ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р

ИСО 18646-4:202_

(проект, первая редакция)

Роботы и робототехнические устройства

РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ

Часть 4
Роботы для поддержки поясницы

(ISO 18646-4:202_, IDT)

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

ГОСТ Р
(проект, первая редакция)

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия» (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 141 «Робототехника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от №

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 18646-4 «Робототехника. Критерии эффективности и связанные с ними методы испытаний сервисных роботов. Часть 4. Роботы для поддержки поясницы» (ISO 18646-4: «Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 4: Lower-back support robots», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного документа для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5-2012 (пункт 3.5) и для увязки с наименованиями, принятыми в существующем комплексе национальных стандартов Российской Федерации.

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта

соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, 20XX

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

Предисловие .....

Введение .....

1 Область применения .....

2 Нормативные ссылки .....

3 Термины и определения .....

4 Условия испытаний .....

4.1 Общие положения…….....

4.2 Условия окружающей среды ..…….....

4.3 Условия эксплуатации ..…….....

5 Методика испытания индекса вспомогательного крутящего момента и уменьшения компрессии поясничного отдела …….....

5.1 Назначение .....

5.2 Соответствующие характеристики .....

5.2.1 Общие положения…….....

5.2.2 Индекс вспомогательного крутящего момента (ATI) ….....

5.2.3 Уменьшение компрессии поясницы (LCR) ….....

5.3 Испытательная установка .....

5.3.1 Испытательная машина .....

5.3.2 Опорное движение и заданная траектория .....

5.4 Методика испытаний.....

5.5 Результат испытаний.....

6 Метод испытания скорости оказания помощи .....….....

6.1 Назначение …….....

6.2 Соответствующие характеристики …….....

6.3 Испытательная установка ….....

6.4 Методика испытаний…….....

6.5 Результат испытаний.....

Приложение А (справочное) Временной диапазон ATI и LCR ….....

Приложение В (справочное) Пример роботов для поддержки поясницы …….....

Приложение С (справочное) Примерная таблица результатов испытаний .....

Приложение D (справочное) Пример реализации испытательной машины .....

Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам ……

Библиография.....

Введение

Требования стандартов комплекса ГОСТ Р 60 распространяются на роботов и робототехнические устройства. Их целью является повышение интероперабельности роботов и их компонентов, а также снижение затрат на их разработку, производство и обслуживание за счет стандартизации и унификации процессов, интерфейсов, узлов и параметров.

Стандарты комплекса ГОСТ Р 60 представляют собой совокупность отдельно издаваемых стандартов. Стандарты данного комплекса относятся к одной из следующих тематических групп: «Общие положения, основные понятия, термины и определения», «Технические и эксплуатационные характеристики», «Безопасность», «Виды и методы испытаний», «Механические интерфейсы», «Электрические интерфейсы», «Коммуникационные интерфейсы», «Методы моделирования и программирования», «Методы построения траектории движения (навигация)», «Конструктивные элементы». Стандарты любой тематической группы могут относиться как ко всем роботам и робототехническим устройствам, так и к отдельным группам объектов стандартизации – промышленным роботам в целом, промышленным манипуляционным роботам, промышленным транспортным роботам, сервисным роботам в целом, сервисным манипуляционным роботам, сервисным мобильным роботам, а также к морским робототехническим комплексам.

Настоящий стандарт относится к тематической группе «Виды и методы испытаний» и распространяется на сервисных роботов по персональному уходу. Он идентичен международному документу ISO/DIS 18646-4, разработанному техническим комитетом ИСО/ТК 299 «Робототехника».

ГОСТ Р
(проект, первая редакция)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Роботы и робототехнические устройства

РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ
Часть 4
Роботы для поддержки поясницы

Robots and robotic devices – Performance criteria and related test methods for service robots.
Part 4: Lower-back support robots

Дата введения –

1 Область применения

Настоящий стандарт описывает виды и методы испытаний для оценки роботов для поддержки поясницы.

Настоящий стандарт применяется независимо от назначения и применения роботов для поддержки поясницы и методов управления роботом (например, электрических, гидравлических, пневматических и т.д.). Настоящий стандарт не распространяется на медицинских роботов, хотя методы испытаний, указанные в настоящем стандарте, могут быть использованы и для медицинских роботов.

Настоящий стандарт не предназначен для проверки или подтверждения требований безопасности.

2 Нормативные ссылки

В этом документе нет никаких нормативных ссылок.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения, ГОСТ Р 60.2.2.1-2016/ИСО 13482:2014 Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов по персональному уходу, а также следующие термины с соответствующими определениями.

ИСО и МЭК поддерживают терминологические базы данных для использования в документах по стандартизации по следующим адресам:

- платформа ИСО для онлайн-просмотра доступна по адресу http://www.iso.org/obp;
- электропедия МЭК доступна по адресу http://www.electropedia.org.

3.1 **робот** (robot): Программируемый исполнительный механизм с определенной степенью автономности, выполняет поставленные задачи, перемещаясь в пределах своей среды.

Примечание 1 – В состав робота входит система управления и интерфейс системы управления.

Примечание 2 – Классификация робота на промышленного робота или сервисного робота осуществляется в соответствии с его предполагаемым применением.

Примечание 3 – ИСО/ТК 299 "Робототехника" в 2018 году принял новое определение: робот (robot): Программируемый исполнительный механизм с определенным уровнем автономности для выполнения перемещения, манипулирования или позиционирования.

Примечание 4 – ГОСТ Р 60.0.0.4-20199/ИСО 8373:2012, пункт 2.6, модифицировано – слова «исполнительный механизм, программируемый по двум или более степеням подвижности» заменены словами «программируемый исполнительный механизм».

3.2 **носимый робот** (wearable robot): Робот, который дополняет или увеличивает личные возможности, будучи прикрепленным к человеку во время использования.

Примечание 1 – Носимые роботы в стандарте ГОСТ Р 60.2.2.1-2016/ИСО 13482:2014 называются роботами для оказания физической помощи закрепляемого типа.

3.3 **робот для поддержки поясницы** (lower-back support robot): Носимый робот для снижения нагрузки в пояснице пользователя за счет его вспомогательной силы или крутящего момента.

3.4 **пользователь** (user): Человек, надевающий носимый робот на свое тело, и непосредственно получающий его вспомогательную силу или крутящий момент.

Примечание 1 – ГОСТ Р 60.2.2.1-2016/ИСО 13482:2014, пункт 3.26, модифицирован, пользователь (user): Оператор робота по персональному уходу или получатель услуги, предоставляемой роботом по персональному уходу.

3.5 **оператор** (operator): Лицо, назначенное для внесения изменений в параметры и программы, а также для запуска, мониторинга и остановки предполагаемой работы носимого робота.

Примечание 1 – Оператор может быть тем же лицом, что и пользователь.

Примечание 2 – ГОСТ Р 60.2.2.1-2016/ИСО 13482:2014, пункт 3.25, модифицирован, оператор (operator): Человек, назначенный для проведения изменений параметров и программ, а также запуска, контроля и остановки заданной операции робота по персональному уходу.

3.6 **прикреплять** (attach): Закрепление носимого робота на пользователе для начала использования робота.

3.7 **отсоединять** (detach): Открепление носимого робота от пользователя по окончании использования робота.

3.8 **сдерживающая часть** (restraint part): Часть носимого робота связывает соответствующую прикрепленную часть тела пользователя для передачи вспомогательной силы или крутящего момента.

3.9 **вспомогательный крутящий момент** (assistive torque): Крутящий момент носимого робота для оказания помощи пользователю в выполнении необходимых задач.

3.10 **прикрепленная часть тела** (attached body part): Часть тела пользователя прикреплена к удерживающей части носимого робота.

3.11 **способ ввода** (input method): Интерфейс, позволяющий пользователю управлять вспомогательной силой или крутящим моментом носимого робота с помощью соответствующего входного сигнала.

3.11.1 **биологический ввод** (biological input): Метод ввода, при котором в качестве входных данных используются биологические сигналы, коррелирующие с силой или крутящим моментом, которые пользователь оказывает на свою часть тела, предназначенную для оказания помощи.

Примечание 1 – Биологические сигналы включают биоэлектрические сигналы.

3.11.2 **кинематический ввод** (kinematic input): Метод ввода, при котором в качестве входных данных используются движение и/или поза частей тела пользователя, предназначенных для оказания помощи.

3.11.3 **ввод команды** (command input): Любой другой метод ввода, отличный

от биологического ввода или кинематического ввода.

Примечание 1 – Командный ввод включает в себя использование командных устройств, переключателей дыхания или голосового ввода.

Примечание 2 – Ввод команды включает использование биологических сигналов, которые не коррелируют с силой или крутящим моментом, оказываемым пользователем на ту часть тела, которая предназначена для оказания помощи.

Примечание 3 – Ввод команды включает в себя движение и/или положение частей тела пользователя, не предназначенных для оказания помощи.

3.12 **индекс вспомогательного крутящего момента ATI** (assistive torque index ATI): Мера того, насколько уменьшается выходной крутящий момент пользователя, когда пользователь выполняет определенное движение в течение определенного временного диапазона с помощью робота для поддержки поясницы.

3.13 **уменьшение компрессии поясницыLCR** (lumbar compression reduction LCR): Мера того, насколько уменьшается сила сгибания поясничных дисков пользователя, когда пользователь выполняет определенное движение в течение определенного диапазона времени с помощью робота для поддержки поясницы.

4 Условия испытаний

4.1 Общие положения

Робот для поддержки поясницы должен быть полностью собран, настроен и работоспособен. Все самодиагностические испытания должны быть удовлетворительно завершены. Кроме того, необходимо обеспечить безопасную работу робота на протяжении всего испытания.

Испытаниям должна предшествовать подготовка к эксплуатации в соответствии с указаниями изготовителя.

Все условия, указанные в пункте 4, должны быть выполнены для испытаний, описанных в настоящем стандарте, если в конкретных пунктах не указано иное.

Каждое испытание, описанное в каждом разделе настоящего стандарта, может иметь различные конфигурации испытаний, которые требуют отдельных процедур испытаний. Для каждой испытываемой позиции можно провести несколько испытаний, если это указано в методике испытания.

4.2 Условия окружающей среды

Во время всех испытаний должны поддерживаться следующие условия окружающей среды:

- температура окружающей среды: от 10 °С до 30 °С;
- относительная влажность: от 0 % до 80 %.

Относительная влажность, если условия окружающей среды, указанные изготовителем, выходят за пределы данных условий, должна быть заявлена в результатах испытаний.

4.3 Условия эксплуатации

Все эксплуатационные характеристики должны измеряться в нормальных условиях эксплуатации. Если эксплуатационные характеристики измеряются в других условиях, то они должны быть заявлены вместе с результатами испытаний.

5 Методика испытания индекса вспомогательного крутящего момента и уменьшения компрессии поясничного отдела

5.1 Назначение

В этом разделе описываются методы определения и оценки производительности роботов для поддержки поясницы.

Примечание - Теоретические предпосылки и валидационные эксперименты приведены в [6].

5.2 Соответствующие характеристики

5.2.1 Общие положения

Для этого метода испытаний вводятся два показателя эффективности: индекс вспомогательного крутящего момента (ATI) и уменьшение компрессии поясничного отдела (LCR).

Благодаря вспомогательному крутящему моменту робота сила разгибания тазобедренных суставов и/или туловища пользователя будет уменьшена, а затем может быть уменьшена сжимающая сила на его поясничных дисках. В идеале компрессия поясницы должна быть пропорциональна силе разгибания тазобедренного сустава пользователя и положению туловища. И усилие

выдвижения может быть уменьшено вспомогательным крутящим моментом робота. Поэтому для робота с такими характеристиками нет необходимости измерять компрессию поясницы, поскольку компрессию поясницы можно определить по вспомогательному крутящему моменту и позе.

Для некоторых роботов, для которых компрессия поясницы может быть увеличена из-за механической структуры робота, массы и распределения массы над поясничным суставом и/или метода приведения в действие (например, искусственные мышцы на коже спины пользователя), компрессия поясницы должна измеряться вместе с вспомогательным крутящим моментом.

Примечание – Согласно [1], сила сгибания на поясничных дисках может быть основной причиной травмы спины и, следовательно, часто используется в качестве индекса для оценки риска травмы спины. Исходя из этого, вводится LCR в качестве показателя эффективности робота.

5.2.2. Индекс вспомогательного крутящего момента (ATI)

Индекс вспомогательного крутящего момента (ATI) состоит из 5 характерных значений $\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Сжатие}}$, $\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Сжатие}}$, $\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Удержание}}$, $\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Растяжение}}$ и $\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Растяжение}}$, которые вычисляют по уравнениям в интервале времени t_1 и t_2, указанным в таблице 1. Верхний и нижний индексы ATI указывают на фазу опорного движения и длительность времени в секундах соответственно.

$$\mathrm{ATI}_{t_2-t_1} = \frac{1}{t_2-t_1}\int_{t_1}^{t_2} \psi\left(\tau^{\mathrm{ref}}(t), \tau(t)\right) dt,$$

где

$$\psi(x,y) = \begin{cases} x-y, & \text{если } x \geq 0 \\ -(x-y), & \text{если } x < 0 \end{cases},$$

$\tau^{\mathrm{ref}}(t)$ фактический выходной крутящий момент тазобедренных суставов испытательной машины (см. 5.3.1) во время стандартных движений без робота;

$\tau(t)$ фактический выходной крутящий момент тазобедренных суставов испытательной машины (см. 5.3.1) во время стандартных движений с роботом.

Примечание 1 – Как правило, вспомогательный крутящий момент робота влияет на продолжительность движения и необходимую силу или крутящий момент пользователя. Это является источником нестабильности результатов испытаний. Поэтому в настоящем стандарте принимается среднее значение времени в определенном временном диапазоне во время стандартных перемещений.

Примечание 2 – Поскольку стандартные движения, определенные в 5.3.2,

являются антигравитационными движениями, $\tau^{\text{ref}}(t)$, как ожидается, всегда отрицательно, и соотношение $\psi(x, y) = -(x - y)$ всегда применимо. Однако этот стандарт определяет ψ в более общем виде, чтобы сделать ψ положительным, когда это необходимо, крутящий момент для опорного движения и крутящий момент робота должны находиться в одном и том же направлении.

Примечание 3 – Когда ψ положителен, крутящий момент робота в антигравитационном направлении (подъем) может уменьшить необходимый крутящий момент пользователя для достижения опорных движений. Или, в некоторых случаях, пользователь должен вывести крутящий момент в направлении силы тяжести (сгибание), чтобы противостоять крутящему моменту робота. Когда ψ отрицательно, крутящий момент робота в направлении силы тяжести (сгибание) может увеличить необходимый крутящий момент пользователя для достижения опорных движений.

5.2.3. Уменьшение компрессии поясницы (LCR)

Уменьшение компрессии поясницы (LCR) состоит из 5 характерных значений $\text{LCR}_{1000}^{\text{Сжатие}}$, $\text{LCR}_{200}^{\text{Сжатие}}$, $\text{LCR}_{1000}^{\text{Удержание}}$, $\text{LCR}_{1000}^{\text{Растяжение}}$ и $\text{LCR}_{200}^{\text{Растяжение}}$, которые вычисляют по уравнениям в интервале времени t_1 и t_2, указанным в таблице 1. Верхний и нижний индексы LCR указывают на фазу опорного движения и длительность времени в секундах соответственно.

$$LCR_{t_2-t_1} = \frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2} \psi\left(F^{\text{ref}}(t), F(t)\right)dt$$

где

$$\psi(x, y) = \begin{cases} x - y, & \text{если } x \geq 0 \\ -(x - y), & \text{если } x < 0 \end{cases},$$

$$F^{\text{ref}}(t) = \phi(M_y^{\text{ref}}(t) + F_z^{\text{ref}}(t),$$

$$F(t) = \phi\left(M_y(t)\right) + F_z(t),$$

$$\phi(x) = \begin{cases} x/0.05, & \text{если } x \geq 0 \\ -x/0.1, & \text{если } x < 0 \end{cases},$$

$F_y^{\text{ref}}(t)$ сила сгибания поясницы испытательной машины в направлении оси z во время стандартных движений (без робота);

$F_z(t)$ сила сгибания поясницы испытательной машины в направлении оси z во время стандартных движений (с роботом);

$M_y^{\text{ref}}(t)$ фактический поясничный сгибающий момент испытательной машины вокруг оси y во время стандартных движений (без робота);

$M_y(t)$ фактический поясничный сгибающий момент испытательной машины

вокруг оси y во время стандартных движений (с роботом).

Примечание 1 – Как правило, вспомогательный крутящий момент робота влияет на продолжительность движения и сгибающую силу на поясничных дисках пользователя. Это является источником нестабильности результатов испытаний. Поэтому в настоящем стандарте принимается среднее значение времени в определенном временном диапазоне во время стандартных движений.

Примечание 2 – Человек напрягает свои мышцы, чтобы противостоять изменению позы поясничным сгибающим моментом вокруг оси. Это напряжение мышц известно как источник сгибающей силы на поясничных дисках. С другой стороны, испытательная машина не имеет мышц, и ее механическая структура спины не позволяет менять позу в отличие от позвоночника. Из-за этого, в уравнении для LCR используют корректирующую силу сгибания поясницы $F(t)$ и $F^{\mathrm{ref}}(t)$ предполагая, что $M_y(t)$ и $M_y^{\mathrm{ref}}(t)$ поддерживаются виртуальными мышцами, выпрямляющими позвоночник и виртуальными мышцами прямой мышцы живота. Этот стандарт принимает плечо момента 0,05 м от поясничного диска L5/S1 к виртуальным мышцам спины, выпрямляющим позвоночник, и плечо момента 0,1 м к виртуальным мышцам прямых мышц живота [4][5].

Примечание 3 – Во время стандартного движения ожидается, что масса верхней части тела испытательной машины всегда будет сгибать фиксированный поясничный сустав и $\psi(x, y) = x - y$ всегда применимо. Однако этот стандарт определяет ψ в более общей форме, чтобы быть применимым к растягивающим силам и быть согласованным с уравнением ATI.

Примечание 4 – При положительном значении ψ ожидается, что поясничное напряжение пользователя будет уменьшено во время стандартного движения. Когда ψ отрицательно, ожидается, что поясничное напряжение пользователя будет увеличено во время стандартного движения.

Таблица 1 – Временной диапазон для расчета ATI и LCR

ATI^{b}	LCR^{b}	Стандартные движения	$t_1{}^{a}$, с	$t_1{}^{a}$, с
$\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Сгибание}}$	$\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Сгибание}}$	Опускание	$t_d - 1^{c}$	$t_d{}^{c}$
$\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Сгибание}}$	$\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Сгибание}}$	Опускание	$t_d - 0.2^{c}$	$t_d{}^{c}$

Продолжение таблицы 1

$\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Удержание}}$	$\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Удержание}}$	Удержание	$\frac{t_d}{2} - 0.5$	$\frac{t_d}{2} + 0.5$
$\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Растяжение}}$	$\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Растяжение}}$	Подъем	0	1
$\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Растяжение}}$	$\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Растяжение}}$	Подъем	0	0.2

[a] t_1 b t_2 определяют временной диапазон, когда необходимый крутящий момент пользователя и поясничное напряжение являются наибольшими, предполагая, что время начала каждого стандартного движения равно 0 (см. Приложение А). Поскольку угловые траектории стандартного движения монотонно увеличиваются или уменьшаются, ATI и LCR можно рассматривать как среднее значение в пределах определенного диапазона углов. Однако, поскольку 1) вспомогательный крутящий момент может генерировать различные угловые траектории, 2) трудно определить соответствующие диапазоны углов туловища, тазобедренного сустава и коленного сустава одновременно и 3) количество точек данных для расчета среднего значения может варьироваться, этот стандарт принимает среднее время для определения ATI и LCR.

[b] ATI и LCR с средним значением 1 с ($\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Сгибание}}$, $\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Удержание}}$, $\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Растяжение}}$, $\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Сгибание}}$, $\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Удержание}}$ и $\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Растяжение}}$) также может рассматриваться как показатель того, может ли робот выводить вспомогательный крутящий момент и непрерывно уменьшать поясничное напряжение. С другой стороны, ATI и LCR со средним значением 0,2 с ($\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Сгибание}}$, $\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Растяжение}}$, $\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Сгибание}}$ и $\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Растяжение}}$) могут быть показателем того, насколько робот может уменьшить пик необходимого крутящего момента и сжимающую силу на поясничных дисках в ответ (смотри приложение А). Это связано с тем, что они ориентированы только на короткий временной диапазон. Этот стандарт принимает время реакции 0,2 с для человека, чтобы отразить реакцию на внезапную нагрузку на поясничный отдел спинного мозга [3][9].

[c] t_d фактическая продолжительность стандартного движения.

5.3 Испытательная установка

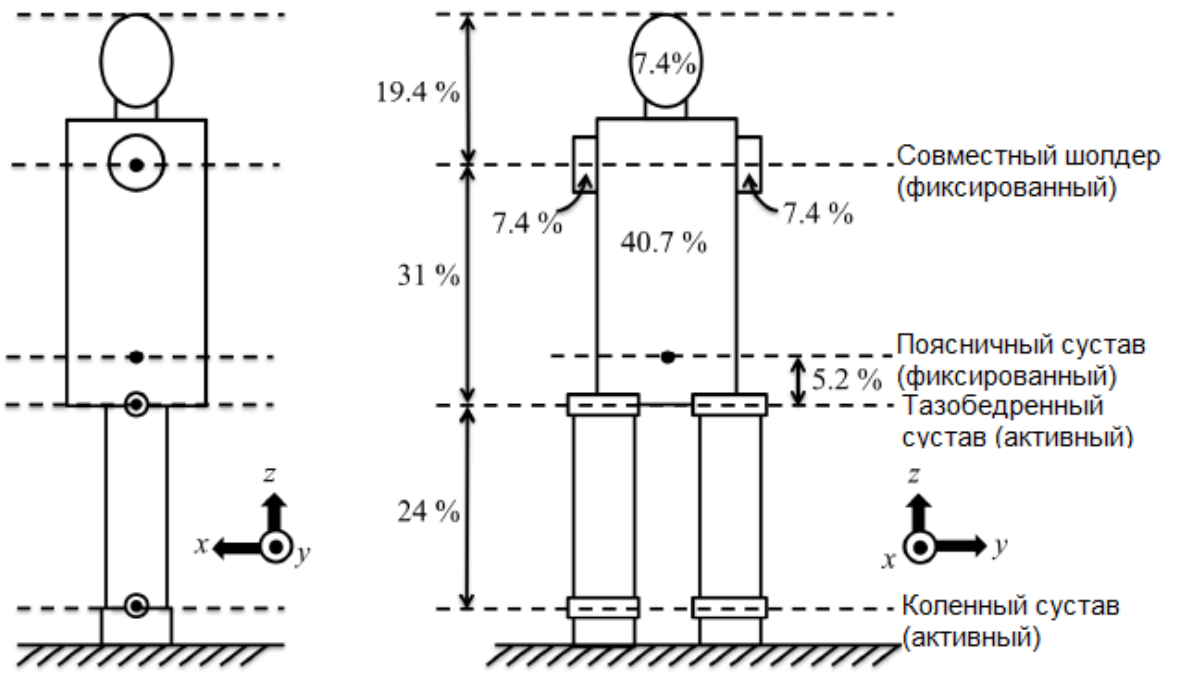
5.3.1 Испытательная машина

Испытательная установка должна включать испытательную машину, к которой может быть прикреплен робот. Соотношения его размеров и распределения его массы должны соответствовать рисунку 1. На этом рисунке высота и масса представительного пользователя, указанные изготовителем, устанавливаются как 100 %. Изготовитель может определить все другие значения, не указанные на рисунке 1.

Сила сгибания к поясничной оси z и изгибающий момент вокруг поясничной оси y измеряются в фиксированном поясничном суставе, как показано на рисунке 1. Фиксированный поясничный сустав нагружается по меньшей мере весом верхних частей испытательной машины.

Тазобедренные и коленные суставы – это только активные суставы. Если вместо испытательной машины с заменяющими грузами в плечевых суставах используется испытательная машина с руками и кистями, то руки испытательной машины должны быть направлены вниз в любом положении, и каждый узел руки и кисти должен иметь 7,4% массы представительного пользователя.

Массу каждого блока испытательной машины можно считать постоянной.



Примечание 1 – Соотношение размеров основано на литературе [2]; оно указывает, что расстояние между тазобедренным суставом и позвоночным диском L5/S1 составляет приблизительно 83/1610 (5,2 %) от высоты тела. Поэтому фиксированный поясничный сустав расположен в верхней части корпуса испытательной машины.

Примечание 2 – Предполагая, что руки и кисти в любой позе направлены вниз, массы сосредоточены в плечевых суставах.

Примечание 3 – Распределение массы приведено на рисунке А.19 стандарта IEC 60601-1:2012.

Рисунок 1 – Соотношение размеров и распределение массы испытательной машины

5.3.2 Опорное движение и заданная траектория

В данном варианте испытательная машина выполняет стандартные движения, имитирующие опускание, удержание и подъем верхней части тела. Эти стандартные движения представлены заданным углом наклона туловища $\theta_{\mathrm{t}}^{\mathrm{target}}$, соотношением распределения между тазобедренным и коленным суставами k и заданной продолжительностью t_{d}.

Заданная траектория угла туловища $\theta_{\mathrm{t}}(t)$ задается следующим образом.

Угол наклона туловища $\theta_t(t) = \sum_{n=0}^{5} a_n t^n, t = [0, t_d]$

при t = 0 в качестве начального времени каждого стандартного движения и $\theta_{\mathrm{t}}(t)$ = 0 в вертикальном положении.

a_n для каждого стандартного движения рассчитываются с начальным углом

$\theta_t(0)$, конечный угол $\dot{\theta}_t(0) = 0, \dot{\theta}_t(t_d) = 0, \ddot{\theta}(0) = 0$ и $\ddot{\theta}(t_d) = 0$. В идеале, $\theta_t(0)$ = 0 и $\theta_t(t_d) = 0$ и $\theta_t(d_t) = \theta_t^{target}$для опускания. Всегда $\theta_t(t) = \theta_t^{target}$ для удержания. $\theta_t(0) = \theta_t^{target}$и θt(td) = 0 для подъема.

Угол тазобедренного сустава $\theta_h(t)$ и угол коленного сустава $\theta_k(t)$ задаются следующим образом:

Угол тазобедренного сустава $\theta_h(t) = k\theta_t(t)$.

Угол коленного сустава $\theta_k(t) = (1 - k)\theta_t(t)$.

Примечание 1 – Эти уравнения используют соотношение, где $\theta_t(t) = \theta_h(t) + \theta_k(t)$.

Примечание 2 – Угол туловища $\theta_t(t)$ определяется как пятый полином времени, потому что фактические траектории каждого угла, когда люди опускают, удерживают и поднимают груз, почти согласуются с пятым полиномом времени.

Примечание 3 – Если θ_t^{target} составляет 50 °, как показано в таблице 2, k может быть 1,5, потому что k фактически получается из измерения движения человека, варьирующегося от 1,3 до 1,7 в зависимости от каждого человека и веса каждого груза. t_d может быть 2 с.

Примечание 4 – Как правило, сохранение небольшого угла в суставе туловища предпочтительно для уменьшения поясничного напряжения во время опускания, удержания и подъема. В этом случае k может быть больше 1,5, а t_d для опускания и подъема может быть менее 2 с. Например, если θ_t^{target} равна 25 °, то k фактически полученного при измерении движения человека составляет примерно 3,0, а t_d для опускания и подъема – 1,5 с.

В таблице 2 приведен пример стандартных перемещений.

Таблица 2 – Пример стандартных перемещений ($\theta_t^{target} = 50\,°, k = 1{,}5$ и $t_d = 2$ с).

Стандартные движения	Углы наклона туловища $\theta_t(t)$[a], °	Продолжительность t_d, с
Опускание	от 0 до 50	2
Удержание	50	2
Подъем	от 50 до 0	2

[a] Как правило, положение туловища под углом 50 ° нежелательно, так как нагрузка на поясничные диски велика. Это может произойти при подъеме груза с уровня земли или при подъеме других людей. Таким образом, положение туловища под углом 50° – это ситуация, когда пользователю может понадобиться вспомогательный крутящий момент робота. Это является причиной для оценки того, сколько помощи получает робот от пользователя и насколько робот снижает сгибающую силу в поясничных дисках.

Контроллер испытательной машины должен контролировать ее траектории во время стандартных перемещений с погрешностями в пределах +/-5 ° с роботом и без него. Фактическая длительность каждого стандартного движения может отличаться от заданной длительности t_d для опускания и подъема.

Для робота с биологическим вводом фактический крутящий момент тазобедренных суставов испытательной машины должен подаваться роботу в качестве входного сигнала.

Для робота с кинематическим вводом не требуется никакого дополнительного соединения между роботом и испытательной установкой.

Для робота с командным вводом управление им осуществляется в соответствии с руководством пользователя во время опорных движений и/или интервала между ними.

Если фильтр нижних частот применяется для получения данных от испытательной машины для расчета ATI и LCR, то его частота среза должна составлять не менее 10 Гц.

5.4 Методика испытаний

Это испытание состоит из одной испытательной конфигурации. Каждое испытание должно проходить в соответствии с процедурой, описанной ниже.

1) Стандартные перемещения, параметры θ_t^{target}, k и t_d и, при необходимости, дополнительная нагрузка указываются изготовителем.

2) Испытательная машина выполняет стандартные движения без робота не менее трех раз в следующем порядке: опускание, удержание и подъем.

3) Закрепите робот к испытательной машине, закрепив его удерживающие части к корпусным частям испытательной машины в соответствии с руководством пользователя.

4) Удерживайте испытательную машину в вертикальном положении.

5) Начните вспомогательную работу робота.

6) Испытательная машина выполняет стандартные движения не менее трех раз в следующем порядке: опускание, удержание, подъем.

7) Остановите вспомогательную работу робота.

8) Отсоедините робота от испытательной машины.

5.5 Результат испытаний

Рассчитанные ATI и LCR должны быть заявлены в протоколе испытаний вместе со следующими параметрами, которые характеризуют испытательную машину и стандартные движения, используемые при испытании.

- Высота и масса представительно пользователя, применяемого для испытательной машины;

- θ_t^{target}, k и t_d применяется для определения стандартных движений;

- Частота отсчетов, применяемая для измерения угла наклона туловища.

Примерная таблица результатов испытаний приведена в Приложении С.

6 Метод испытания скорости оказания помощи

6.1 Назначение

В этом разделе описываются методы определения и оценки эффективности роботов для поддержки поясницы; это испытание измеряет степень поддержки поясницы или помощи робота путем сравнения тазобедренного сустава с тазобедренным суставом манекена робота до и после ношения робота.

6.2 Соответствующие характеристики

Объем поддержки поясницы или помощи робота может быть определен как норма помощи следующим образом.

$$\text{Скорость помощи } [\%] = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \tau_h^{ref}(t)dt - \int_{t_1}^{t_2} \tau_h(t)d_t}{\int_{t_1}^{t_2} \tau_h^{ref}(t)d_t} \times 100, \qquad (1)$$

где

τ_h^{ref} стандартный крутящий момент бедра, измеренный во время заданного движения без ношения робота;

τ_h крутящий момент бедра, измеренный во время заданного движения с использованием робота;

t_1 начальное время заданного движения;

t_2 конечное время указанного движения.

Крутящий момент тазобедренного сустава τ_h можно вычислить следующим образом, используя обобщенную геометрию манекена человека на рисунке 2.

- $l_5 = \sqrt{{l_1}^2 + {l_2}^2 - 2l_1 l_2 \cos(\pi - \theta_h)}$
- $l_3 = \sqrt{{l_5}^2 - {l_4}^2}$
- $\theta_k = \pi - (\cos^{-1}\left(\frac{{l_1}^2 + {l_5}^2 - l_2}{2l_1 l_5}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{{l_4}^2 + {l_5}^2 - l_3}{2l_4 l_5}\right))$
- $\theta_v = \pi - \theta_h - \theta_k$
- $\tau_h = F_x l_2 \sin(\theta_v) + F_y l_2 \cos(\theta_v)$

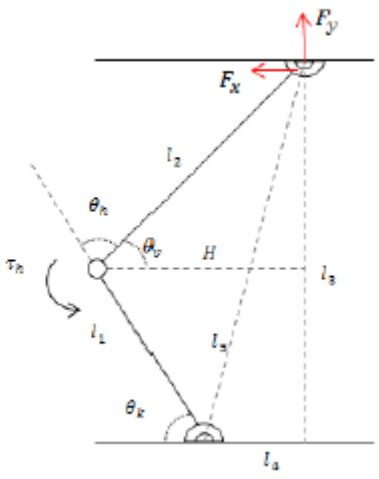
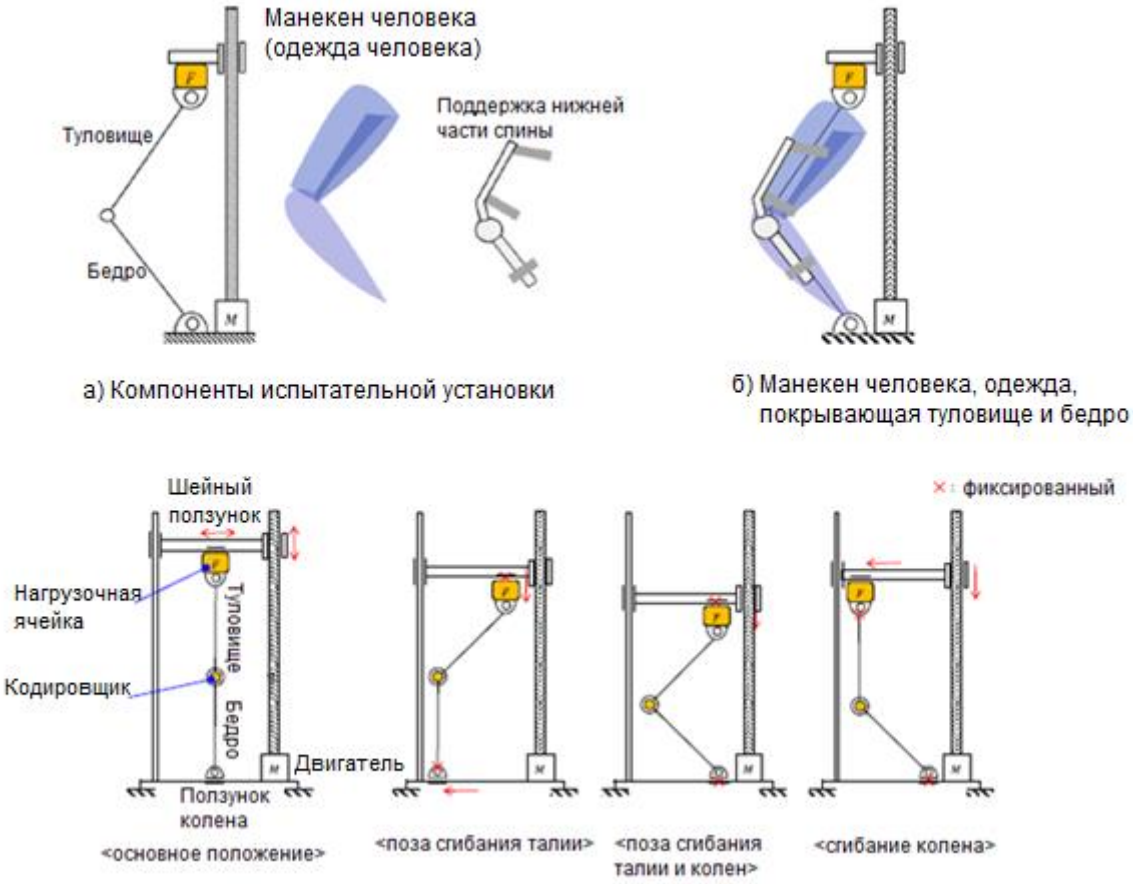


Рисунок 2 – Обобщенная геометрия для расчета крутящего момента

6.3 Испытательная установка

Испытательная установка состоит из манекена человека, к которому может быть прикреплен робот для поддержки поясницы, как показано на рисунке 3 а) и б). Манекен человека состоит из туловища и бедра, а также одежды человека, покрывающей туловище и бедро для удобства ношения робота. Распределение массы туловища устанавливается равным 55,5% от общей массы представительного пользователя, которая определяется изготовителем в соответствии с рисунком 1.

Положение шеи и коленного сустава манекена человека можно изменить вручную вдоль ползунка, чтобы он мог выполнять несколько поз, таких как сгибание талии и колена (полуприсед), сгибание талии (поза сутулости), сгибание колена (приседание), как показано на рисунке 3 (в). После определения предполагаемой испытательной позы положение шеи и/или коленного сустава может быть зафиксировано на ползунке для поддержания предполагаемой позы.



(в) Четыре варианта испытательных поз

Рисунок 3 – Принципиальная схема испытательной установки

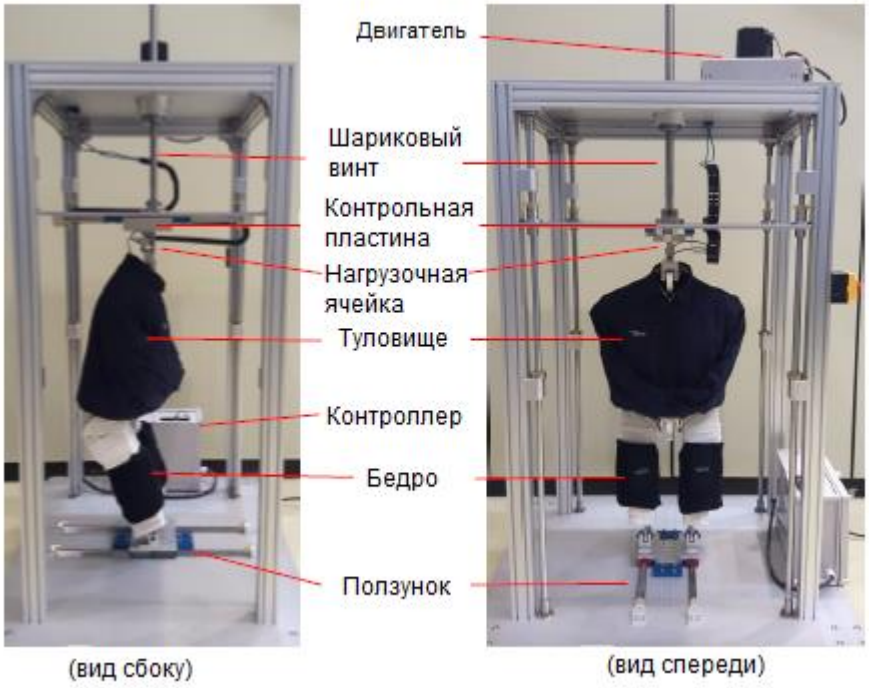
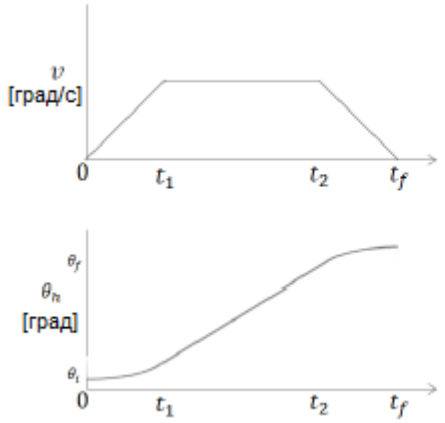


Рисунок 4 – Образец испытательной установки

Регулирующая пластина или ползунок головки, с которым головка манекена соединена через силовую ячейку, может перемещаться вверх и вниз по шариковому винту, управляя двигателем таким образом, чтобы он мог осуществлять движения, показанные на рисунке 3. Траектория скорости регулирующей пластины для реализации конкретного испытательного положения (движения) может быть определен изготовителем. На рисунке 5 показана траектория скорости образца, используемый для опускания туловища в полуприседе, а на рисунке 6 – траектория скорости образца с $\theta_I = 25°, \theta_f = 95°$ и $t_f = 3$ с.



$$v\ [\text{град/с}] = \begin{cases} \dfrac{2(\theta_f - \theta_i)}{t_f} t & ,(0 \le t < t_1) \\ (\theta_f - \theta_i)/2 & ,(t_1 \le t < t_2) \\ -\dfrac{2(\theta_f - \theta_i)}{t_f} t & ,(t_2 \le t \le t_f) \end{cases}$$

Рисунок 5 – Скорость образца, используемого для опускания туловища в полуприседе

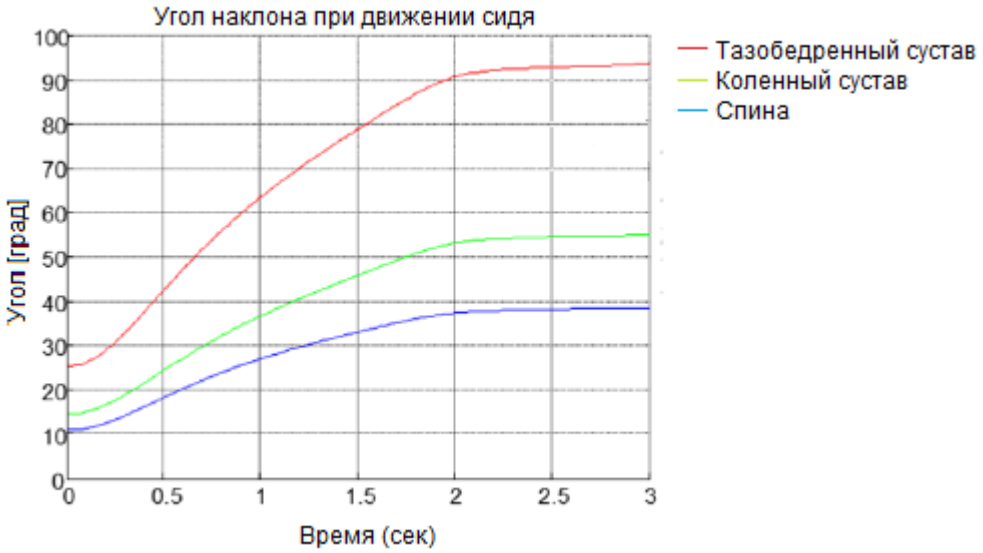


Рисунок 6 – Скорость образца с $\theta_I = 25°, \theta_f = 95°$ и $t_f = 3$ с

Силовая ячейка, установленная между шейным суставом и ползуном шейного сустава, измеряет силу в направлении x и y, когда манекен человека опускает или поднимает туловище. На тазобедренном суставе установлен вращательный кодировщик для измерения угла поворота тазобедренного сустава.

6.4 Методика испытаний

1) Выберите нужное испытательное движение из следующих четырех:

А. Стоящий.

Б. Сгибание талии и колен (полуприсед).

В. Сгибание талии (поза сутулости).

Г. Сгибание колена (приседание).

2) Зафиксируйте положение шеи и/или коленного сустава вдоль ползунка, как показано на рисунке 7, рисунке 8 и рисунке 9, в зависимости от вида испытательного движения.

Примечание - отметка x на этих рисунках представляет собой фиксированное (неподвижное) соединение; а – представляет собой свободное скользящее соединение.

Затем установите начальный угол сгиба бедра и колена, контролируя вертикальное положение контрольной пластины в соответствии с выбранным стандартным движением.

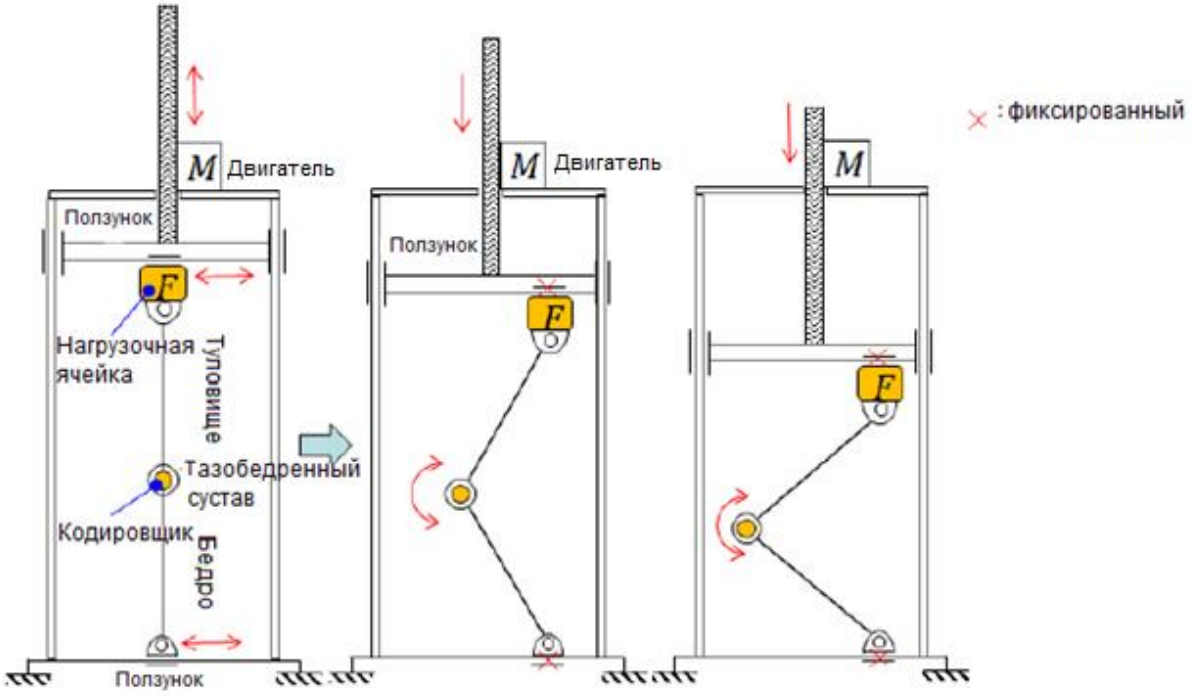


Рисунок 7 – Сгибание талии и колена (полуприсед)

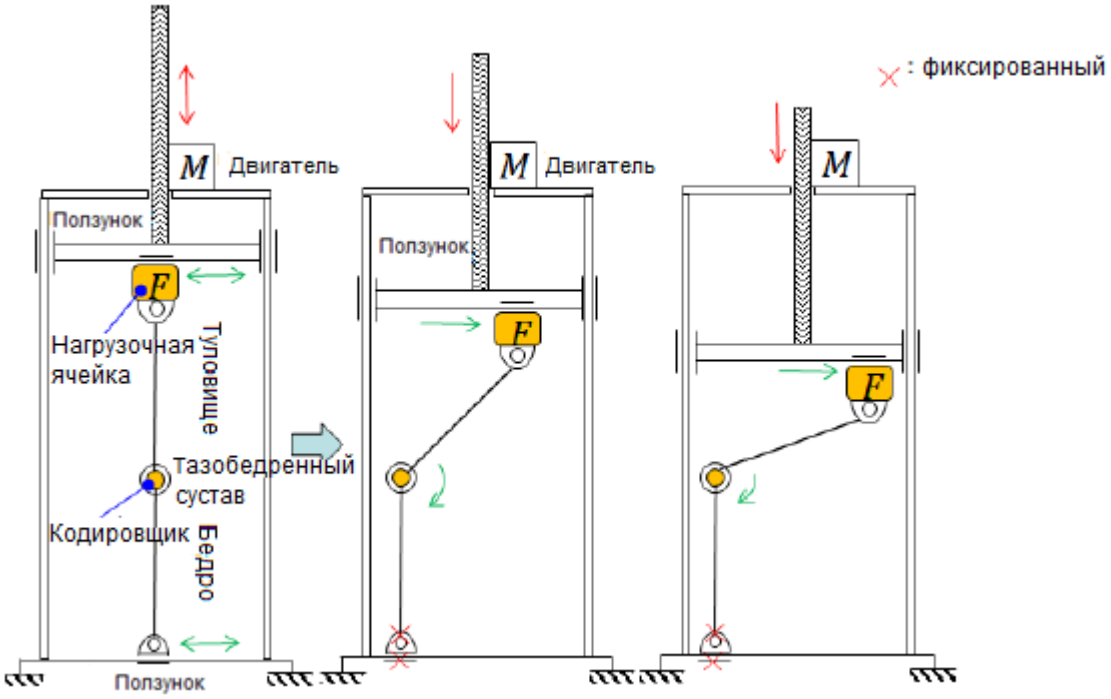


Рисунок 8 – Сгибание талии (поза сутулости)

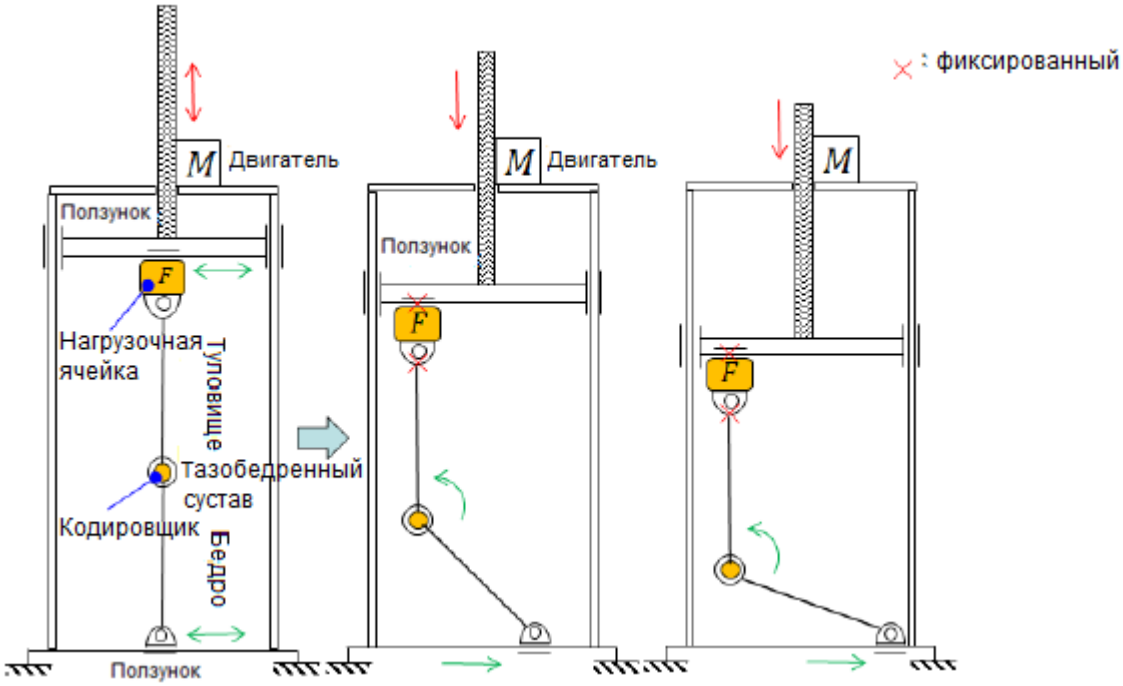


Рисунок 9 – Сгибание колена (поза приседания)

3) Рассчитайте траекторию скорости контрольной пластины в зависимости от вида испытательного движения.

4) Управляйте манекеном человека поднимая вверх или наклоняя вниз в соответствии со стандартной траекторией движения, изменяя движение в

соответствии со следующими протоколами:

А. Сгибание талии и колен (полуприсед)

i. Встаньте прямо (начальная поза)

ii. Сядьте, согнув колено и тазобедренный сустав в течение 2 с

iii. Сохраняйте позу сидя в течение 2 с

iv. Встаньте, разгибая коленный и тазобедренный сустав в течение 2 с

v. Встаньте прямо (финальная поза)

Б. Сгибание талии (поза сутулости)

i. Встаньте прямо (начальная поза)

ii. Опустите туловище, сгибая тазобедренный сустав в течение 2 с

iii. Сохраняйте позу опущенного туловища в течение 2 с

iv. Встаньте, разгибая тазобедренный сустав в течение 2 с

v. Встаньте прямо (финальная поза)

В. Сгибание колена (поза приседания)

i. Встаньте прямо (начальная поза)

ii. Сядьте, согнув коленный сустав в течение 2 с

iii. Сохраняйте позу сидя в течение 2 с

iv. Встаньте, разгибая коленный сустав в течение 2 с

v. Встаньте прямо (финальная поза)

5) Вычислите крутящий момент в тазобедренном суставе во время стандартного движения, используя уравнения на рисунке 2, и запишите его как крутящий момент бедра τ_h^{ref}.

6) Закрепите робота на манекене человека и повторите шаг 4). Запишите вычисленный крутящий момент бедра как τ_h.

7) Снимите робот с манекена человека.

8) Вычислите скорость оказания помощи с помощью формулы (1).

9) Повторите 4)~8) три раза.

10) Вычислите среднее значение оказания помощи.

6.5 Результат испытаний

Средняя скорость оказания помощи указывается в протоколе испытания вместе с перечисленными выше параметрами, характеризующими манекен человека, и стандартным движением, используемым при испытании.

Приложение А

(справочное)

Временной диапазон ATI и LCR

В пункте 5.2 настоящего стандарта для расчета ATI и LCR используются временные диапазоны, указанные в таблице 1. Это приложение дает лучшее понимание ATI и LCR на примере данных во время стандартных движений и временных диапазонов ATI и LCR.

На рисунке А. 1, рисунке А. 2 и рисунке А. 3 приведены примеры данных, полученных при выполнении испытательной машиной стандартных движений: опускания, удержания и подъема верхней части тела соответственно, а также Ψ, которые будут использоваться для расчета ATI и LCR.

Как показано на рисунке А. 1, рисунке А. 2 и на рисунке А. 3, ATI и LCR с средним значением времени - 1 с ($\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Сгибание}}$, $\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Удержание}}$, $\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Растяжение}}$, $\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Сгибание}}$, $\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Удержание}}$и $\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Растяжение}}$) также можно рассматривать как показатель того, может ли робот выдавать вспомогательный крутящий момент и непрерывно снижать нагрузку на поясницу. С другой стороны, ATI и LCR со средним значением 0,2 с ($\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Сгибание}}$, $\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Растяжение}}$, $\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Сгибание}}$и $\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Растяжение}}$) могут быть показателем того, насколько робот может уменьшить пик необходимого крутящего момента и сжимающую силу на поясничных дисках в ответ. $\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Сгибание}}$и $\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Сгибание}}$ для опускающего движения также можно рассматривать как показатель того, может ли робот выдавать вспомогательный крутящий момент и уменьшать поясничное напряжение до завершения движения. $\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Растяжение}}$ и $\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Растяжение}}$ для движения подъема также можно рассматривать как показатель того, может ли робот выдавать вспомогательный крутящий момент и уменьшать поясничное напряжение в начале движения.

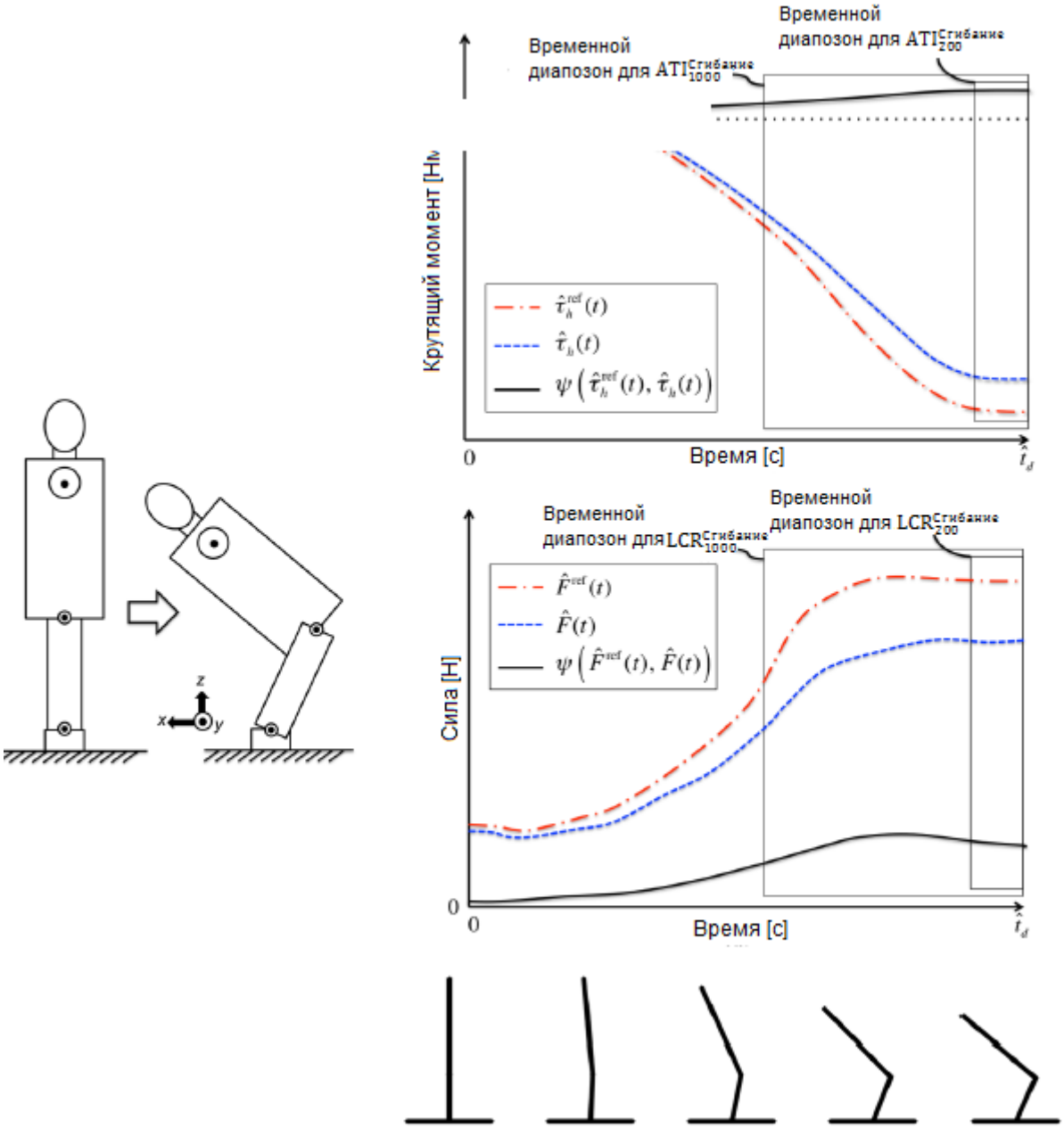


Рисунок А. 1 – Пример данных во время движения вниз и временного диапазона ATI и LCR

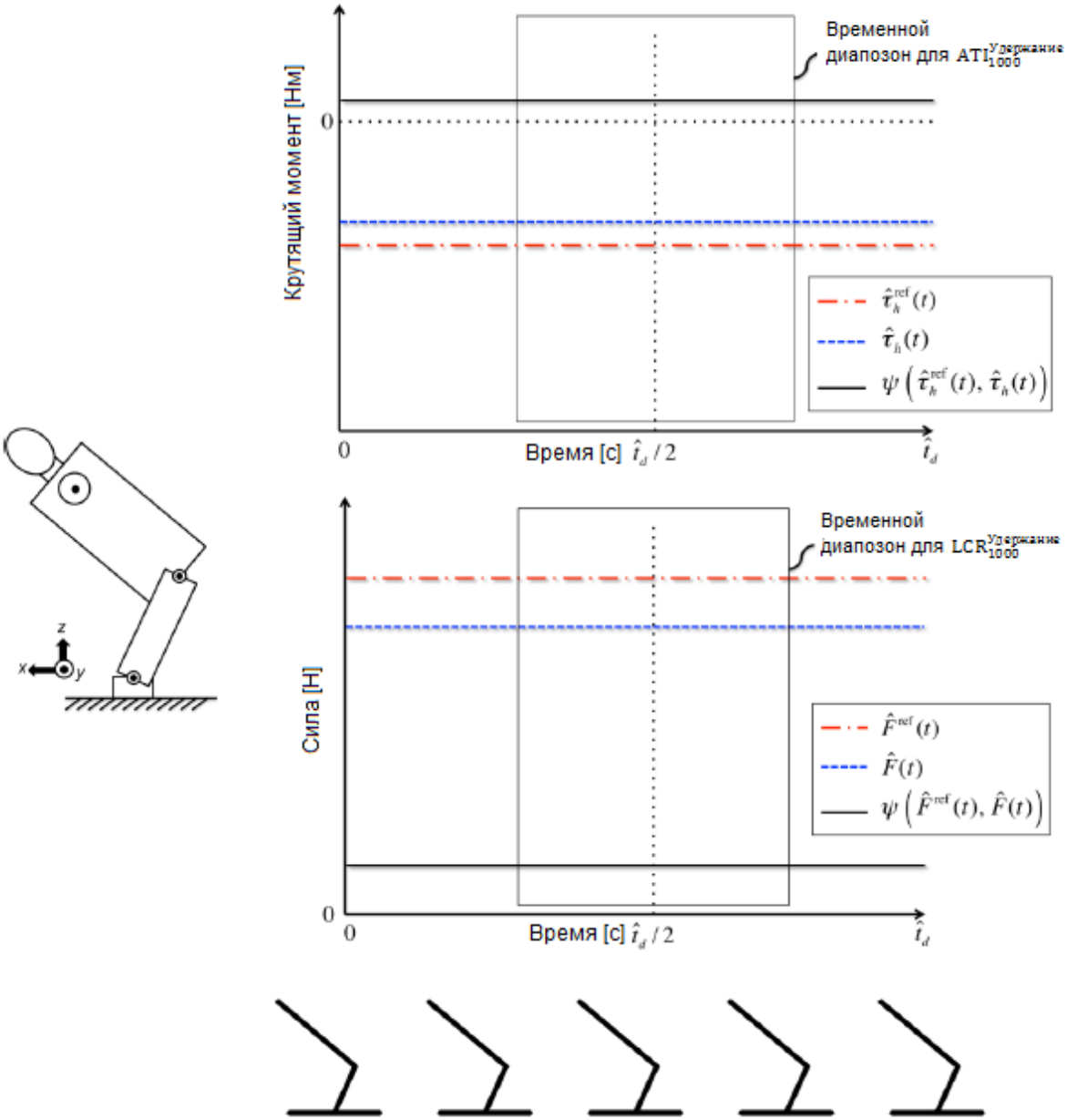


Рисунок А. 2 – Пример данных во время удержания движения и временного диапазона ATI и LCR

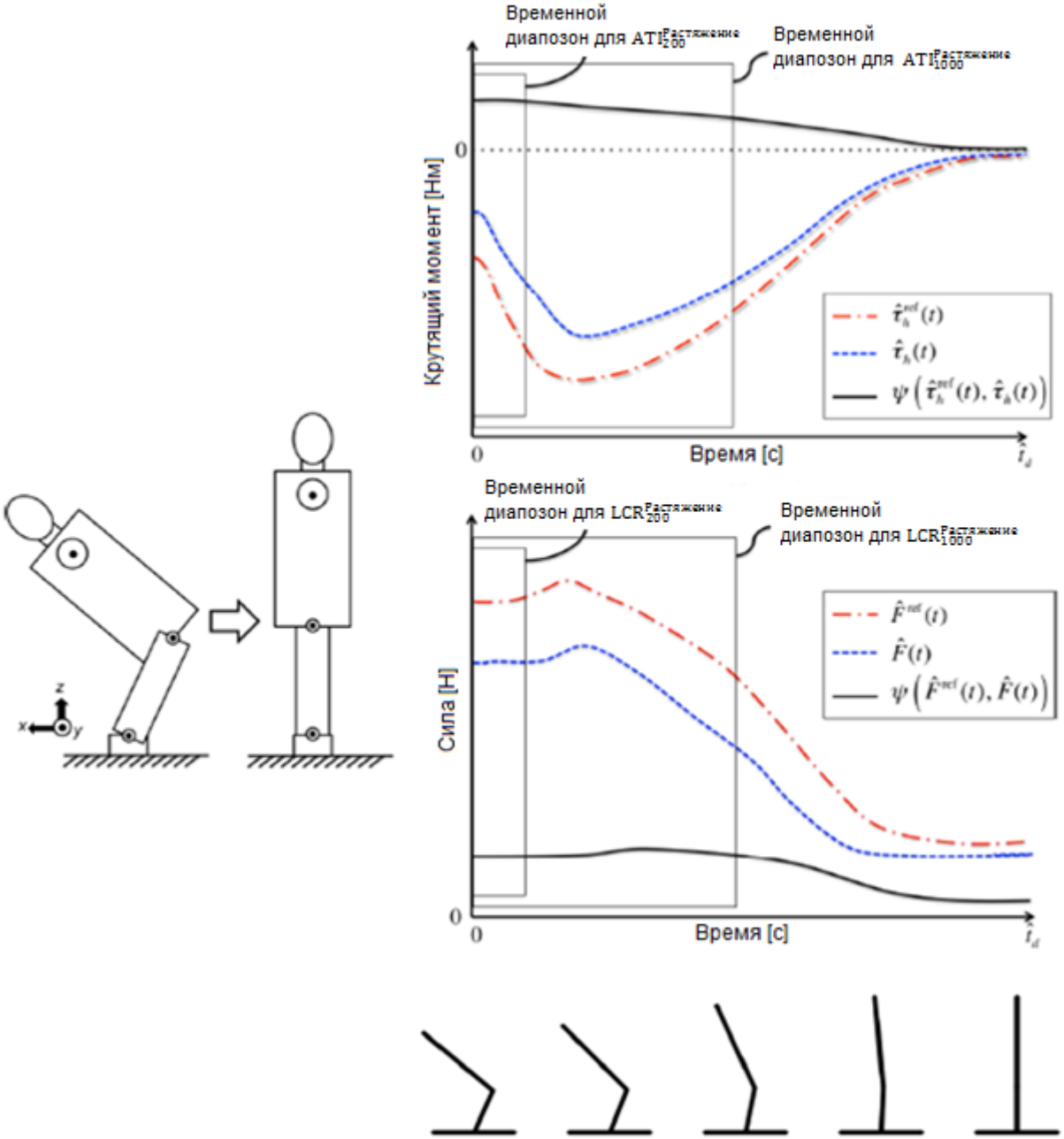


Рисунок А. 3 – Пример данных во время движения подъема и временного диапазона ATI и LCR

Приложение В

(справочное)

Пример роботов для поддержки поясницы

Это приложение иллюстрирует пример роботов для поддержки поясницы в рамках настоящего стандарта, чтобы помочь читателям понять его содержание.

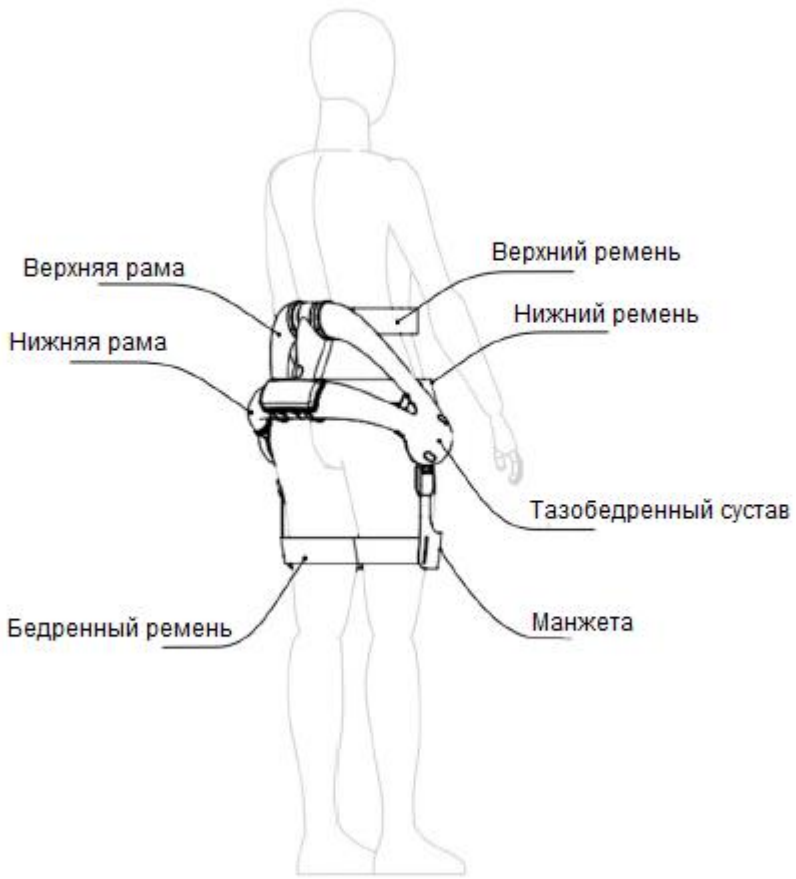


Рисунок В. 1 – Пример робота для поддержки поясницы

Приложение С

(справочное)

Примерная таблица результатов испытаний

В таблице С. 1 приводится примерная таблица результатов испытаний, указанных в пункте 5. Он также может быть использован в руководстве пользователя.

Таблица С. 1 – Примерная таблица результатов испытаний стандартных перемещений.

ATI	$\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Сгибание}}$	Нм
	$\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Сгибание}}$	Нм
	$\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Удержание}}$	Нм
	$\mathrm{ATI}_{1000}^{\text{Растяжение}}$	Нм
	$\mathrm{ATI}_{200}^{\text{Растяжение}}$	Нм
	Результаты испытания, указанного в пункте 5 стандарта ИСО 18646-4, путем моделирования пользователя ростом 170 см и массой 75 кг в условиях, указанных в таблице 2 стандарта ИСО 18646-4, с выборкой данных 1 кГц.	
LCR	$\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Сгибание}}$	кН
	$\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Сгибание}}$	кН
	$\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Удержание}}$	кН
	$\mathrm{LCR}_{1000}^{\text{Растяжение}}$	кН
	$\mathrm{LCR}_{200}^{\text{Растяжение}}$	кН
	Результаты испытания, указанного в пункте 5 стандарта ИСО 18646-4, путем моделирования пользователя ростом 170 см и массой 75 кг в условиях, указанных в таблице 2 стандарта ИСО 18646-4, с выборкой данных 1 кГц.	

Приложение D

(справочное)

Пример реализации испытательной машины

Настоящее приложение иллюстрирует пример реализации испытательной машины по п. 5.3.

Рисунок D. 1 – Пример реализации испытательной машины

На рисунке D. 1 показана испытательная машина. Она состоит из стальных штырей, стальных весов для регулировки распределения массы и 3D-печатных чехлов для крепления робота для поддержки поясницы. Два привода мощностью 1,5 кВт, которые имеют максимальный пусковой крутящий момент и максимальный непрерывный крутящий момент 398 Нм и 133 Нм соответственно, расположены под опорной плитой. Приводная мощность одного привода передается на правый коленный сустав зубчатым ремнем; другой соединен с левым тазобедренным суставом через дополнительный зубчатый ремень в левом коленном суставе.

Формы корпусов получают путем 3D печати. Корпус разделен на две части для измерения значения силы и крутящего момента в поясничном суставе, модуль датчика силы (контроллер) и крутящего момента крепится на поясничный сустав. Модуль состоит из четырех 1-осевых датчиков силы. Определяется при

движении привода. Датчики угла поворота встроены в шарниры.

Для контроля траектории перемещения используется стандартный алгоритм измерения. Верхнее значение параметра P соответствует 5000 Нм/рад (угловой момент). Нижнее значение параметра D соответствует 500 Нм/рад (угловой момент). Эти значения предварительно настраиваются вручную. Они удовлетворяют требованиям к производительности контроллера (см. 5.3.2).

Приложение ДА

(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным и межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта (документа)	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального или межгосударственного стандарта
ISO 8373:2012	IDT	ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения
ISO 13482:2014	IDT	ГОСТ Р 60.2.2.1-2016/ИСО 13482:2014 Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов по персональному уходу
Примечание – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - IDT – идентичные стандарты.		

Библиография

[1] T.R. Waters, V. Putz-Anderson, A. Garg and L.J. Fine: “Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks,” Ergonomics, vol.36, no.7, pp.749–776, 1993

[2] Y. Nakamura, K. Yamane, G. Suwa, O. Kondo, M. Kouchi,. K. Kawachi, and M. Mochimaru, “2008: Skeletal shape data of an adult male (AIST H20PRO-905),” 2008

[3] Wilder, D., et al. “Response To Sudden Load By Patients With Back Pain,” In Proceedings Of The First American Conference On Human Vibration, 2006

[4] Chaffin, D. B.: “A computerized biomechanical model - Development of and use in studying gross body actions,” Journal of Biomechanics, Vol.2, No.4, pp.429-441, 1969

[5] Jorgensen, M. J., et al.: “Sagittal plane moment arms of the female lumbar region rectus abdominis in an upright neutral torso posture,” Clinical Biomechanics, Vol.20, No.3, pp.242-246, 2005

[6] Nabeshima, C., et al.: “Standard Performance Test of Wearable Robots for Lumbar Support,” IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.3, Issue.3, pp.2182-2189, DOI: 10.1109/LRA.2018.2810860, 2018

[7] ISO 8373:2012, Robots and robotic devices — Vocabulary

[8] ISO 13482:2014, Robots and robotic devices — Safety requirements for personal care robots

[9] Y. Asano, K. Matsumoto and H. Jinbo, "Response to assist torque failure of physical-assistant robots," 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), Jeju, 2017, pp. 873-877

[10] Y. Nakamura et al., “Skeletal shape data of an adult male,” AIST H20PRO-905, 2008

УДК 621.865.8:007.52:006.354 ОКС 25.040.30

Ключевые слова: роботы, робототехнические устройства, критерии эффективности, методы испытаний, сервисные роботы, роботы для поддержки спины