ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 60.6.3.8— 2023

Роботы и робототехнические устройства

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СЕРВИСНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Проходимость. Преодоление симметричных ступенчатых неровностей

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК) на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 141 «Робототехника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2023 г. № 779-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Е2828/Е2828М—20 «Стандартный метод испытаний для оценки проходимости роботов для работы в экстремальных условиях при движении по поверхности с симметричными ступенчатыми неровностями» (ASTM E2828/E2828M—20 «Standard Test Method for Evaluating Response Robot Mobility Using Symmetric Stepfields Terrains», MOD) путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного стандарта 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.

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВЗАМЕН ГОСТ Р 60.6.3.8—2019

*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 информационном 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 (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

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

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Краткое описание метода испытаний 3
5 Значение и использование метода испытаний 5
6 Требования к оборудованию испытательного стенда 6
7 Требования безопасности 13
8 Порядок проведения испытаний 13
9 Расчет и интерпретация результатов 15
10 Требования к отчетности 16
11 Погрешность метода испытаний 17
Приложение А (рекомендуемое) Форма протокола испытаний 18
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте 19

Введение

Требования стандартов комплекса ГОСТ Р 60 распространяются на роботы и робототехнические устройства. Целью стандартов 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 сервисные мобильные роботы, предназначенные для работы в экстремальных условиях. Настоящий стандарт определяет метод испытаний для оценки проходимости роботов при движении по сложной поверхности с симметричными ступенчатыми неровностями. Данный метод испытаний по преодолению симметричных ступенчатых неровностей в ограниченном пространстве является частью комплекса испытаний роботов по проходимости.

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Е2828/Е2828М—20, разработанному техническим комитетом Е54 ASTM International «Прикладные системы для национальной безопасности» в соответствии с принципами стандартизации, установленными в Решении о принципах разработки международных стандартов, руководств и рекомендаций Комитета по техническим барьерам в торговле Всемирной торговой организации, для его приведения в соответствие с требованиями основополагающих национальных и межгосударственных стандартов.

В настоящий стандарт внесены следующие технические отклонения по отношению к стандарту АСТМ Е2828/Е2828М—20:

- исключены примечания и сноски примененного стандарта, которые нецелесообразно применять в российской национальной стандартизации в связи с их содержанием, имеющим справочный характер и относящимся к системе стандартизации США;
- значения физических величин указаны только в Международной системе единиц (СИ), применяемой в российской национальной стандартизации в соответствии с требованиями ГОСТ 8.417—2002, тогда как в примененном стандарте значения измерений указаны как в системе единиц СИ, так и в американских единицах (дюйм-фунт); соответственно пункт 1.5 примененного стандарта об использовании двух систем единиц измерения не включен в настоящий стандарт;
- раздел 1 «Область применения» приведен в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5—2001;
- в раздел 2 «Нормативные ссылки» настоящего стандарта не включены ссылки на документы системы стандартизации США, которые нецелесообразно применять в российской национальной стандартизации;
- в соответствии с ГОСТ Р 1.7—2014, ГОСТ 1.3—2014, ГОСТ Р 1.5—2012 и ГОСТ 1.5—2001 включен раздел 3 «Термины и определения» вместо использованного в примененном стандарте раздела 3 «Терминология»; термины из 3.1 и 3.2, использованные в настоящем стандарте, приведены в разделе 3;
- терминологические статьи расположены в алфавитном порядке русского языка и оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5—2001;
- форма протокола испытаний выполнена в виде приложения А в отличии от рисунка 10 примененного стандарта;
- ключевые слова приведены в библиографических данных в соответствии с ГОСТ 1.5—2001 вместо раздела 12 «Ключевые слова» в примененном стандарте;
- изменены отдельные фразы (слова, значения показателей, ссылок).

Все дополнения и изменения в тексте стандарта выделены курсивом.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Роботы и робототехнические устройства

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СЕРВИСНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Проходимость. Преодоление симметричных ступенчатых неровностей

Robots and robotic devices. Test methods for service mobile emergency response robots. Mobility. Passing symmetric stepfields

Дата введения — 2024—01—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на дистанционно управляемые наземные роботы, работающие в сложных, неструктурированных и часто опасных условиях, устанавливает метод испытаний и определяет испытательное оборудование, порядок проведения испытаний и показатели для количественной оценки возможностей робота по преодолению симметричных ступенчатых неровностей. Данный метод испытаний является одним из ряда испытаний, характеризующих такое эксплуатационное качество мобильных роботов, как проходимость.

1.2 Робототехнический комплекс для работы в экстремальных условиях предусматривает присутствие удаленно расположенного оператора, управляющего выполнением большинства функций, поэтому в состав комплекса следует включить бортовую камеру на роботе и дисплей у оператора. Данный метод испытаний может быть использован для оценки дистанционно управляемых или автономных действий роботов, обеспечивающих повышение эффективности или производительности мобильных роботов с дистанционным управлением.

1.3 Разные категории пользователей могут устанавливать свои собственные количественные значения параметров, определенных в настоящем стандарте, в зависимости от конкретных условий, в которых будет эксплуатироваться робот.

1.4 Испытания согласно данному методу допускается проводить в любом месте, где можно воспроизвести необходимые условия внешней среды и установить испытательное оборудование.

1.5 Требования настоящего стандарта не распространяются на весь спектр проблем безопасности, связанных с его применением, при их наличии. Пользователи настоящего стандарта отвечают за разработку необходимых мер безопасности и охраны здоровья, а также за определение применимости законодательных ограничений до использования настоящего стандарта.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ Р 60.6.3.1—2019 Роботы и робототехнические устройства. Методы испытаний сервисных мобильных роботов для работы в экстремальных условиях. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам

Издание официальное

ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ Р 60.6.3.1*, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

автономный режим работы: *Режим работы, при котором мобильный робот получает задание от оператора или внешней системы управления, с которой взаимодействует, и выполняет его без дальнейшего взаимодействия с оператором или внешней системой.*

[ГОСТ Р 60.6.0.1—2021, статья 2]

3.2

(испытательная) попытка [(test) repetition)]: *Цикл от начала до завершения выполнения роботом задания, установленного в методе испытаний.*

[ГОСТ Р 60.6.3.1—2019, статья 2.8]

3.3

оператор (operator): *Лицо, уполномоченное запускать, контролировать и останавливать выполнение заданной операции.*

[ГОСТ Р 60.0.0.4—2023, статья 3.11]

3.4

операторский пульт управления; ОПУ (operator control unit; OCU): *Устройство, используемое оператором для телеуправления роботом.*

[ГОСТ Р 60.6.3.10—2019, пункт *3.7]*

3.5

протокол испытаний (test form): *Документ, содержащий необходимые сведения об объекте испытаний, применяемых методах, средствах и условиях испытаний, результаты испытаний, а также заключение по результатам испытаний, оформленный в установленном порядке.*

[ГОСТ 16504—81, статья 24]

3.6

робот (robot): *Программируемый исполнительный механизм, обладающий определенным уровнем автономности и предназначенный для выполнения перемещения, манипулирования или позиционирования.*

Примечания

1 В состав робота входит система управления.

2 Примерами конструктивных разновидностей роботов являются манипулятор, мобильная платформа и носимый робот.

[ГОСТ Р 60.0.0.4—2023, статья 3.1]

3.7

робот для работы в экстремальных условиях (*робот для аварийных работ*) [emergency response robot (*response robot*)]: *Робот, предназначенный для выполнения оперативных задач в различных рабочих режимах с целью оказания помощи оператору при выполнении работ в экстремальных условиях и опасных средах.*

Примечание — К некоторым основным характеристикам таких роботов относятся: дистанционное управление с безопасного удаленного расстояния, эксплуатация на рабочих скоростях, способность работать в сложных условиях, достаточная защищенность от опасной среды, надежность и возможность обслуживания в полевых условиях, долговечность и экономическая эффективность, а также оснащенность средствами обеспечения безопасности.

[ГОСТ Р 60.6.3.1—2019, статья 2.33]

3.8

руководитель (испытаний) [(test) administrator]: *Лицо, осуществляющее непосредственное руководство проведением испытаний.*

[ГОСТ Р 60.6.3.1—2019, статья 2.34]

3.9

(тестовое) задание [(testing) task]: *Последовательность действий, вполне определенных и конкретизированных в соответствии с заданным показателем или набором показателей по отношению к испытуемым роботам и операторам и предназначенных для оценки возможностей робота.*

[ГОСТ Р 60.6.3.1—2019, статья 2.38]

4 Краткое описание метода испытаний

4.1 Испытания согласно данному методу проводит удаленно расположенный оператор, который должен быть изолирован от прямого визуального и звукового контакта с испытательным стендом и роботом. Необходимо, чтобы робот перемещался по испытательному стенду, следуя по одному из двух установленных маршрутов на поверхности с симметричными ступенчатыми неровностями, при этом робот может наклоняться вперед, назад и вбок при изменяющейся силе сцепления с поверхностью. Движение может осуществляться на открытом или в ограниченном пространстве.

4.2 Маршрут движения в форме восьмерки, который робот проходит прямым ходом, предусматривает перемещение по поверхности с симметричными ступенчатыми неровностями, делая правые и левые повороты для обхода препятствий. Данный маршрут позволяет испытывать робот при перемещении на большие расстояния на сравнительно небольшом испытательном стенде. Маршрут движения восьмеркой показан белыми линиями со стрелками на рисунках 1 и 2.

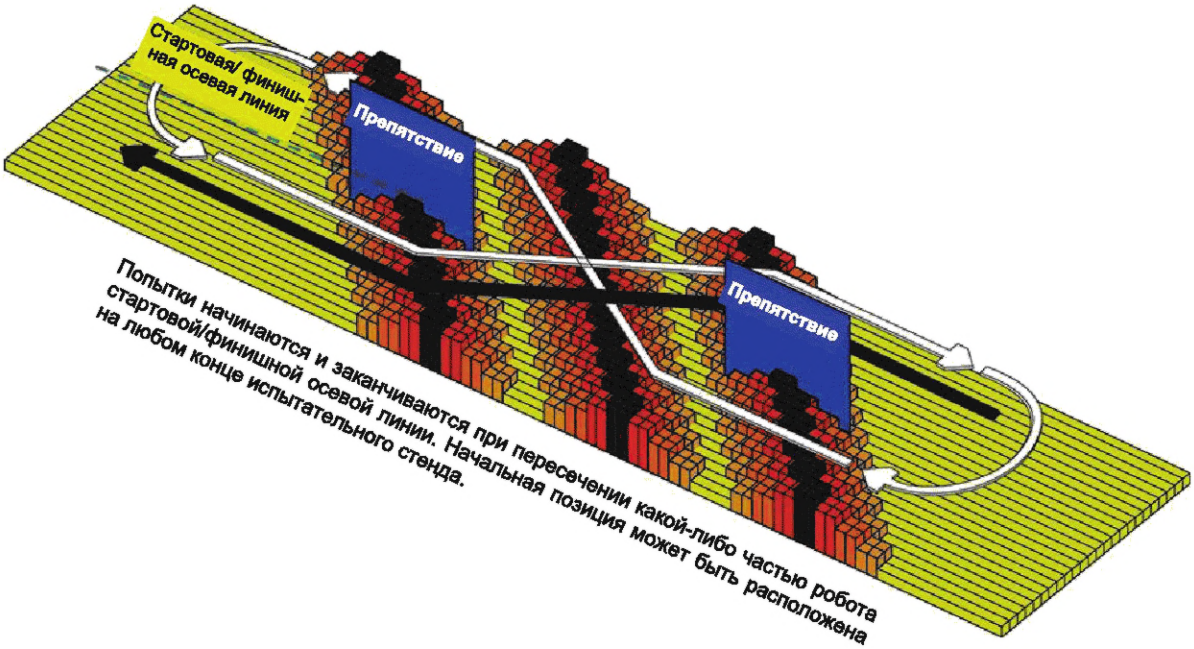


Рисунок 1 — Общий вид испытательного стенда с поверхностью в виде симметричных ступенчатых неровностей

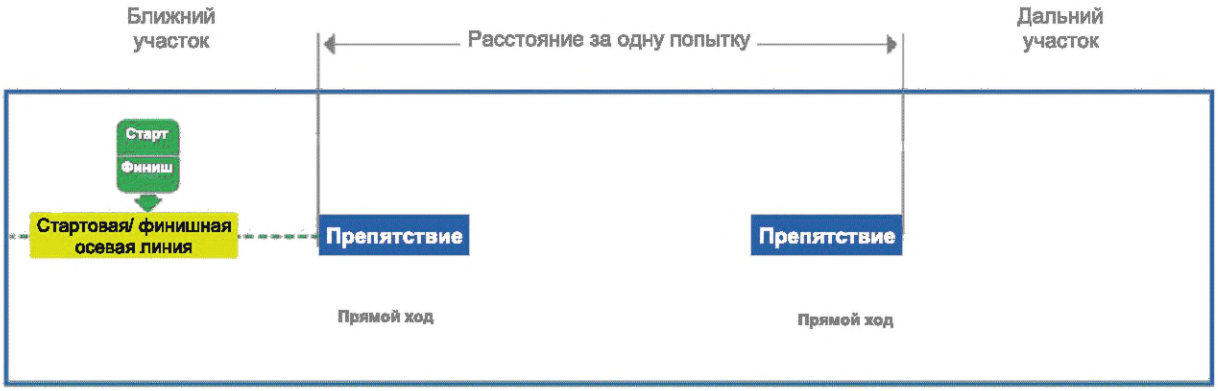


Рисунок 2 — Вид сверху на маршрут движения восьмеркой (прямым ходом), определяемый препятствиями

4.3 Зигзагообразный маршрут, который робот проходит прямым и задним ходом, предусматривает перемещение робота по поверхности с симметричными ступенчатыми неровностями с выполнением правых и левых поворотов для обхода препятствий. Данный маршрут позволяет испытывать робот при движении в ограниченном пространстве. Движение по маршруту, обозначенному белой линией, робот выполняет прямым ходом, а по маршруту, обозначенному черной линией — задним ходом (см. рисунки 1 и 3).

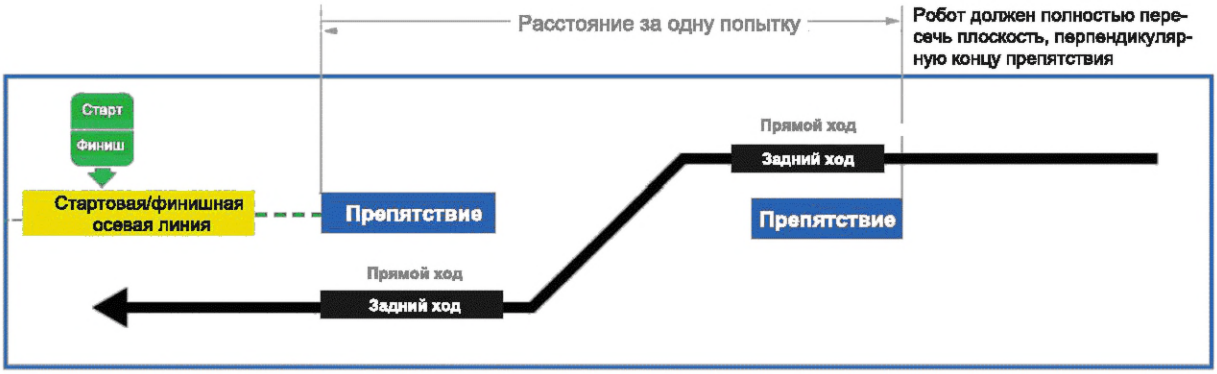


Рисунок 3 — Вид сверху на зигзагообразный маршрут (прямым и задним ходом), определяемый препятствиями

4.4 Робот начинает движение с одного или другого конца испытательного стенда, представляющего собой искусственную поверхность с симметричными ступенчатыми неровностями выбранного масштаба. Робот перемещается либо по маршруту движения восьмеркой (прямым ходом), либо по зигзагообразному маршруту (прямым и задним ходом), обходя два препятствия. Попытка прохода по маршруту движения восьмеркой (прямым ходом) считается выполненной, когда робот пересекает стартовую/финишную осевую линию испытательного стенда без ошибок, пройдя приблизительно по маршруту, обозначенному белой линией. Попытка прохода по зигзагообразному маршруту (прямым/задним ходом) считается выполненной, когда робот пересекает стартовую/финишную осевую линию испытательного стенда без ошибок, пройдя приблизительно по маршрутам, обозначенным белой и черной линиями.

4.5 В процессе проведения испытаний фиксируют следующие виды ошибок, в результате которых попытку признают неудачной:

4.5.1 Любой контакт робота с испытательным стендом, после которого требуется наладка или ремонт для возврата испытательного стенда в исходное состояние.

4.5.2 Любое визуальное, звуковое или физическое взаимодействие, которое помогает роботу или удаленно расположенному оператору.

4.5.3 Выезд робота за пределы испытательного стенда во время выполнения попытки.

4.6 Для того чтобы продемонстрировать возможности робота или убедиться в квалификации оператора дистанционного управления, в ходе испытаний необходимо выполнить достаточное число успешных попыток. Продолжительность испытаний, состоящих из 10—30 попыток составляет от 10 до 30 минут. При оценке показателей робота важно, чтобы было выделено достаточно времени для проведения полного объема испытаний с участием опытного оператора. При оценке квалификации оператора необходимо ограничить время проведения испытаний так, чтобы начинающие и опытные операторы испытывали одинаковую усталость.

4.7 При оценке результатов испытаний необходимо учитывать три показателя, которые рассматривают в следующем порядке значимости: оценка завершенности, статистическая надежность результатов и эффективность. Результаты прохождения маршрута движения восьмеркой (прямым ходом) и зигзагообразного маршрута (прямым/задним ходом) несопоставимы, поскольку они характеризуют разные возможности роботов. Результаты испытаний на испытательных стендах разного масштаба также являются несопоставимыми, так как роботы перемещаются по проходам разной ширины и на разные расстояния.

5 Значение и использование метода испытаний

5.1 Данный метод испытаний входит в комплекс связанных методов испытаний, обеспечивающих воспроизводимые оценки проходимости роботов и квалификации операторов дистанционного управления. Данный испытательный стенд с симметричными ступенчатыми неровностями позволяет оценить проходимость робота, его систему передвижения и подвеску, обеспечивающие надлежащую силу сцепления с поверхностью, тенденции к опрокидыванию робота, поддержание роботом равновесия

при движении по сложной поверхности (при необходимости), вариабельность формы шасси (если применимо), а также ситуационную осведомленность оператора. Таким образом, данный испытательный стенд возможно использовать для имитации рельефа умеренной сложности на открытых территориях или завалов в закрытых помещениях.

5.2 Масштаб испытательного стенда допускается изменять для имитации разных ограничений, характерных для предполагаемой среды применения робота по назначению. Например, испытательный стенд с ограничивающими стенами может иметь размеры, соответствующие ширине проходов в салонах автобусов, поездов или самолетов, жилым помещениям с коридорами и дверными проемами, относительно свободному пространству парковочных площадок с достаточно большими расстояниями между автомобилями, а также открытой местности.

5.3 Оборудование испытательного стенда является недорогим и простым в изготовлении, что позволяет его широко тиражировать. Проведение испытаний согласно установленному методу также не представляет особых трудностей. Это облегчает сравнение результатов испытаний, проведенных в разных местах и в разное время для определения лучших в своем классе роботов и операторов.

5.4 «Оценка» — данный метод испытаний используют в контролируемых условиях окружающей среды для оценки основных возможностей роботов. Движение по поверхности с симметричными ступенчатыми неровностями может быть включено в программу обучения операторов с целью оценки снижения показателей вследствие неконтролируемых изменений освещенности, погодных условий, радиосвязи, точности геопозиционирования и т. д.

5.5 «Закупки» — данный метод испытаний используют для формирования компромиссных оценок возможностей роботов, принятия обоснованных решений при закупках роботов и проверки рабочих характеристик роботов при проведении приемочных испытаний. В результате спецификации требований и ожидания пользователей будут приведены в соответствие с существующими ограничениями технических возможностей.

5.6 «Обучение» — данный метод испытаний используют для целенаправленного обучения операторов в качестве воспроизводимого практического задания или в качестве задания, включенного в программы обучения. Полученные в результате проведенных испытаний показатели квалификации операторов дистанционного управления позволяют отслеживать изменения навыков операторов с течением времени, а также сравнивать результаты работы в разных подразделениях, регионах или в среднем по стране.

5.7 «Инновации» — данный метод испытаний используют для разработки технических инноваций, демонстрации прорывных возможностей и оценки надежности роботов, выполняющих конкретные задания в рамках применения роботов по назначению. Объединение нескольких методов испытаний или их последовательное осуществление может помочь разработчикам и изготовителям реализовывать сочетание возможностей роботов, необходимое для их применения по назначению.

6 Требования к оборудованию испытательного стенда

6.1 Оборудование испытательного стенда, необходимое для проведения испытаний, включает участок поверхности с симметричными ступенчатыми неровностями, препятствия для задания маршрута движения робота, ограничивающую конструкцию (факультативно), хронограф и люксметр. Основным параметром испытательного стенда, который должен быть задан, является минимальная ширина проходов W для робота, расположенных по обеим сторонам от препятствий на всем протяжении установленного маршрута (см. рисунок 4).

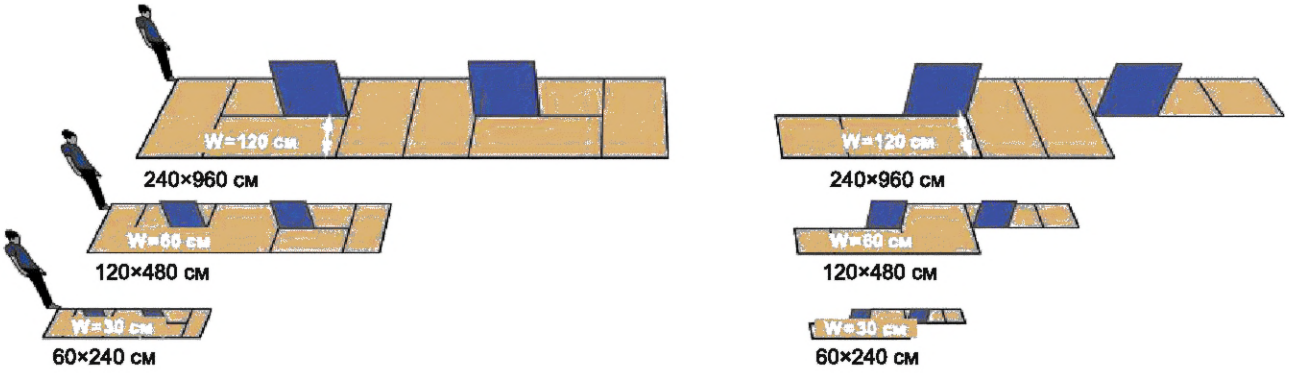


Рисунок 4 — Масштабируемые маршруты для моделирования разной среды

Минимальную ширину прохода следует выбирать в соответствии с предполагаемой средой применения робота по назначению и/или размерами робота. С целью эффективного использования доступных строительных материалов минимальную ширину прохода, как правило, устанавливают равной 30, 60, 120 или 240 см, хотя допускается задавать и другие размеры. Все размеры испытательного стенда масштабируют пропорционально минимальной ширине прохода (см. рисунок 5). Например, общая ширина поверхности стенда равна 2W, а общая длина поверхности стенда составляет не менее 6W. Длину стенда допускается увеличить для роботов большего размера, которые требуют большего пространства для маневрирования вокруг препятствий, оставаясь при этом внутри стенда. При выборе конкретной минимальной ширины прохода для испытательного стенда следует отметить, что полученные на нем результаты будут несопоставимы с данными, полученными на испытательном стенде с другой минимальной шириной прохода.

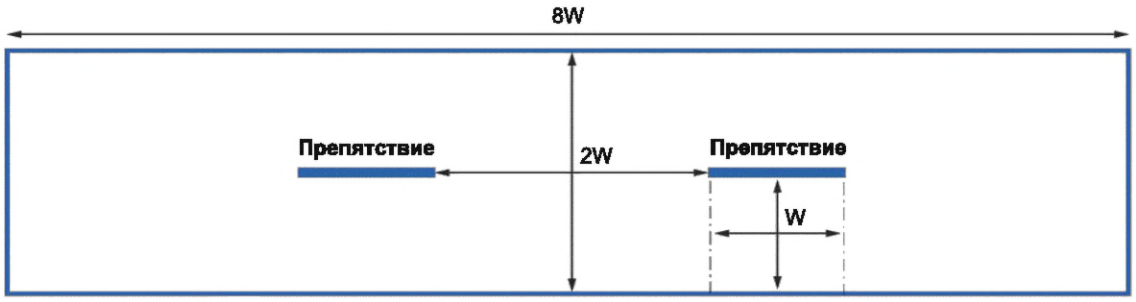


Рисунок 5 — Вид сверху на испытательный стенд с указанием размеров, пропорциональных минимальной ширине прохода W

6.2 «Поверхность со ступенчатыми неровностями» — поверхность с симметричными ступенчатыми неровностями имеет диагонально расположенные подъемы и спуски. Поверхность перемещения образуют верхние грани ступеней квадратного сечения со стороной равной, 1/6*W*, и перепадом высот 1/12*W*. Это позволяет легко изготовить поверхность со ступенчатыми неровностями из деревянных брусков квадратного сечения (см. рисунок 6).

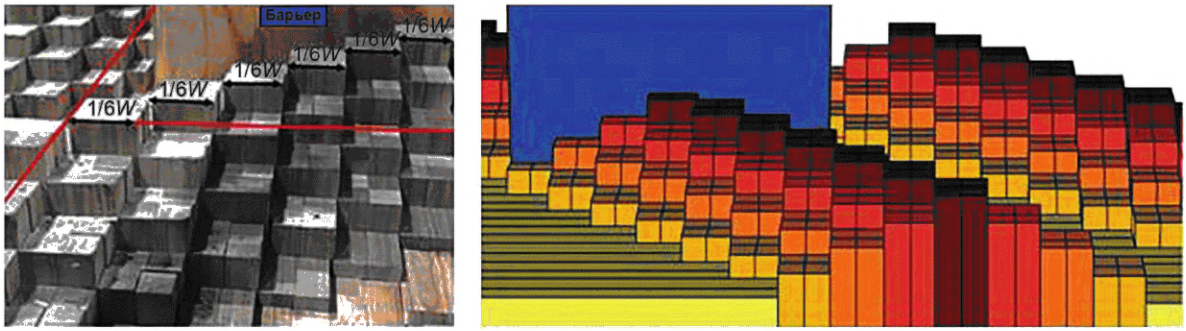
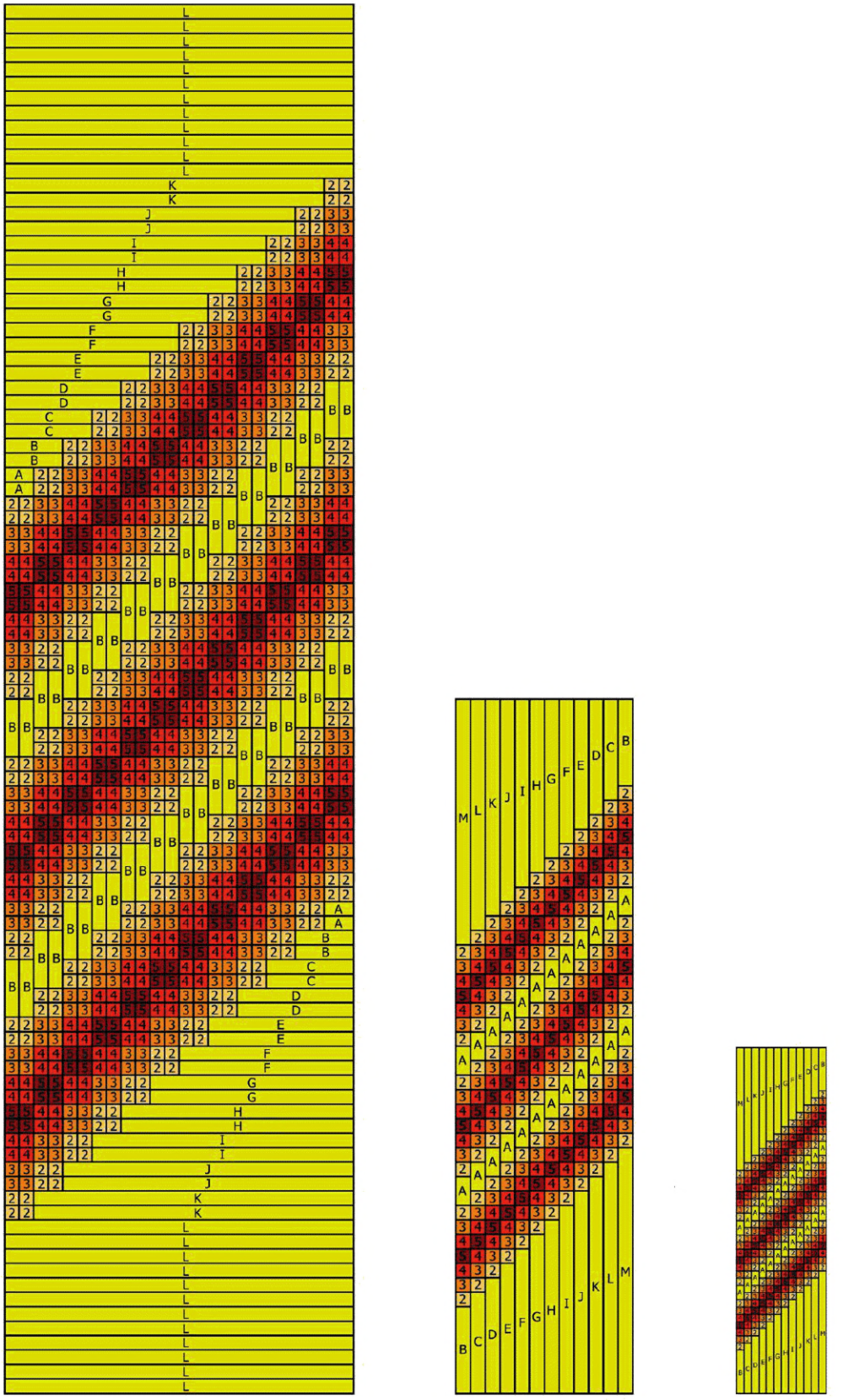


Рисунок 6 — Вид симметричной ступенчатой поверхности

Отдельные ступени для испытательного стенда с W = 60 см следует изготавливать из брусков квадратного сечения со стороной 10 см надлежащей длины, позволяющей сформировать симметричную ступенчатую поверхность. Отдельные ступени для испытательного стенда с W = 120 см следует изготавливать из блоков надлежащей длины, составленных из четырех брусков квадратного сечения со стороной 10 см. Отдельные ступени для испытательного стенда с W = 30 см следует изготавливать из брусков квадратного сечения со стороной 5 см надлежащей длины (см. рисунок 7). Таким образом, симметричная ступенчатая поверхность испытательного стенда представляет собой множество деревянных брусков квадратного сечения, длина которых определяется минимальной шириной прохода на данном испытательном стенде. Бруски, образующие симметричную ступенчатую поверхность и обозначенные на рисунке 7 цифрами, следует размещать вертикально, создавая диагонально расположенные возвышенности *с максимальной высотой 5/12W. Остальная поверхность испытательного стенда должна быть покрыта лежащими на боку брусками квадратного (для W = 120 см) или прямоугольного (для W = 60 см и W = 30 см) сечения, которые на рисунке 7 обозначены буквами. При этом бруски прямоугольного сечения должны лежать на своей широкой грани. Размеры брусков, обозначенных на рисунке 7 цифрами и буквами, приведены в таблицах 1—3.*



a) W=120 см b) W=60 см c) W=30 см

Рисунок 7 — Схема расположения элементов ступенчатой поверхности для разных значений параметра W

Таблица 1 — Испытательный стенд с W = 120 см

Расположение брусков	*Обозначение на рисунке 7*	Сечение бруска, мм	Высота/длина бруска, мм	Количество брусков
Бруски стоят вертикально	2	100 × 100	200	288
	3	100 × 100	300	288
	4	100 × 100	400	288
	5	100 × 100	500	144
Бруски уложены на бок	A	100 × 100	200	4
	B	100 × 100	400	52
	C	100 × 100	600	4
	D	100 × 100	800	4
	E	100 × 100	1000	4
	F	100 × 100	1200	4
	G	100 × 100	1400	4
	H	100 × 100	1600	4
	I	100 × 100	1800	4
	J	100 × 100	2000	4
	K	100 × 100	2200	4
	L	100 × 100	2400	24

Таблица 2 — Испытательный стенд с W = 60 см

Расположение брусков	*Обозначение на рисунке 7*	Сечение бруска, мм	Высота/длина бруска, мм	Количество брусков
Бруски стоят вертикально	2	100 × 100	100	72
	3	100 × 100	150	72
	4	100 × 100	200	72
	5	100 × 100	250	36
Бруски уложены на бок	A	50 × 100	200	24
	B	50 × 100	600	2
	C	50 × 100	700	2
	D	50 × 100	800	2
	E	50 × 100	900	2
	F	50 × 100	1000	2
	G	50 × 100	1100	2
	H	50 × 100	1200	2
	I	50 × 100	1300	2
	J	50 × 100	1400	2
	K	50 × 100	1500	2
	L	50 × 100	1600	2
	M	50 × 100	1700	2

Таблица 3 — Испытательный стенд с W = 30 см

Расположение брусков	*Обозначение на рисунке 7*	Сечение бруска, мм	Высота/длина бруска, мм	Количество брусков
Бруски стоят вертикально	2	50 × 50	50	72
	3	50 × 50	75	72
	4	50 × 50	100	72
	5	50 × 50	125	36
Бруски уложены на бок	A	25 × 50	100	24
	B	25 × 50	150	2
	C	25 × 50	200	2
	D	25 × 50	250	2
	E	25 × 50	300	2
	F	25 × 50	350	2
	G	25 × 50	400	2
	H	25 × 50	450	0
	I	25 × 50	500	0
	J	25 × 50	550	2
	K	25 × 50	600	2
	L	25 × 50	650	2
	M	25 × 50	700	2

6.3 «Препятствия, ограничивающие маршрут робота» — препятствия, размещаемые на поверхности испытательного стенда, должны обеспечивать визуальные ориентиры для оператора, дистанционно управляющего роботом при прохождении заданного маршрута восьмеркой (прямым ходом) или зигзагообразного маршрута (прямым и задним ходом). Препятствия допускается изготавливать из любого твердого или пористого материала, обеспечивающего визуальный ориентир для оператора (см. рисунок 8). Они должны быть крепкими и легко поддаваться ремонту или замене после столкновения с роботом. Общая толщина препятствия — не более 5 % от минимальной ширины прохода, а длина должна быть равна W.

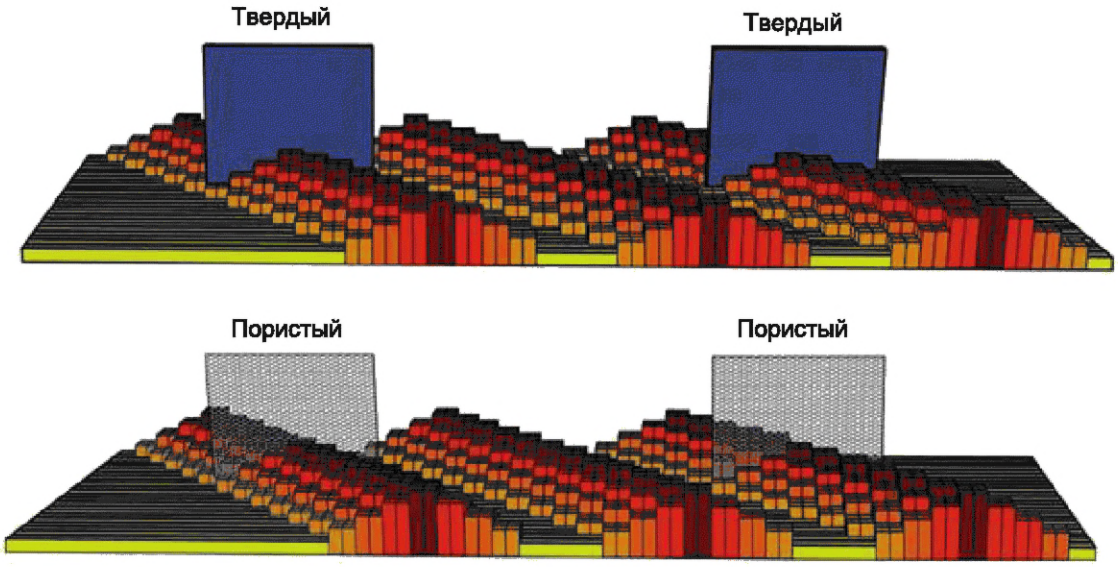


Рисунок 8 — Вид сбоку, демонстрирующий разные типы препятствий

6.4 «Ограничивающая конструкция» — бруски, образующие поверхность испытательного стенда с симметричными ступенчатыми неровностями, необходимо зафиксировать так, чтобы они не перемещались относительно друг друга (см. рисунок 9). Простейшей ограничивающей конструкцией может служить опорная поверхность с деревянными бортами высотой, равной примерно половине высоты самых высоких брусков. Другим вариантом ограничивающей конструкции могут быть стены вокруг испытательного стенда, которые создадут дополнительный уровень сложности для робота. Кроме того, стены будут способствовать обеспечению безопасности для персонала, находящегося поблизости в данном помещении.

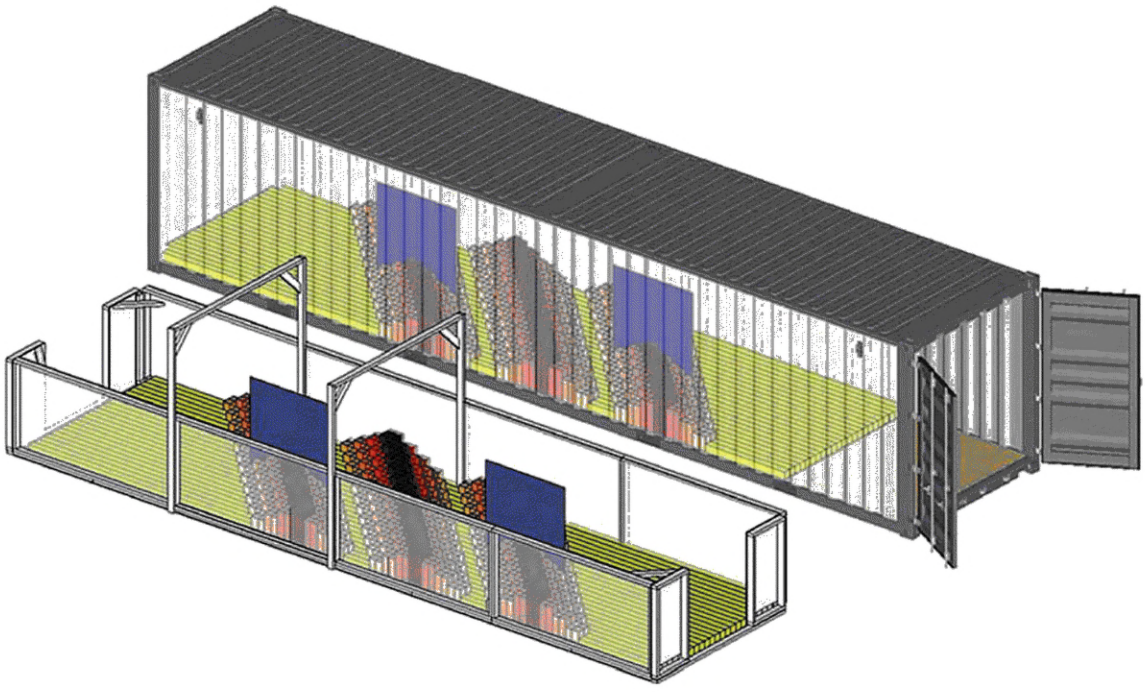


Рисунок 9 — Примеры ограничивающих конструкций

Для обеспечения устойчивости деревянных стен обычно применяют устанавливаемые сверху арки. Испытания согласно данному методу также можно проводить в транспортных контейнерах. Испытательные стенды с минимальной шириной прохода W = 120 см могут не поместиться в стандартном транспортном контейнере, внутренняя ширина которого составляет менее 240 см. Стены контейнера должны быть облицованы деревянными панелями, закрывающими гофрированные стальные борта контейнера и имеющими достаточную толщину для заполнения промежутков между стеной и испытательным стендом.

6.5 «Другие приборы» — для измерения фактического времени выполнения попытки необходимо использовать хронограф, обеспечивающий точную индикацию моментов начала и завершения испытания для минимизации неопределенности. Хронограф может вести прямой или обратный отсчет времени, но должен иметь возможность задавать длительность в минутах. Для измерения длительности испытания также допускается использовать секундомер. При проведении испытаний в освещенной среде или в условиях недостаточной освещенности необходимо использовать люксметр. Светлой считается среда с освещенностью > 150 лк, а темной — среда с освещенностью < 0,1 лк.

7 Требования безопасности

7.1 Для безопасной работы робота в режиме дистанционного управления или в автономном режиме необходимо наличие систем аварийной остановки. Кнопка аварийной остановки на операторском пульте управления должна быть четко обозначена и легко доступна. Если на корпусе робота предусмотрена кнопка аварийной остановки, то она должна быть четко обозначена. До начала испытаний персоналу, участвующему в испытаниях, следует ознакомиться с местами расположения всех кнопок аварийной остановки.

7.2 Системы аварийной остановки должны функционировать еще до того, как дистанционно управляемый робот начнет движение. Необходимо обеспечить постоянную связь между роботом и оператором до тех пор, пока робот не окажется внутри испытательного стенда, а люди либо покинут испытательный стенд, либо отойдут от робота на безопасное расстояние. Когда удаленно расположенный оператор начинает управлять роботом, приводит в действие манипулятор или передает какие-либо иные команды управления, он может не знать, что кто-то в это время работает с роботом. Поэтому, если только робот не отключен полностью, запрещается присутствие людей непосредственно на пути возможного движения робота, перед ним или сзади него, а также в пределах досягаемости манипулятора.

7.3 Использовать защитные приспособления, в частности, страховочный трос, для предотвращения повреждения робота допускается только находясь на безопасном расстоянии от него. Запрещается подставлять руки, чтобы предотвратить падение или опрокидывание робота. Для этой цели следует использовать страховочные тросы. Любое взаимодействие с роботом, в том числе натягивание страховочного троса для спасения робота, следует засчитывать как ошибку, а данную попытку считать неудачной.

7.4 Испытательные стенды, предназначенные для оценки проходимости роботов, могут быть достаточно сложными и неустойчивыми и создавать опасность для людей. Для снижения риска получения травм участники испытаний должны носить надлежащую обувь и использовать средства индивидуальной защиты. При обслуживании робота или переноске оборудования внутри стенда необходимо соблюдать внимательность и осторожность.

8 Порядок проведения испытаний

8.1 «Идентификация конфигурации робота» — конфигурация предъявленного для испытаний робота должна быть идентифицирована и иметь уникальное обозначение (например, марка, модель, конфигурация), включая все подсистемы и компоненты с их характеристиками и функциями. Конфигурация робота должна соответствовать конфигурации, которая требуется при использовании робота по назначению. Робот может иметь несколько различных конфигураций. Испытаниям допускается подвергать любое число конфигураций робота. Конфигурация робота должна оставаться неизменной во всех проводимых испытаниях, чтобы обеспечить возможность прямого сравнения характеристик и определения преимуществ и недостатков разных конфигураций робота. В ходе испытаний конфигурация испытуемого робота должна сохранять свой общий объем, массу и расположение центра тяжести, а также состав основных подсистем и компонентов, таких как гусеницы, колеса, ноги, манипулятор,

радиосвязь, страховочный трос, операторский пульт управления и т. д. Проконтролировать более тонкие изменения в конфигурации или программном обеспечении робота достаточно трудно, поэтому, как правило, ими допускается пренебречь. Если в ходе испытаний конфигурация робота изменяется, то данное испытание считается недействительным. Отчетные документы об испытаниях должны содержать подробные фотографии всех основных компонентов робота, а также видеозаписи проведенных работ по его техническому обслуживанию, таких как замена гусеницы, замена аккумуляторной батареи и т. д. При необходимости в отчетные документы включают дополнительную информацию, которая может содержать следующие данные:

8.1.1 Вес и размеры всех контейнеров, доставленных на место проведения испытаний или подготовленных к развертыванию робота для испытаний.

8.1.2 Перечень компонентов, необходимых для обеспечения функционирования робота, таких как батареи, зарядные устройства и расходные материалы.

8.1.3 Перечень запасных частей и инструментов, необходимых для технического обслуживания робота.

8.1.4 Сведения о дополнительных полезных нагрузках, установленных на роботе.

8.2 «Подготовка испытательного стенда» — необходимо убедиться, что стенд подготовлен к проведению испытаний и обеспечены требуемые условия окружающей среды, для чего выполняют перечисленные далее действия:

8.2.1 Проверяют соответствие минимальной ширины прохода на испытательном стенде предполагаемой среде использования робота по назначению.

8.2.2 Убеждаются в том, что уровень сложности испытательного стенда соответствует возможностям робота и/или эксплуатационным требованиям.

8.2.3 Проверяют готовность испытательного стенда к проведению испытаний, включая поверхность с симметричными ступенчатыми неровностями, размещение препятствий, установку ограничивающих стен и т. д.

8.2.4 Обеспечивают заданные условия окружающей среды, включая уровень освещенности, температуру и т. д.

8.2.5 Регистрируют и контролируют условия окружающей среды, включая уровень освещенности, температуру и т. д.

8.2.6 Устанавливают на хронографе намеченную длительность проведения испытаний в минутах или сбрасывают показания секундомера.

8.3 «Готовность оператора» — необходимо убедиться, что оператор готов к проведению испытаний, выполнив перечисленные далее действия:

8.3.1 Выбирают число попыток, выполняемых в ходе испытаний (от 10 до 30), которое обеспечит заданные значения надежности и достоверности результатов.

8.3.2 Выбирают маршрут движения восьмеркой (движение только передним ходом) или зигзагообразный маршрут (движение передним и задним ходом), понимая, что результаты прохождения данных маршрутов нельзя будет в дальнейшем сравнить между собой (см. рисунки 2 и 3).

8.3.3 Следует убедиться, что оператор понимает, что попытки будут считаться успешными, когда любая часть робота после прохождения заданного маршрута пересечет стартовую/финишную осевую линию, не совершив ошибок. Каждая попытка прохождения маршрута восьмеркой и зигзагообразного маршрута начинается и заканчивается на стартовой/финишной осевой линии трассы (см. рисунки 2 и 3).

8.3.4 Необходимо убедиться, что оператор знает последовательность действий в случае ошибки робота или приостановки испытаний по другой причине (см. 8.5 и 8.6).

8.3.5 При необходимости позволяют оператору потренироваться на испытательном стенде до начала испытаний, наблюдая за роботом непосредственно или дистанционно, чтобы ознакомиться с порядком проведения испытаний.

8.3.6 Размещают оператора на удаленном рабочем месте, где у него не будет прямого визуального и звукового контакта с роботом на испытательном стенде. Робот должен находиться в пределах досягаемости связи по радио или кабелю. Если оператор находится вне поля зрения, но в непосредственной близости от испытательного стенда, то ему следует надеть наушники или беруши, чтобы избежать звукового контакта с роботом на испытательном стенде.

8.4 «Проведение испытаний» — после того, как испытательный стенд будет подготовлен и оператор готов к проведению испытаний, выполняют перечисленные далее действия (см. рисунки 1—3).

8.4.1 Начинают движение робота с заданной точки старта, расположенной на одном из концов трассы. При этом робот не должен соприкасаться со стартовой/финишной осевой линией.

8.4.2 Запускают хронограф, как только любая часть робота пересечет стартовую/финишную осевую линию. Каждая попытка движения по маршруту восьмеркой и зигзагообразному маршруту начинается и заканчивается на стартовой/финишной осевой линии трассы.

8.4.3 Необходимо, чтобы робот перемещался по заданному маршруту, как показано на рисунках 2 и 3.

8.4.4 Регистрируют успешную попытку, когда любая часть робота пересечет стартовую/финишную осевую линию после прохождения трассы без ошибок.

8.4.5 Фиксируют ошибку и регистрируют данную попытку, как неудачную, если робот повредит оборудование испытательного стенда так, что для выполнения следующей попытки потребуется его регулировка или ремонт для восстановления исходного состояния (см. 8.5).

8.4.6 Повторяют попытки, начиная с разных концов трассы, до завершения заданного числа попыток, истечения времени по хронографу или до момента, когда робот не сможет продолжить испытания.

8.4.7 Регистрируют в протоколе испытаний число успешных попыток, число неудачных попыток и затраченное время.

8.5 «Действия при ошибке робота» — если робот застрял или вышел из строя и для продолжения испытаний требуется какое-либо визуальное или физическое вмешательство, либо если робот повредил испытательный стенд так, что требуется наладка или ремонт стенда, то выполняют перечисленные ниже действия.

8.5.1 Останавливают хронограф.

8.5.2 Фиксируют время, место и краткое описание инцидента.

8.5.3 Регистрируют данную попытку как неудачную.

8.5.4 Проверяют, может ли робот продолжить испытания, и при необходимости проводят техническое обслуживание робота.

8.5.5 Проверяют правильность настройки испытательного стенда и при необходимости выполняют регулировку или ремонт.

8.5.6 Продолжают движение робота по маршруту.

8.5.7 Перезапускают хронограф, как только любая часть робота пересечет стартовую/финишную осевую линию, начиная следующую попытку.

8.5.8 Продолжают до тех пор, пока не будет выполнено заданное число попыток или пока не истечет время, отведенное на проведение испытаний.

8.6 «Остановка испытаний» — если требуется остановить испытания по какой-либо причине, кроме ошибки робота, то выполняют перечисленные ниже действия.

8.6.1 Останавливают хронограф.

8.6.2 Фиксируют время, место и краткое описание причины (при необходимости).

8.6.3 Если причиной приостановки стала неисправность испытательного стенда, то следует произвести необходимый ремонт. Необходимо убедиться, что робот может продолжить испытания, либо выполнить необходимое техническое обслуживание, если робот был поврежден из-за неисправности испытательного стенда.

8.6.4 Перезапускают хронограф, когда робот будет готов продолжить испытания.

8.6.5 Продолжают движение робота по заданному маршруту.

8.6.6 Продолжают испытания до завершения заданного числа попыток или пока не истечет время, отведенное на проведение испытаний.

8.7 «Перезапуск программного обеспечения» — любая ручная или автоматическая перезагрузка программного обеспечения, пульта управления или дистанционная перезагрузка робота.

9 Расчет и интерпретация результатов

9.1 В ходе проведения испытаний должно быть проведено достаточное число успешных попыток для того, чтобы продемонстрировать надежность выполнения роботом задания или уровень квалификации оператора дистанционного управления. При оценке результатов испытаний следует учитывать три показателя, представленные далее в порядке уменьшения важности.

9.2 Первый показатель — оценка завершенности испытаний. Выполнение статистически значимого числа попыток имеет важное значение для оценки надежности выполнения задания. В зависимости от сложности задания и времени, отведенного на проведение испытаний, следует выполнить от 10 до

30 попыток. Выполнение заданного числа попыток без ошибок является основным показателем при оценке результатов испытаний, после достижения которого можно переходить к оценке двух других показателей.

9.3 Второй показатель — надежность выполнения задания. Если выполнено статистически значимое числе попыток, то отношение успешных попыток к общему числу выполненных попыток является оценкой надежности выполнения задания. Надежность выполнения задания в процентах рассчитывают по формуле

$$(\text{число успешных попыток} / \text{общее число попыток}) \cdot 100 = \text{надежность, \%}. \quad (1)$$

Заказчик испытаний может установить необходимые пороговые значения надежности выполнения задания. Для одних заданий может потребоваться более высокая надежность, а для других требования по надежности могут быть менее жесткими. Например, чтобы продемонстрировать не менее 80 % надежности (при достоверности не менее 80 %), результаты испытаний должны быть следующими:

- 10 выполненных попыток без ошибок (только первые 10 попыток);
- 20 выполненных попыток, из которых не более одной неудачной попытки;
- 30 выполненных попыток, из которых не более трех неудачных попыток.

9.3.1 Если проводят несколько испытаний, то при определении соотношения успешных попыток к числу неудачных попыток следует рассматривать вместе последние 30 последовательных **попыток** в каждом из испытаний. Это позволит компенсировать неудачные попытки последующим набором успешных попыток. Уровень надежности и достоверности, рассчитываемый как соотношение успешных и неуспешных попыток, можно определить на основе статистических таблиц. В общем случае, для того чтобы повысить достоверность оценки надежности результатов испытаний, необходимо увеличивать общее число попыток выполнения задания.

9.4 Третий показатель — эффективность. В случае завершенного испытания с надежными результатами может быть рассчитана эффективность выполнения задания с целью определения незначительных различий в возможностях роботов или в уровне квалификации операторов дистанционного управления. Показателем эффективности является среднее число успешных попыток, выполненных за отведенный отрезок времени. Эффективность выполнения задания может быть рассчитана по формуле

$$(\text{число успешных попыток} / \text{время в минутах}) = \text{попыток в минуту}. \quad (2)$$

10 Требования к отчетности

10.1 Используя записи результатов испытаний, можно проводить сравнения во времени для данного робота и оператора, для разных конфигураций роботов или для разных роботов в разных местах. Однако результаты прохождения маршрута восьмеркой и зигзагообразного маршрута нельзя сравнивать между собой. Они представляют разные уровни сложности для разных видов передвижения роботов. Точно так же нельзя сравнивать результаты, полученные на испытательных стендах разного масштаба. Они представляют разные уровни сложности для роботов, которые различаются по своим размерам. В протоколе испытаний, пример которого приведен в приложении А, рекомендуется указывать перечисленную ниже информацию.

10.1.1 Наименование метода испытаний: *«Проходимость. Преодоление симметричных ступенчатых неровностей»*.

10.1.2 Обозначение настоящего стандарта: *ГОСТ Р 60.6.3.8*.

10.1.3 Дата проведения испытаний.

10.1.4 Место — *наименование организации или полигона, где проводят испытания.*

10.1.5 Адрес — населенный пункт, район, область, где проводят испытания.

10.1.6 Фамилия и инициалы руководителя испытаний, должность и организация, которую он представляет.

10.1.7 Изготовитель робота.

10.1.8 Модель робота.

10.1.9 Конфигурация робота (включая связь по радиоканалу или кабелю).

10.1.10 Фамилия и инициалы оператора, *управляющего роботом,* наименование организации, *которую он представляет, и контактная информация.*

10.1.11 Параметры испытательного стенда:

10.1.11.1 Масштаб испытательного стенда (минимальная ширина прохода).

10.1.11.2 Маршрут движения (восьмеркой или зигзагообразный).

10.1.11.3 Наклон испытательного стенда.

10.1.12 Условия окружающей среды:

10.1.12.1 Уровень освещенности.

10.1.12.2 Температура.

10.1.12.3 Влажность.

10.1.12.4 Другие условия, если требуется.

10.1.13 Результаты, полученные от оператора (в ходе испытаний) или видеозапись (после завершения испытаний).

10.1.14 Затраченное время (общая продолжительность испытаний).

10.1.15 Тип ошибки:

10.1.15.1 «Ошибка робота» — робот застрял или вышел из строя и требует визуального осмотра или физического вмешательства для продолжения работы.

10.1.15.2 «Перезапуск программного обеспечения» — перезагрузка пульта управления или дистанционная перезагрузка робота.

10.1.15.3 «Пауза в испытаниях» — испытания остановлены по любой причине, кроме ошибки робота.

10.1.16 Результаты:

10.1.16.1 Результаты, полученные от оператора (в ходе испытаний).

10.1.16.2 Видеозапись, полученная после завершения испытаний.

10.1.16.3 «Оценка завершенности» — общее число успешных попыток.

10.1.16.4 «Надежность» — отношение числа успешных попыток к общему числу выполненных попыток.

10.1.16.5 «Эффективность» — отношение числа успешных попыток к затраченному времени в минутах.

10.1.17 Число выполненных попыток.

10.1.18 Примечания (любые наблюдения и отклонения от нормы).

11 Погрешность метода испытаний

Результатом испытаний по данному методу является не содержащий количественных показателей отчет об успешном или неудачном достижении заданных значений надежности. Испытательный стенд обеспечивает четкую фиксацию успешной или неудачной попытки, поэтому субъективность человеческой оценки результатов значительной роли не играет. Поскольку результаты испытаний не являются количественными, то невозможно сделать вывод о том, насколько точные результаты обеспечивает данный метод испытаний.

Приложение А
(рекомендуемое)

Форма протокола испытаний

Протокол испытаний
Проходимость. Преодоление симметричных ступенчатых неровностей
(по ГОСТ Р 60.6.3.8)

Дата: _____ Изготовитель робота: _____

Место: _____ Модель робота: _____

Адрес: _____ Конфигурация робота: _____

Руководитель: _____ Оператор/Организация: _____

Испытательный стенд	Внешняя среда	Тип ошибки	Длительность
☑ W = 0,6 м ☑ W = 1,2 м ☑ W = 2,4 м Маршрут ☑ Восьмеркой ☑ Зигзагообразный – Наклон испытательного стенда	☑ Освещенная (> 150 лк) ☑ Темная (< 0,1 лк) – Температура (°С) – Влажность (%)	– Ошибка робота – Перезапуск ПО (ОПУ или робота) – Пауза в испытаниях	5 мин / 10 мин / _____ мин *Обвести кружком или указать время, округлив до минут*

Обозначения: √ Успешная попытка; О Пауза в испытаниях; X Ошибка; П Перезапуск ПО

Попытки
(Отметьте время регистрации ошибки или паузы)

☑ 1	_____	☑ 11	_____	☑ 21	_____
☑ 2	_____	☑ 12	_____	☑ 22	_____
☑ 3	_____	☑ 13	_____	☑ 23	_____
☑ 4	_____	☑ 14	_____	☑ 24	_____
☑ 5	_____	☑ 15	_____	☑ 25	_____
☑ 6	_____	☑ 16	_____	☑ 26	_____
☑ 7	_____	☑ 17	_____	☑ 27	_____
☑ 8	_____	☑ 18	_____	☑ 28	_____
☑ 9	_____	☑ 19	_____	☑ 29	_____
☑ 10	_____	☑ 20	_____	☑ 30	_____

Результаты

Оператор (Обвести нужное) Видео

Оценка завершенности

Всего успешных попыток

из _____

Надежность

(Успешных попыток / Всего попыток) × 100

%

Эффективность

Успешных попыток / Всего минут

Оценка

Примечания:

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного стандарта
ГОСТ Р 60.6.3.1—2019	MOD	ASTM E2521—16 «Стандартная терминология для оценки возможностей роботов для работы в экстремальных условиях»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта: - MOD — модифицированный стандарт.		

УДК 621.865.8:007.52:006.86:006.354

ОКС 13.200
25.040.30

Ключевые слова: роботы, робототехнические устройства, методы испытаний, сервисные мобильные роботы, роботы для работы в экстремальных условиях, проходимость, поверхность с симметричными ступенчатыми неровностями, испытательное оборудование, порядок проведения испытаний

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 04.09.2023. Подписано в печать 13.09.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 1,80.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru