентоспособного высокотехнологичного устройства позволит снизить остроту проблем, существующих в сфере реабилитации и интеграции в общество инвалидов как одной из самых социально уязвимых категорий населения. Кроме того, формирование национального рынка технических средств реабилитации с расширением их номенклатуры является приоритетной целью ФЦП «Социальная поддержка инвалидов» 2006-2010 гг.

#### Список литературы:

1. Шевцов В.И., Попков А.В. Круглосуточное удлинение конечностей в автоматическом режиме // Гений ортопедии. 2003. № 4.
2. Козырев В.В. Ортопедический аппарат остеосинтеза / Патент на изобретение № 2339332, приоритет от 02.02.2006 г.
3. Козырев В.В., Федотов О.В., Паринов С.М., Тихомиров С.Л. Результаты клинических испытаний автономного ортопедического аппарата автоматизированного остеосинтеза и их анализ // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2006. № 1-3. Т. 4. С. 149-155.

4. Козырев В.В., Мишулин Ю.Е., Федотов О.В., Тихомиров С.Л. Автономный ортопедический аппарат автоматизированного остеосинтеза // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2004. № 3. С. 61-66.
5. Козырев В.В., Мишулин Ю.Е., Овчинников А.Ю., Федотов О.В. Автономный ортопедический аппарат автоматизированного остеосинтеза как мехатронная система // Мехатроника. 2002. № 4. С. 41-44.
6. Козырев В.В., Мишулин Ю.Е., Федотов О.В. Реализация и анализ микропроцессорной системы управления для автономных ортопедических аппаратов автоматизированного остеосинтеза // Привод и управление. 2001. № 4. С. 11-14.
7. Козырев В.В., Федотов О.В., Поляков Р.Н. Исследование возможности усовершенствования конструкции электромеханического привода автоматизированного ортопедического аппарата / Материалы II Междунар. электронной научн.-техн. конф. «Актуальные проблемы машиностроения». 2002. С. 185-187.

**Вячеслав Васильевич Козырев**,

*д-р техн. наук, профессор,  
ГОУ ВПО «Владимирский  
государственный университет»,  
Омарий Ильич Алборов,  
канд. мед. наук, директор,  
Научно-практический центр  
специализированных видов медицинской помощи,  
Олег Владимирович Федотов,  
канд. техн. наук, доцент,  
кафедра «Теоретическая  
и прикладная механика»,  
ГОУ ВПО «Владимирский  
государственный университет»,  
Сергей Михайлович Воробьев,  
канд. мед. наук, зам. директора по научной работе,  
Сергей Львович Тихомиров,  
гл. детский ортопед-травматолог  
Владимирской области,  
зав. отделением травматологии № 2,  
Научно-практический центр  
специализированных видов медицинской помощи,  
Иван Михайлович Мамаев,  
аспирант,  
ГОУ ВПО «Владимирский  
государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Владимир,  
e-mail: tpm@vlsu.ru*