

*Богданова Виолетта Анатольевна*

студентка

*Кривцова Ирина Олеговна*

преподаватель

ГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»

Минздрава России

г. Воронеж, Воронежская область

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ,  
ОСНОВАННЫХ НА РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ,  
К ЗАДАЧЕ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАДИОМЕТРА**

*Аннотация: в статье рассматривается актуальный вопрос внедрения новых технологий из разных отраслей науки в медицину. Авторы исследуют модернизацию такого устройства, как стадиометр.*

*Ключевые слова: стадиометр, измерения роста, медицина, физика, тензодатчики, модернизация, точность обследования, лазерный дальномер.*

В настоящее время широко распространены устройства для измерения роста человека – стадиометры (ростомеры медицинские), представляющие собой простейшее механическое устройство, включающее в себя основание, вертикальную направляющую с нанесенной на ней шкалой и измерительную губку. Общий вид типового стадиометра представлен на рисунке 1.

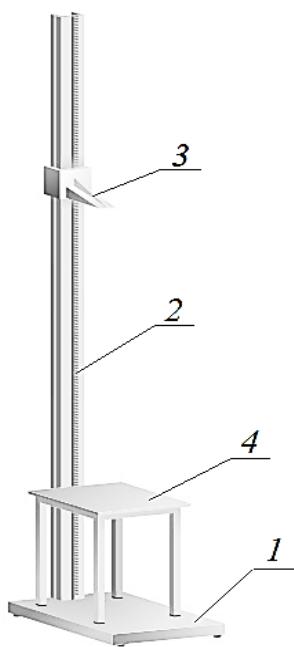
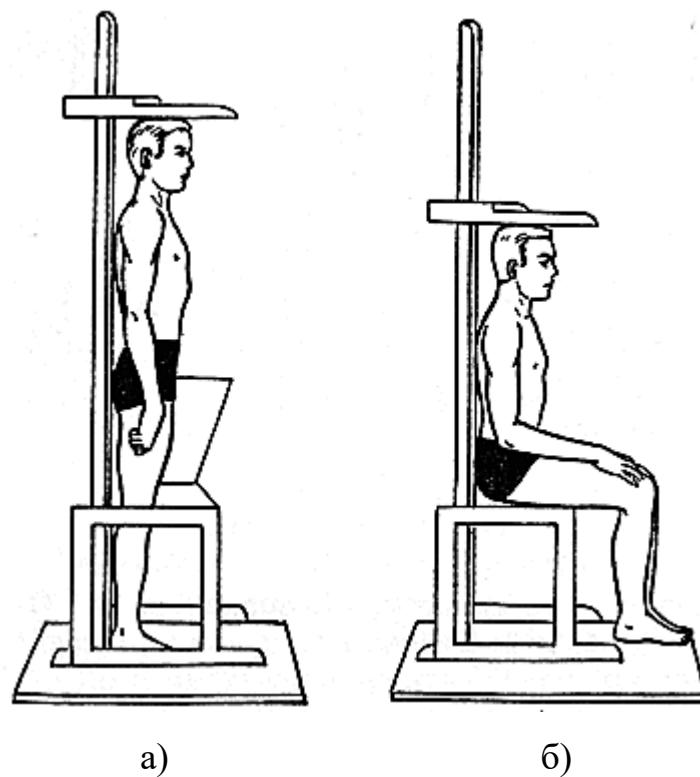


Рис. 1. Общий вид типового стадиометра

1 – основание; 2 – направляющая с нанесенной на ней шкалой; 3 – измерительная губка (планшетка); 4 – подставка фиксированной высоты для измерения высоты туловища (измерения роста в положении сидя).

Измерение роста производится следующим образом: обследуемый должен снять обувь и носки, встать на основание, сведя пятки вместе и прижав их к направляющей. Затылок, лопатки и ягодицы также должны быть прижаты к направляющей. Расположить голову прямо, направив взгляд перед собой (верхний край наружного слухового прохода и угол глаза должны быть на одной горизонтальной линии). Измеряющий опускает измерительную губку до соприкосновения с верхней частью головы обследуемого и снимает отсчет по нижнему срезу измерительной губки. Результат запоминается и затем заносится в документацию. Принцип измерения представлен на рисунке 2.



а)

б)

Рис. 2. Принцип измерения роста при помощи типового стадиометра:

а) измерение роста стоя; б) измерение высоты туловища

(измерение роста в положении сидя)

При всей простоте метода, он имеет некоторые слабые стороны. А именно:

1. Измеряющий должен проследить за тем, чтобы обследуемый принял требуемое положение, при этом в процессе снятия показаний внимание переключается на шкалу и нельзя быть полностью уверенным, что именно в момент снятия показаний обследуемый будет прижимать затылок, лопатки, ягодицы и пятки к вертикальной направляющей стадиометра.

2. Съём данных выполняется визуально по шкале, что может привести к ошибкам в случае утомления оператора, внезапного отвлечения внимания и прочих факторов, в целом известных как «человеческий фактор».

3. Данные заносятся в документацию по памяти, что может приводить к ошибкам, связанным с невнимательностью или просто случайным ошибкам.

4. При измерении роста большого числа обследуемых в сжатые сроки производительность метода оказывается неудовлетворительной, вероятность фиксации ошибочных данных возрастает. Наиболее актуально этот аспект проявляется при обследовании военнослужащих.

5. Точность метода хотя и достаточна для типового обследования, но оказывается неудовлетворительной при возникновении специфических задач, например, отслеживании динамики роста костной ткани при чрескостном остеосинтезе.

Целью данной работы является анализ возможности устранения перечисленных недостатков типового стадиометра посредством применения современных технических средств, функционирующих на основе различных физических принципов. А также создание концепции устройства модернизированного стадиометра, обладающего определенными преимуществами и повышенным удобством при эксплуатации.

С учетом вышеописанного, перечень требований к модернизированному стадиометру можно привести к следующему виду:

1. Автоматизация типовых процессов измерения, сводящая к минимуму участие оператора.

2. Автоматизация снятия отсчета при измерении, представление результатов в цифровом виде, автоматическое сохранение результатов в базе данных, передача результатов в файл карты биометрических данных обследуемого.

3. Применение датчиков снятия и оцифровки отсчета при измерении, отличающихся повышенной точностью.

4. Защита от ошибочного снятия показаний, состоящая из набора датчиков, контролирующих положение обследуемого, средств сигнализации о неправильном положении обследуемого и программного обеспечения, препятствующего записи результата измерения при наличии запрещающего сигнала датчиков положения.

5. Интеграция с прочими процедурами обследования, например, взвешиванием, выполняемым непосредственно на позиции измерения роста.

6. Исключение ручных манипуляций оператора за счет применения сервоприводов, повышение скорости выполнения процесса.

На основе перечня требований можно сформировать конструктивное устройство модернизированного стадиометра и подобрать компоненты, наиболее полно отвечающие поставленной задаче.

## 2.1. Интеграция стадиометра с устройством измерения веса.

В основание модернизированного стадиометра целесообразно встроить устройство измерения веса, представляющее результат в цифровом виде на управляющую микросхему стадиометра. Это позволяет в автоматическом режиме определять тот факт, что обследуемый занял положение на измерителе. По устоявшимся ненулевым показаниям измерителя веса можно сделать вывод о том, что обследуемый закончил принимать нужное положение на стадиометре (активные перемещения закончены).

В связи с тем, что устройство измерения веса встроено в основание стадиометра, смещение верхней части устройства во всем диапазоне приложения весовой нагрузки должно быть минимально, т. к. эта поверхность одновременно является измерительной базой при определении роста. Этим двум ключевым требованиям: выходной сигнал результата измерений в цифровой форме и минимальное смещение верхней поверхности в широком диапазоне весовых нагрузок наиболее полно соответствуют устройства измерения веса, основанные на тензометрическом принципе.

Все тензометрические весы основаны на двух ключевых компонентах, это упругий элемент, изготавливаемый обычно из высокоуглеродистой пружинной стали и воспринимающий весовую нагрузку, а также тензометрический датчик, обычно тонкопленочный, изготавливаемый методом напыления резистивного слоя. Упругий элемент рассчитывается под эксплуатационный диапазон нагрузок таким образом, чтобы упругие деформации составляли небольшую величину (обычно 0,05...0,1 мм) и обеспечивался значительный запас прочности. Форма

упругого элемента подбирается таким образом, чтобы имелась развитая зона равномерных упругих деформаций, в которой располагается тензометрический датчик.

Тензометрический датчик состоит из гибкой полимерной подложки, на которой методом напыления нанесен токопроводящий резистивный слой в виде череды последовательно соединенных полос. На подложке также организованы выводные контакты.

Тензометрический датчик закрепляется в детекторной зоне упругого элемента при помощи безусадочного клеевого состава. При упругих деформациях элемента длина тензометрического датчика также изменяется, т. к. они деформируются как единое целое, за счет чего сопротивление каждой полосы резистивного слоя пропорционально изменяется. За счет последовательного соединения полос и их большого количества на датчике, общее сопротивление датчика претерпевает значительные изменения, пропорциональные деформациям упругого элемента. Принцип измерения весовой нагрузки тензометрическим устройством представлен на рисунке 3.

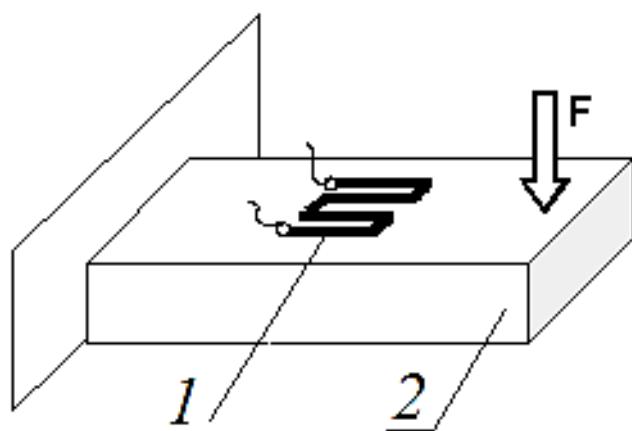


Рис. 3. Принцип измерения весовой нагрузки тензометрическим устройством

1 – датчик тензометрический; 2 – упругий элемент; F – измеряемый вес.

В настоящее время существует широкий выбор готовых откалиброванных устройств, включающих в себя упругий элемент и тензометрический датчик в едином корпусе с выводами. Устройство тензометрического датчика и примеры готовых устройств представлены на рисунке 4.

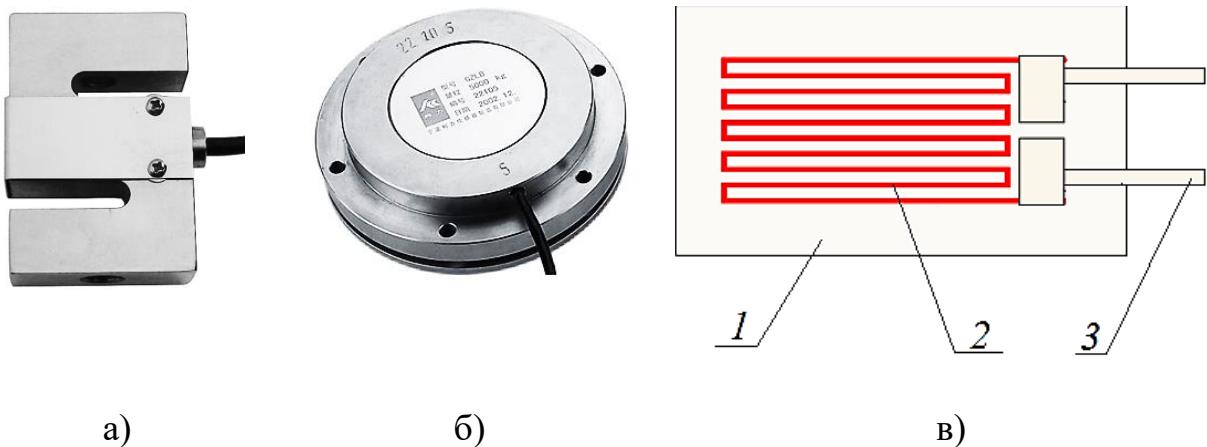


Рис. 4. Устройство тензометрического датчика и примеры готовых устройств:  
 а) тензометрический датчик: 1 – подложка; 2 – резистивный слой;  
 3 – выводной контакт. б) тензометрическое устройство цилиндрическое;  
 в) тензометрическое устройство с-образное

Структурная схема устройства измерения веса на основе тензометрических датчиков представлена на рисунке 5.



Рис. 5. Структурная схема устройства измерения веса  
 на основе тензометрических датчиков

Тензодатчики (ТДС) передают сигнал на усилители, с которых сигнал поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и переводится в цифровую форму. Усилители используются для усиления низковольтного сигнала от датчика до уровня сигнала, который может преобразовать АЦП. АЦП передает цифровой сигнал на блок цифровой обработки. Блок цифровой обработки включает в себя процессор, блок регистров и схему дешифрации. Схема дешифрации выдает разрешающий сигнал одной или другой микросхеме на выдачу данных,

приходящих по одной шине. Блок регистров используется для временного хранения информации, поступающей от микропроцессора и последующей выдачи ее на индикатор.

После подачи напряжения питания на схему, происходит инициализация микропроцессора, проверяется работоспособность всех устройств, входящих в блок цифровой обработки. Обращение микропроцессора к АЦП производится путем посылки адреса аналогового канала. После этого начинается преобразование аналогового сигнала в дискретный сигнал. Во время преобразования микропроцессор находится в режиме ожидания конца преобразования. После появления сигнала от АЦП, подтверждающего окончание преобразования, данные считаются во внутренние регистры микропроцессора. Далее микропроцессор производит обработку данных: линеаризацию, учитывает температурную погрешность, переводит значение напряжения в значение массы, которое передается в блок регистров, из которых, затем выводится значение.

## 2.2. Выбор устройства регистрации значений отсчета при измерении роста.

В качестве устройства регистрации значений отсчета при измерении роста можно использовать различные технические средства. Рассмотрим принцип действия некоторых из них, наиболее полно отвечающих поставленной задаче.

### 2.2.1. Инкрементные фотоэлектрические преобразователи перемещений (инкрементные энкодеры).

Бывают линейными и угловыми. Линейные энкодеры позволяют непосредственно измерять линейные перемещения с чрезвычайно высокой точностью, но для требуемых в стадиометре диапазонов измерений существующие на сегодняшний день линейные энкодеры чрезвычайно дороги и отличаются низкой стойкостью к ударным нагрузкам, что связано с наличием в их конструкции протяженной растровой пластины из стекла. Наиболее дешевыми и надежными при высокой точности являются угловые энкодеры. При помощи простейшего механического преобразователя, состоящего из барабана и тонкой стальной проволоки, угловой энкодер может быть приспособлен для измерения линейных пере-

мещений. По физическому принципу работы энкодер относится к классу фотоэлектрических датчиков. Фотоэлектрические датчики используют фотоэлектрический эффект – явление испускания электронов веществом под действием света, открытый 1887 Г. Герцем. Во время работы фотоэлектрического датчика происходит непрерывное преобразование света в электрический сигнал. Основными элементами фотоэлектрических датчиков являются:

- источник света (лазеры, светодиоды);
- оптическая среда;
- приемник светового луча (фотоприёмники, ПЗС матрицы).

Оптическая среда датчика состоит из двух стеклянных пластин в форме диска, на которых методом фитолитографии нанесены чрезвычайно тонкие радиальные штрихи из светопоглощающего материала (оптический растр). Ширина штрихов по окружности равна промежуткам между штрихами. Оптическая среда располагается между источником света и приемником. Одна из пластин закреплена неподвижно на корпусе датчика, а другая соединена с вращающимся в подшипниках валом. При вращении вала одна пластина поворачивается относительно другой, что приводит к попеременному совмещению штрихов и промежутков между ними. Когда промежутки между штрихами каждой пластины совмещаются, свет беспрепятственно проходит от источника к приемнику. Когда штрих одной пластины совмещается с промежутком другой пластины, свет полностью поглощается оптической средой. Таким образом, при повороте вала датчика, формируются электрические импульсы, количество которых пропорционально углу поворота. Для того, чтобы различать направление вращения вала, на неподвижной пластине формируются четыре растровых окна, в каждом из которых положение растровых штрихов смещено на  $1/4$  от общего шага. За каждым окном устанавливается свой фотоприемник. При взаимном повороте пластин последовательность прохода света через растровые окна зависит от направления взаимного поворота пластин и определяется по последовательности сигналов от фотоприёмников.

Например, вращение по часовой стрелке вызывает сигналы фотоприемников в последовательности 1–2–3–4; вращение против часовой стрелки: 4–3–2–1.

Для предотвращения набегающей погрешности, связанной с возможным прерыванием питания во время работы, чрезмерно высоких скоростей вращения и т. п. в неподвижной пластине предусмотрено дополнительное окно, формирующее дополнительный сигнал при совершении каждого полного оборота (детекция нулевого угла). Принцип действия детекторной части энкодера представлен на рисунке 6.

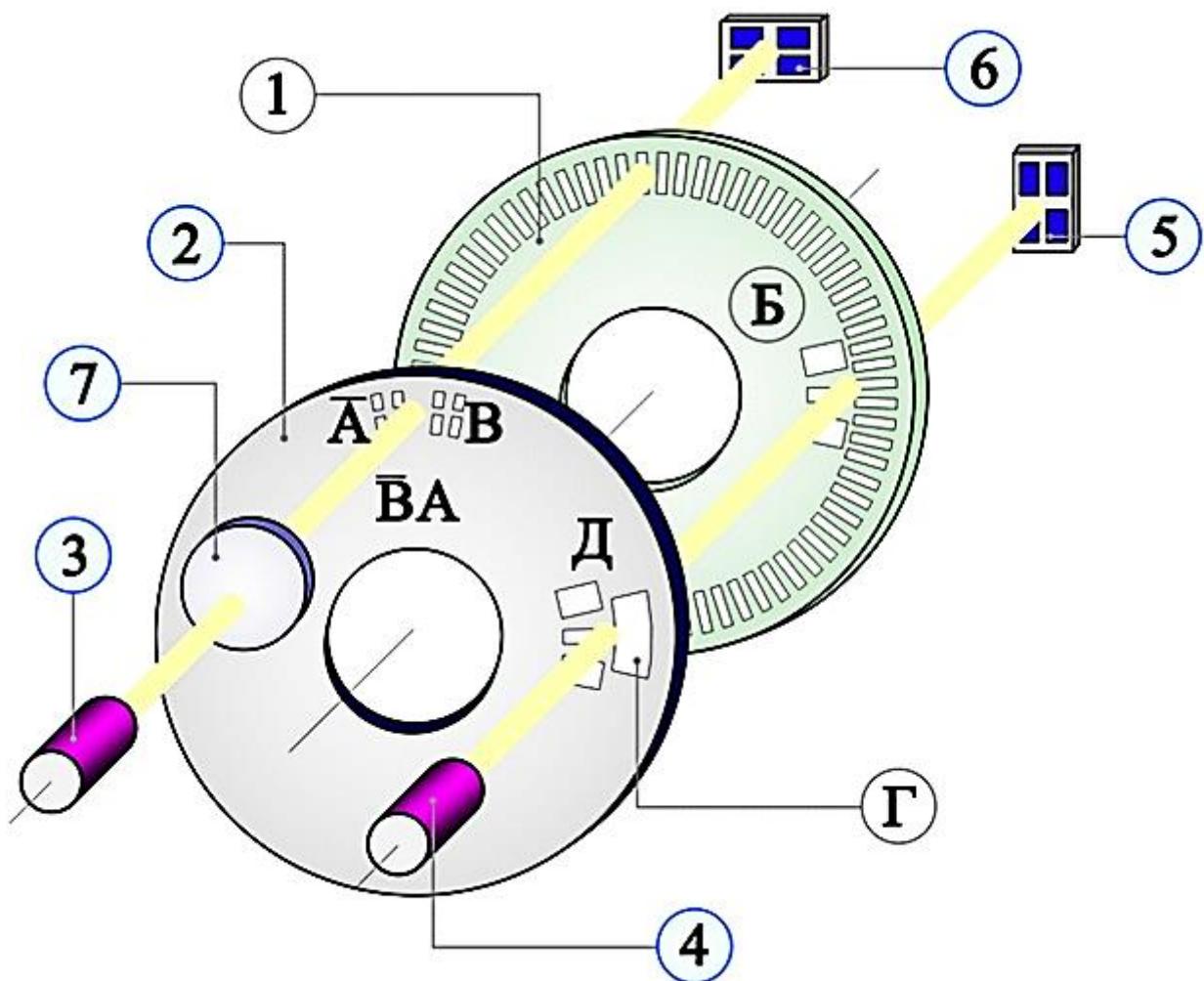


Рис. 6. Принцип действия детекторной части инкрементного  
фотоэлектрического преобразователя перемещений

1 – поворотная растровая пластина; 2 – неподвижная растровая пластина; 3, 4 – светоизлучатели; 5 – блок фотоприемников детекции нулевого угла; 6 – блок

фотоприемников детекции угла поворота; 7 – коллимационная линза, обеспечивающая параллельность светового луча.

Современная отечественная промышленность выпускает широкий спектр энкодеров с разрешающей способностью от 32000 импульсов / оборот до 3600000 импульсов /оборот. Проведем расчет разрешающей способность измерения при диаметре шкива 50 мм:

Перемещение измерительной губки стадиометра за 1 оборот отсчетного шкива:  $L = \pi * D$ ;  $L = 3,14 * 50 = 157,08$  мм.

Разрешающая способность при использовании датчика, обеспечивающего  $\delta_1 = 32000$  импульсов /оборот:

$$\Delta_1 = L / \delta_1; \Delta_1 = 157,08 / 32000 = 0,005 \text{ мм.}$$

Т. е. самый бюджетный и малогабаритный энкодер обеспечивает разрешающую способность, достаточную для самых требовательных задач. Общий вид серийного отечественного энкодера представлен на рисунке 7.



Рис. 7. Общий вид серийного отечественного энкодера угловых перемещений

Существует возможность приобретения готовых устройств детекции линейных перемещений, включающих в себя энкодер, отсчетный барабан, тонкую стальную проволоку с узлом крепления и возвратно – нагружочное устройство. Общий вид подобного устройства представлен на рисунке 8.

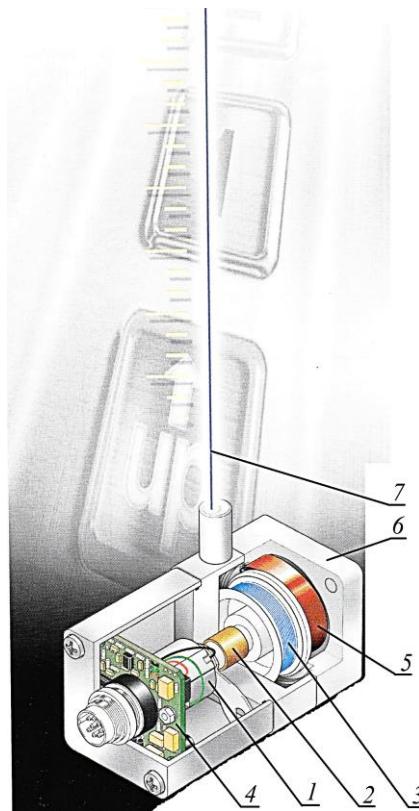


Рис. 8. Общий вид устройства детекции линейных перемещений на базе углового инкрементного энкодера

1 – угловой инкрементный энкодер; 2 – муфта компенсации несоосности; 3 – отсчетный барабан; 4 – плата цифровой обработки с интерфейсным разъемом; 5 – возвратно-нагрузочное устройство; 6 – корпус; 7 – тонкая сталистая проволока с узлом крепления

### 2.2.2 Лазерный бесконтактный дальномер.

В качестве устройства регистрации значений отсчета при измерении роста можно также использовать лазерный дальномер. Некоторые модели лазерных дальномеров отличаются неприхотливостью, небольшими габаритами, имеют порт для управления и обмена данными. Принцип действия лазерных дальномеров, предназначенных для измерения больших дистанций (1 км и более) – импульсный. Лазерный импульс посыпается к мишени и по времени запаздывания отраженного сигнала вычисляется дальность до объекта измерений. Однако для измерения дальности в пределах от нескольких сантиметров до 500 м импульсный метод требует необычайного быстродействия всех компонент и наличия высокоточного устройства замера времени, в связи с чем применение импульсного

метода на таких дистанциях экономически нецелесообразно. Поэтому на таких дистанциях используется метод фазового сдвига.

Суть метода состоит в том, что непрерывно излучаемый в процессе измерения лазерный луч моделируется по фазе. Затем моделированный луч при помощи системы призм разделяется на два луча. Один из них напрямую поступает на фотодатчик (фазовый детектор), а второй проходит путь до измеряемого объекта, отражается и поступает на тот – же фотодатчик. Поскольку за время, необходимое лучу для преодоления расстояния до измеряемого объекта и обратно, опорный луч уже успевает претерпеть определенную фазовую модуляцию, суммарный сигнал на фотоприемнике будет пропорционален величине сдвига фаз опорного и отраженного лучей. Зная зависимость модуляции от времени, несложно определить расстояние до измеряемого объекта. Принцип действия лазерного дальномера, основанного на методе фазового сдвига представлен на рисунке 9.

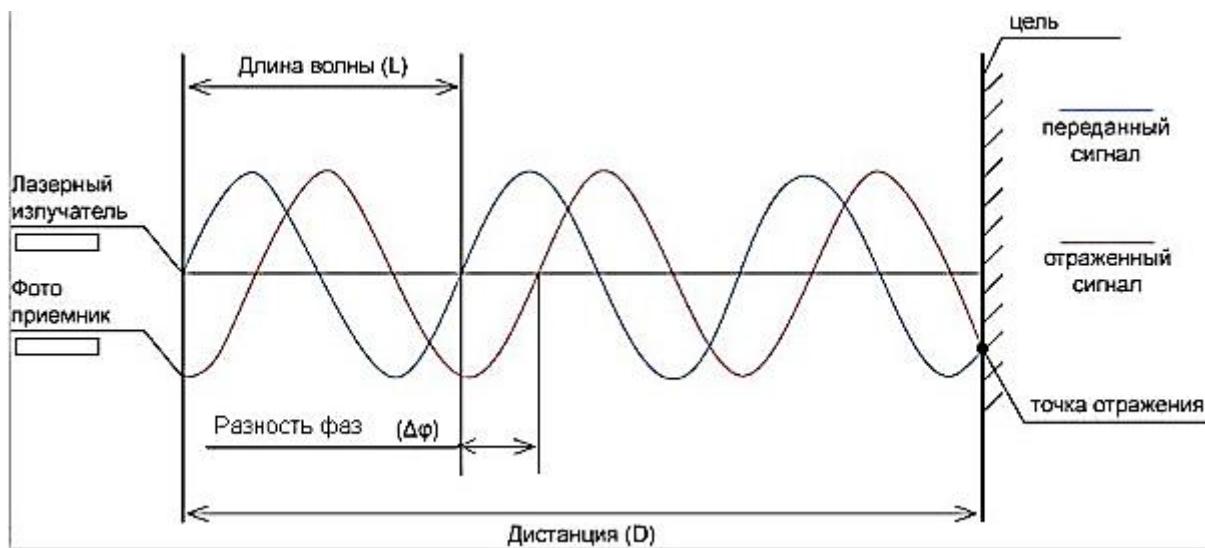


Рис. 9. Принцип действия лазерного дальномера, основанного на методе фазового сдвига

Одна из моделей лазерных дальномеров, имеющая функцию передачи данных представлена на рисунке 10.



Рис. 10. Лазерный дальномер с функцией передачи данных

Для улучшения точности измерений, на измеряемом объекте (в нашем случае это будет измерительная губка стадиометра) следует закрепить световозвращающий элемент, например, на основе микропризменной пленки.

### 2.3. Датчики положения обследуемого.

Принятие необходимого положения обследуемого можно детектировать при помощи простейших микропереключателей, снабженных рычажным механизмом для обеспечения более широкой зоны срабатывания. Такие датчики, размещенные в ключевых зонах направляющей стадиометра, обеспечат контроль положения, а при интеграции с речевым синтезатором, позволяют озвучивать указания обследуемому в автоматическом режиме, при отсутствии сигнала с определенного датчика. Например, при отсутствии сигнала с датчика прижима лопаток выдавать сообщение «прижмите лопатки к направляющей» и блокировать запись результата измерений вплоть до поступления сигнала нормализации положения. Расположение датчиков представлено на рисунке 11.

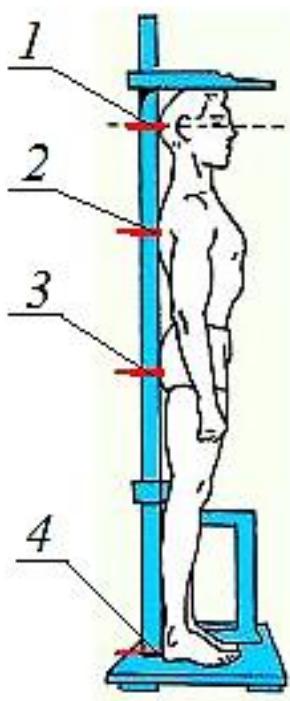


Рис. 11. Расположение датчиков

1 – датчик прижима затылка; 2 – датчик прижима лопаток; 3 – датчик прижима ягодиц; 4 – датчик прижима пяток.

Типовой микропереключатель состоит из контактов неподвижного типа, между которыми расположен подвижный контакт. Подвижный контакт связан со штоком, выходящим наружу из корпуса. Принцип действия микропереключателей состоит в переключении подвижного контакта при величине внешнего усилия на шток, превышающей усилие сохранения устойчивости. При снятии внешней нагрузки, подвижный контакт перемещается в исходное положение. Типичный микропереключатель представлен на рисунке 12.



Рис. 12. Микропереключатель с рычагом и роликом

#### 2.4. Сервопривод перемещения измерительной губки стадиометра.

Для предотвращения выполнения ручных операций измеряющим персоналом, возможно применение сервоприводов, управляющих вертикальными перемещениями измерительной губки стадиометра через винтовую или реечную передачу. Первоначально губка находится в верхнем положении. После поступления команды на измерение, сервопривод опускает губку до срабатывания концевого выключателя, установленного на нижней поверхности губки. Крайнее верхнее и нижнее положения губки также ограничиваются по командам смонтированных на направляющей микропереключателей.

#### 2.5. Итоговый алгоритм работы модернизированного стадиометра:

1. Обследуемый идентифицируется в централизованной системе учреждения, например при помощи микросхемы в медицинском полисе.
2. Речевой синтезатор выдает команду занять положение на стадиометре, с необходимыми пояснениями.
3. Встроенный в основание стадиометра измеритель веса определяет наличие обследуемого, по установившимся показаниям определяет окончание активных движений. Производит замер веса и отправляет значение веса в базу данных централизованной системы учреждения.

4. Ведется опрос датчиков положения обследуемого. При отрицательном сигнале речевой синтезатор подает команды на исправление положения, при положительном сигнале подается команда сервоприводу на опускание измерительной губки до срабатывания контактного датчика на губке.

5. Происходит проверочный опрос датчиков положения, при положительном сигнале происходит считывание показаний с энкодера или лазерного дальномера, замеряющих положение губки. Данные записываются в базу данных централизованной системы учреждения.

6. Подается команда сервоприводу на подъем губки. Речевой синтезатор подает команду «следующий».

Современные технические средства, основанные на использовании различных физических принципов, позволяют существенно изменить облик привычных медицинских устройств, улучшив их характеристики, повысив удобство, увеличив быстродействие, придав необычные возможности.