ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 60.6.3.3— 2023

Роботы и робототехнические устройства

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СЕРВИСНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Проходимость. Преодоление барьеров

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. № 776-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Е2802/Е2802М—21 «Стандартный метод испытаний для оценки проходимости роботов для работы в экстремальных условиях с использованием препятствий в виде барьеров разной высоты» (ASTM E2802/E2802M—21 «Standard test method for evaluating response robot mobility using variable hurdle obstacles», 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 60.6.3.3—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 6
6 Требования к оборудованию испытательного стенда 7
7 Требования безопасности 12
8 Порядок проведения испытаний 12
9 Расчет и интерпретация результатов 15
10 Требования к отчетности 15
11 Погрешность метода испытаний 17
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном стандарте 18

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 мобильных роботов при преодолении барьеров в ограниченном пространстве. Данный метод испытаний по преодолению барьеров в ограниченном пространстве является частью комплекса испытаний роботов по проходимости.

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к АСТМ Е2802/Е2802М—21, 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 АСТМ Е2802/Е2802М—21:

- 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, в то время как в примененном стандарте значения измерений приведены как в системе единиц СИ, так и в американских единицах (фут, дюйм), в связи с чем пункт 1.5 примененного стандарта об использовании двух систем единиц измерения не включен в настоящий стандарт;
- в раздел 2 «Нормативные ссылки» не включен подраздел 2.2 примененного стандарта, содержащий ссылки на документы системы стандартизации США, которые нецелесообразно применять в национальной стандартизации и ссылки на которые отсутствуют в примененном стандарте;
- 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», состоящего из вводных абзацев под номерами 3.1 и 3.2 и подраздела 3.3 «Определения терминов, использованных в настоящем стандарте»; термины из 3.1 и 3.2, использованные в настоящем стандарте, приведены в разделе 3;
- терминологические статьи расположены в алфавитном порядке русского языка для обеспечения соответствия требованиям ГОСТ 1.5—2001;
- исключена нумерация пунктов 10.1 и 11.1 примененного стандарта в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5—2001 (пункт 4.2.3);
- 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 барьеров

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

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 барьеров. 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 использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ Р 60.6.3.25—2023 Роботы и робототехнические устройства. Методы испытаний сервисных мобильных роботов для работы в экстремальных условиях. Логистика. Развертывание роботов после транспортировки

Издание официальное

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 ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать 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

дистанционное управление (remote control): *Управление роботом в реальном времени на расстоянии и под непосредственным визуальным контролем со стороны оператора.*

[ГОСТ Р 60.6.3.1—2019, статья 2.3]

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 **настил** (subfloor): *Основание стенда из ориентированно-стружечной плиты (ОСП) или аналогичного материала с деревянными ограждениями, к которому могут быть присоединены другие настилы, и на котором могут быть расположены компоненты испытательного стенда, такие как профили поверхности или препятствия.*

3.4

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

[ГОСТ Р 60.0.0.4—2023, статья 3.11]

3.5

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

[ГОСТ Р 60.6.3.10—2019, статья 3.7]

3.6 **поддон** (pallet): *Штабелируемый блок с верхней поверхностью из ОСП или аналогичного материала, размеры которого позволяют размещать его на настиле.*

3.7

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]

3.8

робот (robot): *Исполнительный механизм, программируемый по двум или более степеням подвижности, обладающий определенной степенью автономности и способный перемещаться во внешней среде с целью выполнения задач по назначению.*

Примечания

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

2 Классификация роботов на промышленные роботы или сервисные роботы осуществляется в соответствии с их назначением.

[ГОСТ Р 60.0.0.4—2023, статья 3.1]

3.9

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]

3.10

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

[ГОСТ Р 60.6.3.1—2019, статья 2.34]

3.11

(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, преодолевая препятствие в виде барьеров разной высоты, при наличии или отсутствии ограничивающих стен (см. рисунок 1). Данный метод испытаний требует, чтобы робот был способен двигаться при наклоне и/или боковом крене корпуса, обеспечивать необходимую силу сцепления с поверхностью, а также обеспечивать управление изменяемой конфигурацией шасси и узлами сочленения.

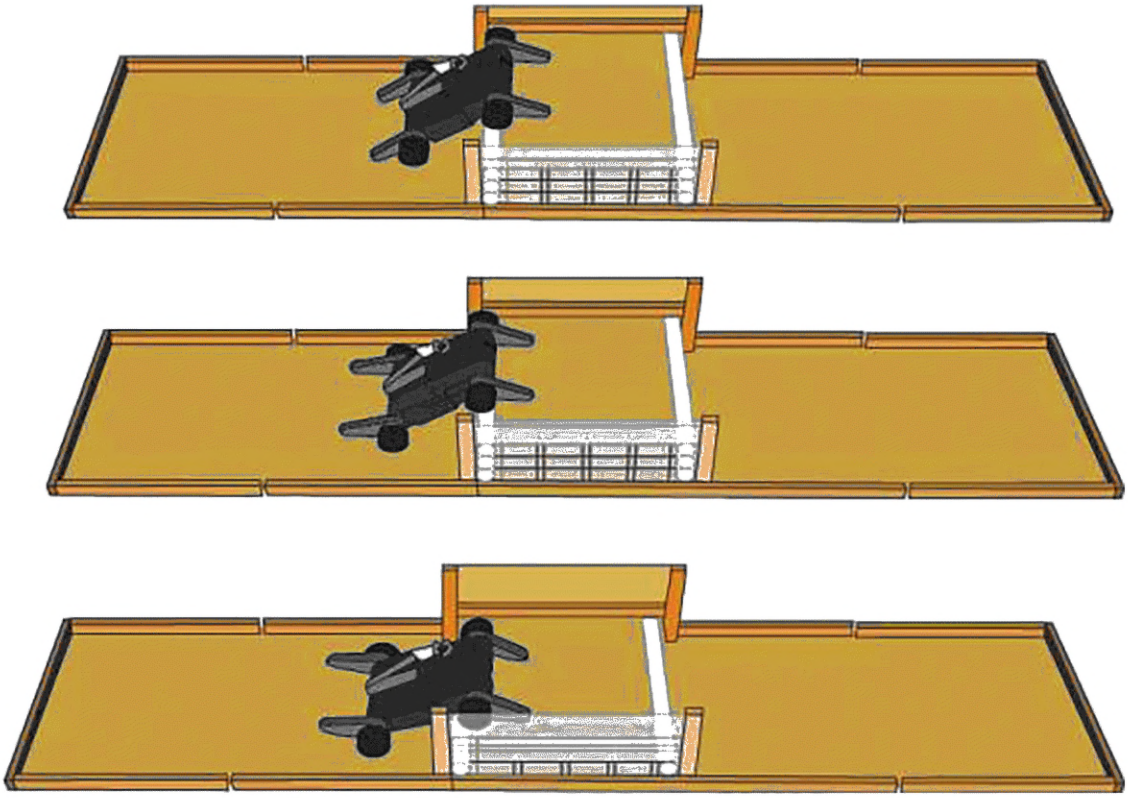


Рисунок 1(а) — Препятствия в виде барьеров разной высоты.
Показаны барьеры высотой 20, 30 и 40 см

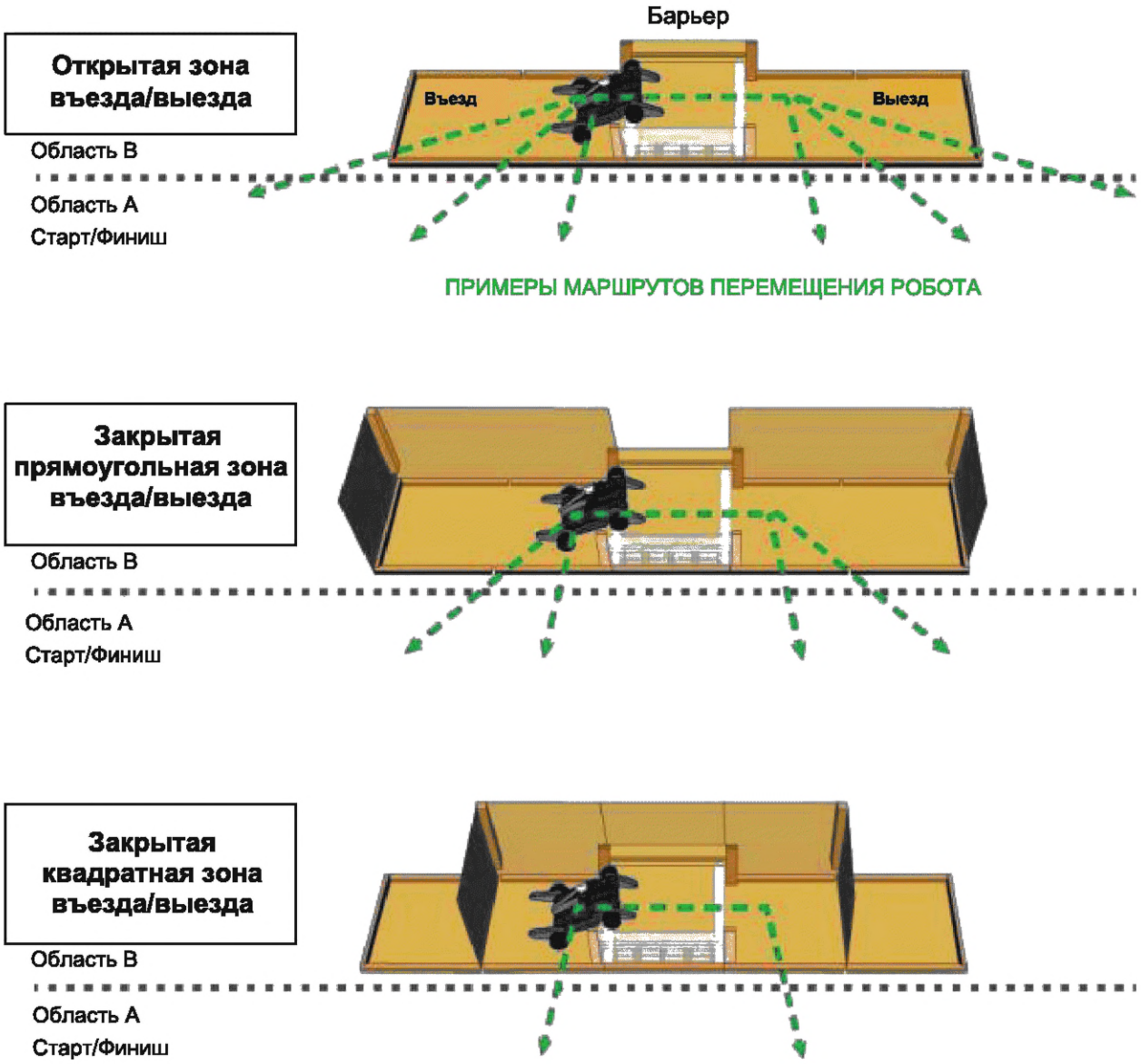


Рисунок 1(b) — Испытательный стенд с открытой, закрытой прямоугольной и закрытой квадратной зонами въезда/выезда и примеры маршрутов перемещения робота

4.2 Робот должен двигаться по одному из маршрутов, показанных на рисунке 1(b). Робот начинает движение в области A испытательного стенда, переезжает в область B в ближайшую зону въезда, преодолевает препятствие в виде барьеров разной высоты, переезжает в зону выезда на противоположном конце оборудования и затем выезжает обратно в область A для завершения очередной попытки. При выполнении очередных попыток направления перемещения робота через испытательный стенд должны чередоваться.

4.3 Робот должен двигаться по маршруту, используя один из двух рабочих режимов движения: произвольный или прямым/задним ходом. Произвольный режим движения позволяет роботу перемещаться по маршруту с любой ориентацией, т. е. прямым или задним ходом в течение всего испытания. Режим движения прямым/задним ходом требует, чтобы при выполнении очередной попытки робот чередовал движение прямым и задним ходом в течение всего испытания. Полученные данные по двум направлениям движения несопоставимы между собой.

4.4 Установлены три конфигурации испытательного стенда: открытая, закрытая прямоугольная и закрытая квадратная. В открытой конфигурации вокруг зон въезда/выезда ограничивающие стены отсутствуют. Открытая конфигурация соответствует работе робота в среде без внешних ограничений. В закрытых прямоугольной и квадратной конфигурациях вокруг зон въезда/выезда устанавливают стены. Стены используют для задания маршрута движения робота. Данные конфигурации соответствуют работе робота в замкнутом пространстве. В закрытой квадратной конфигурации доступная площадь составляет половину площади закрытой прямоугольной конфигурации.

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 регулировка или ремонт для возврата стенда в исходное состояние.

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

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 испытаний в открытой, закрытой прямоугольной и закрытой квадратной конфигурациях несопоставимы в силу различий в условиях проведения испытаний.

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. Препятствие в виде барьеров разной высоты позволяет оценить проходимость робота, его систему передвижения и подвеску, обеспечивающие надлежащую силу сцепления с поверхностью, тенденции к опрокидыванию робота, поддержание роботом равновесия (при необходимости), вариабельность формы шасси (если применимо), а также ситуационную осведомленность оператора. Барьеры разной высоты возможно использовать для имитации разных препятствий в окружающей среде, таких как железнодорожные пути, бордюрные камни, развалины.

5.2 Масштаб испытательного стенда допускается изменять для имитации разных ограничений, характерных для предполагаемой среды применения робота по назначению. Например, три установленные конфигурации испытательного стенда являются репрезентативными для воспроизводимых препятствий в свободном пространстве (открытая конфигурация), для относительно свободного пространства парковочных площадок с достаточно большими расстояниями между автомобилями (закрытая прямоугольная конфигурация) или для проходов внутри салонов автобусов, поездов или самолетов, а также для жилых помещений с коридорами и дверными проемами (закрытая квадратная конфигурация).

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. Преодоление препятствий в виде барьеров разной высоты 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 поддоны, настилы, трубы, стены (только для закрытых прямоугольной и квадратной конфигураций) и хронограф. Испытательный стенд состоит из настилов, стен и препятствий в виде барьеров разной высоты (см. рисунок 2).

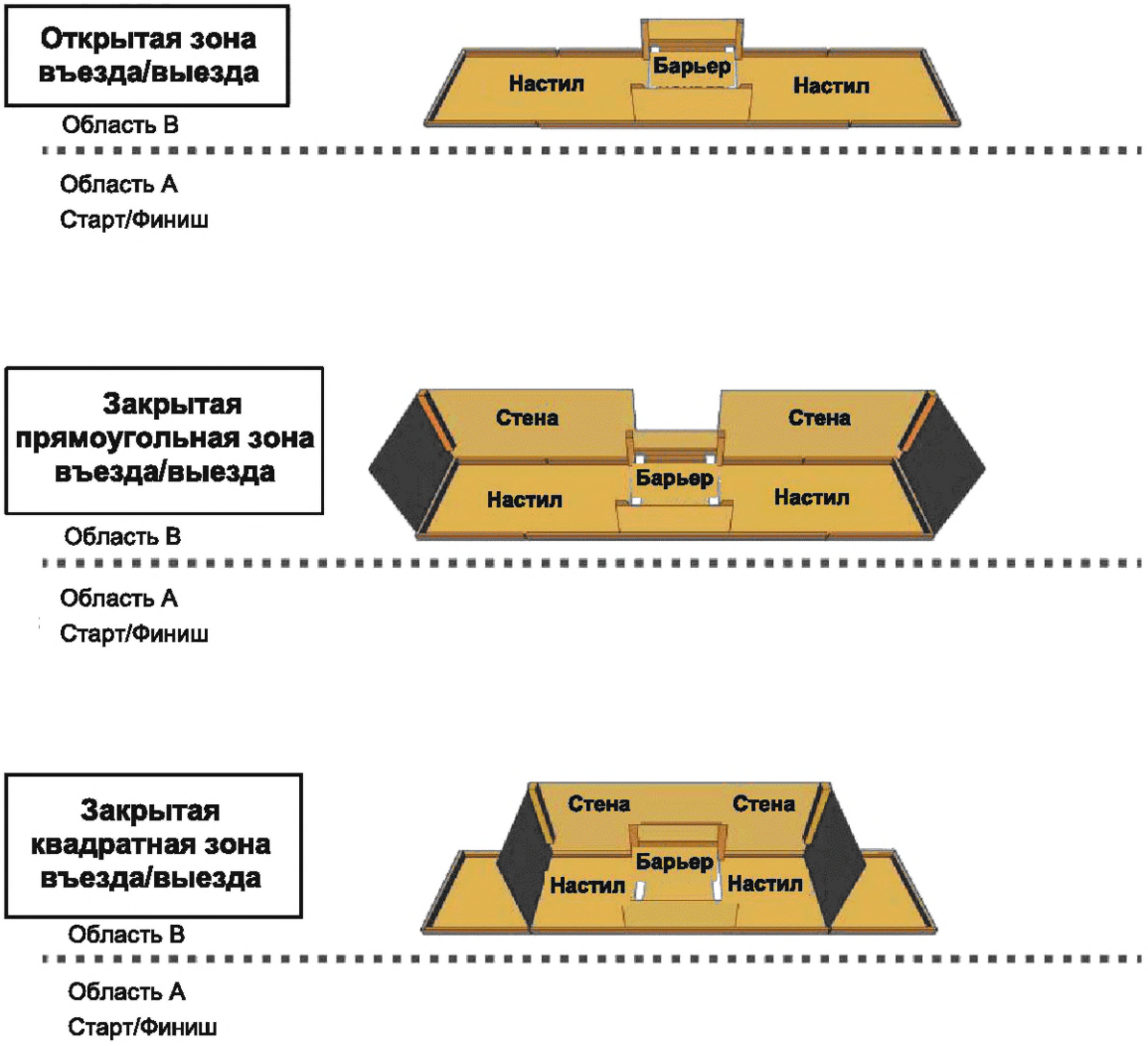


Рисунок 2 — Вид испытательного стенда с обозначенными компонентами

Основным параметром испытательного стенда, который должен быть задан, является минимальная ширина прохода W для робота. 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 или 120 см, хотя допускается задавать и другие размеры (см. рисунок 3).

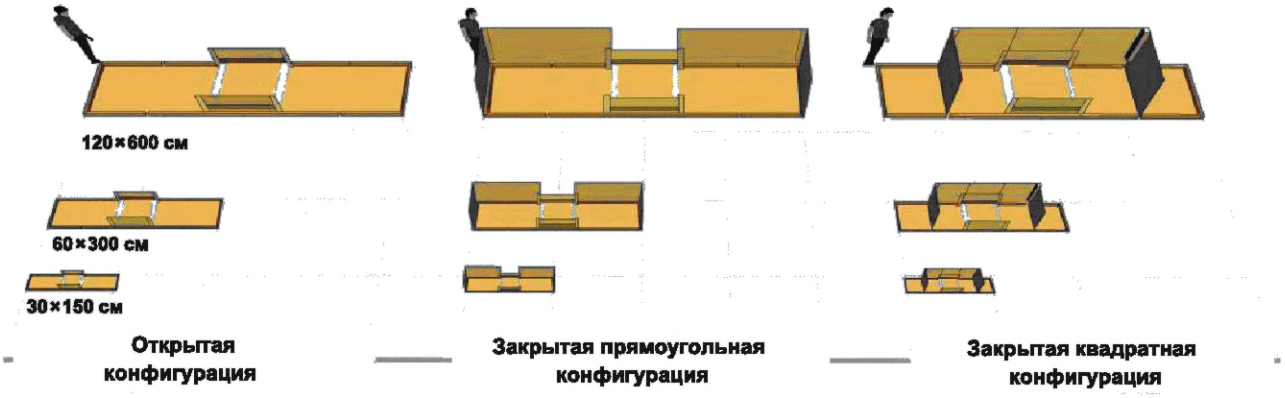


Рисунок 3 — Размеры испытательного стенда для имитации разной окружающей среды

Все размеры оборудования испытательного стенда масштабируются пропорционально минимальной ширине прохода (см. рисунок 4). Например, ширина барьеров разной высоты составляет 1W, а длина испытательного стенда с барьерами разной высоты — 3W (для закрытой квадратной конфигурации) или 5W (для закрытой прямоугольной и открытой конфигурации). Результаты испытаний, полученные при одном значении W, несопоставимы с результатами, полученными при других значениях W.

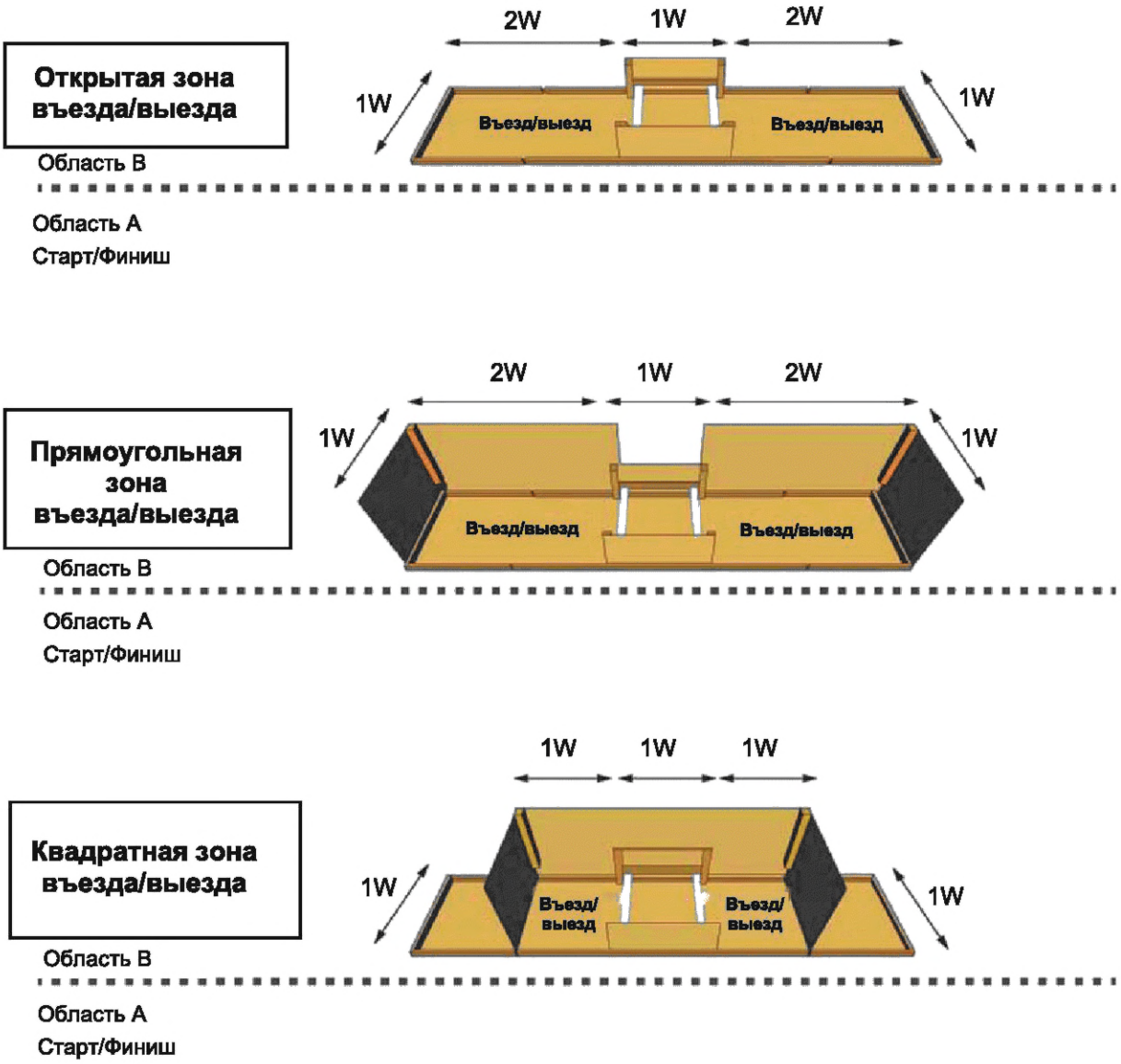


Рисунок 4 — Испытательный стенд с указанными размерами и обозначенными зонами въезда/выезда для открытой, закрытой прямоугольной и закрытой квадратной конфигурации

6.2 На испытательном стенде оборудованы две зоны въезда/выезда, симметрично расположенные относительно барьера. Установлены три конфигурации испытательного стенда: открытая, закрытая прямоугольная и закрытая квадратная (см. рисунок 3). Выбор конфигурации стенда должен соответствовать предполагаемой среде применения робота по назначению. В открытой конфигурации в зонах въезда/выезда не устанавливают ограничивающие стены, что обеспечивает беспрепятственное перемещение робота по стенду. Зоны въезда/выезда в закрытой прямоугольной конфигурации имеют размеры 2W × 1W и ограждены стенами, превышающими высоту робота, для ограничения движений робота. Зоны въезда/выезда в закрытой квадратной конфигурации имеют размеры 1W × 1W и также ограждены стенами, превышающими высоту робота, что еще больше затрудняет движения робота. Результаты испытаний, полученные на одной конфигурации испытательного стенда несопоставимы с результатами, полученными на других конфигурациях.

6.3 «Поддоны и трубы» — препятствие в виде барьеров разной высоты создают из нескольких поддонов, изготовленных из ОСП или аналогичного мерного пиломатериала, и труб, расположенных по обеим сторонам препятствия. Толщина поддонов и наружный диаметр труб зависят от масштаба

стенда (см. таблицу 1). Поддоны изготавливают так, чтобы они помещались между ограждениями настила. Ширина и длина барьера равны 1W, а общую высоту (H) препятствия регулируют с помощью вертикального штабелирования нескольких поддонов и труб (см. рисунки 1 и 5).

Таблица 1 — Толщина поддонов и диаметр труб для разных масштабов испытательного стенда

Ширина испытательного стенда W, см	Номинальная толщина поддона из мерного пиломатериала, см	Номинальный наружный диаметр труб, см	Допуск на высоту штабеля труб P, мм
120	10	10	H ± 12
60	5	5	H ± 6
30	2,5	2,5	H ± 3

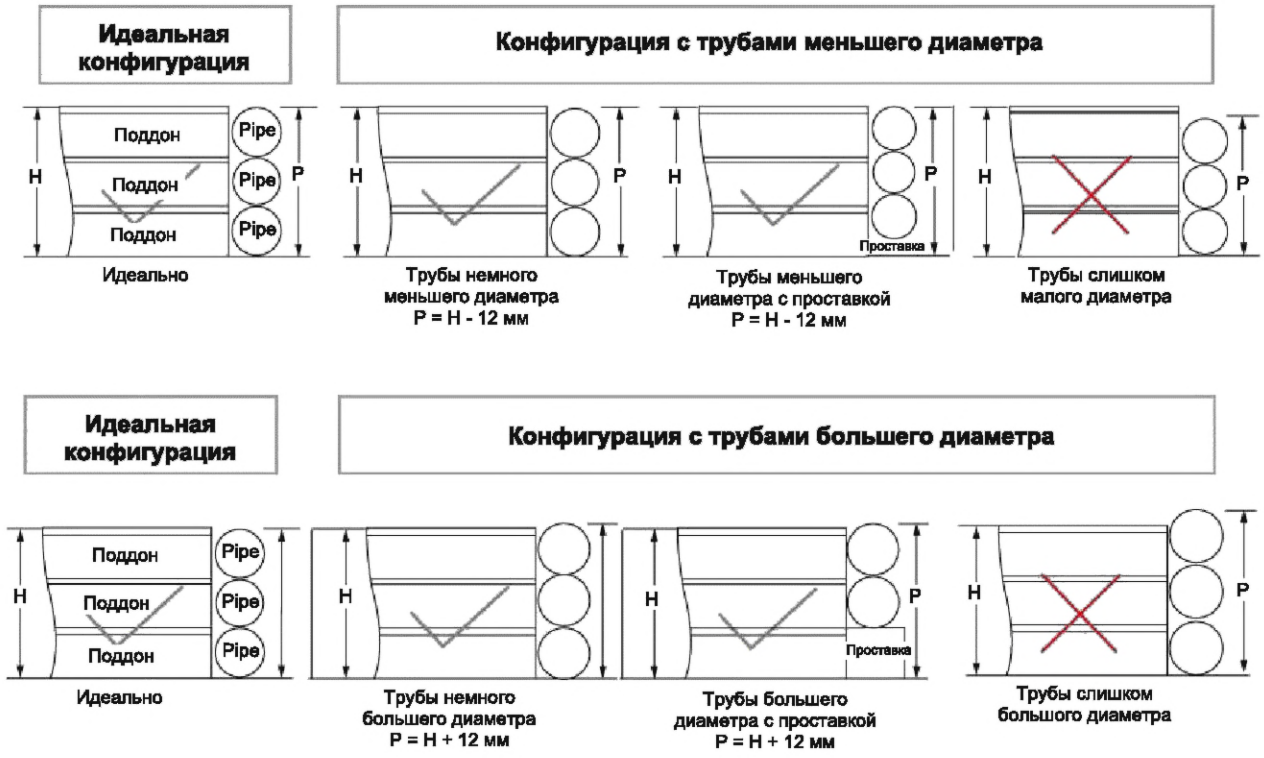


Рисунок 5 (a) — Конфигурация штабеля из труб

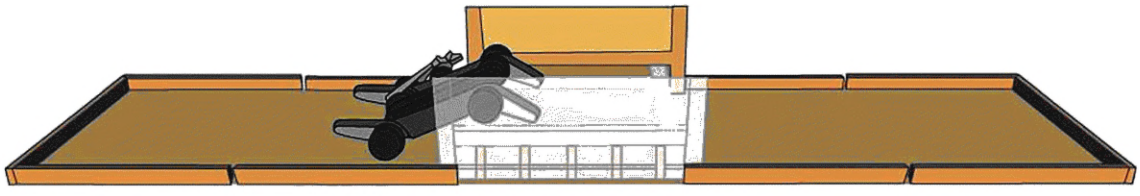


Рисунок 5 (b) — Препятствие в виде барьера, построенного из двух поддонов

6.4 «Настил» — настил изготавливают из ОСП или аналогичного материала с расположенными вокруг ограждениями из мерного пиломатериала. Каждый настил должен иметь размеры 2W × 1W. Посередине ограждений длиной 2W необходимо сделать прорези, позволяющие вставить в них стену для закрытой квадратной конфигурации испытательного стенда (см. рисунок 6).

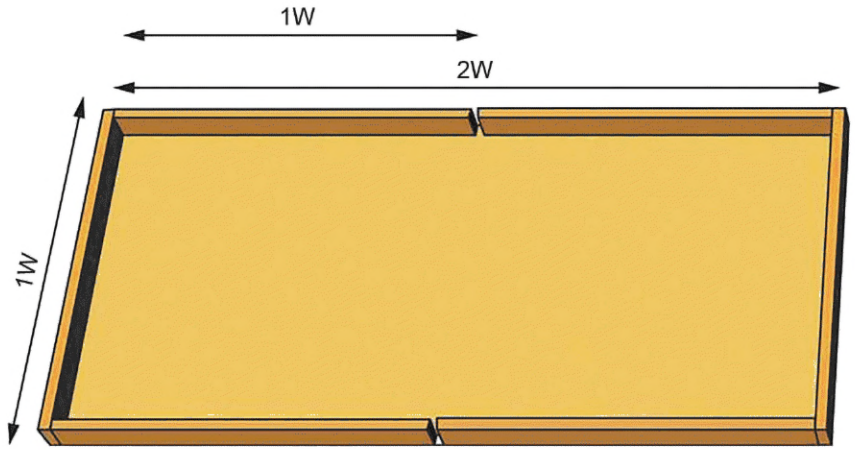


Рисунок 6 — Настил

6.5 «Стены, ограничивающие движения робота» — стены устанавливают для формирования закрытых прямоугольной и квадратной конфигураций испытательного стенда. Стены создают физические и визуальные ориентиры для удаленно расположенного оператора, управляющего роботом при преодолении препятствия в виде барьеров разной высоты (см. рисунок 7). Стены допускается изготавливать из любого твердого материала, при этом по высоте они должны быть выше самой верхней точки робота на протяжении всего испытания. Таким образом, все части робота всегда будут находиться в пределах пространства, ограниченного стенами. Стены должны быть прочными и легко ремонтироваться или заменяться.

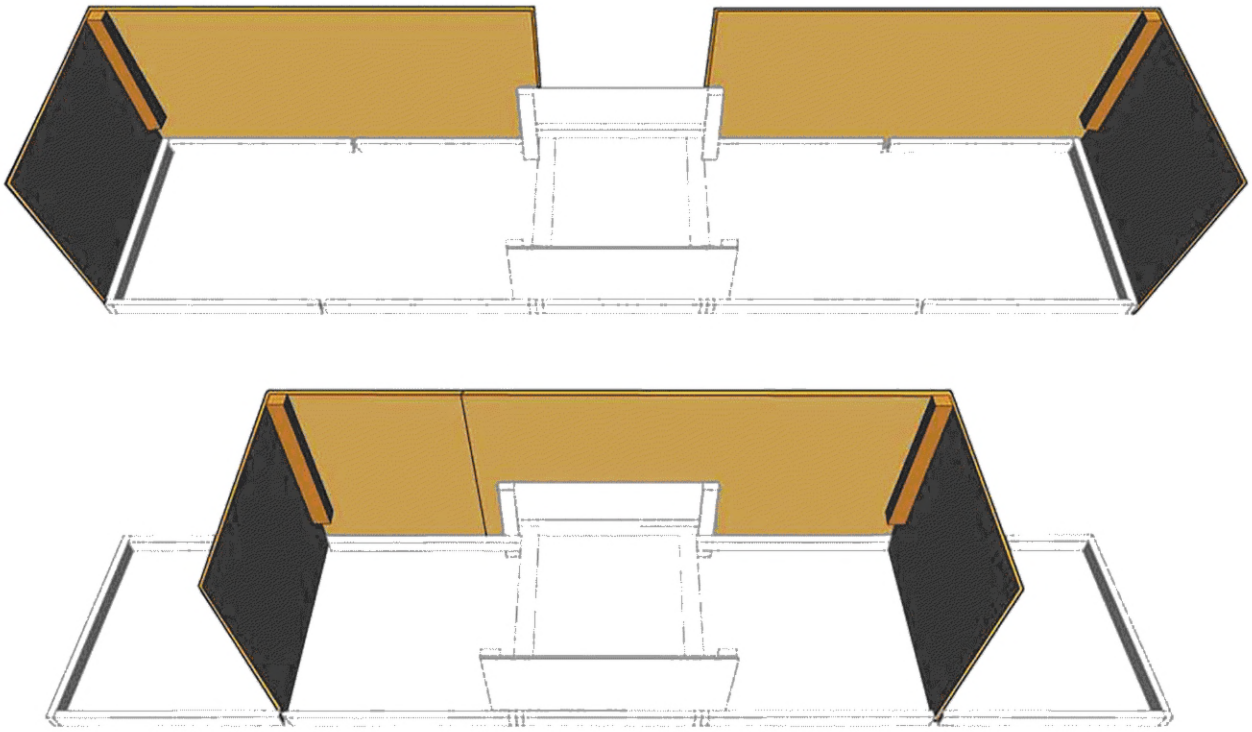


Рисунок 7 — Стены в закрытой прямоугольной (вверху) и закрытой квадратной (внизу) конфигурации испытательного стенда

6.6 «Размещение испытательного стенда» — испытательный стенд для данного метода испытаний допускается оборудовать в помещении, на открытом воздухе (например, на автомобильной

парковке) или внутри транспортного контейнера. Необходимо отметить, что для стенда с параметром W = 120 см и более внутри транспортного контейнера можно разместить только закрытую прямоугольную и закрытую квадратную конфигурацию испытательного стенда. Для W < 120 см все конфигурации испытательного стенда могут быть размещены внутри транспортного контейнера.

6.7 «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 (стандартная освещенность в общественных помещениях составляет примерно от 100 до 500 лк), а темной считается среда с освещенностью < 0,1 лк (освещенность в лунную ночь при ясной погоде составляет примерно 0,01 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 испытательного 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 (например, если оператор перемещает манипулятор, установленный на роботе, после пяти попыток выполнения задания, потому что он мешает движению робота, то это следует считать новой конфигурацией робота, а испытание признать 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 Более подробная информация о конфигурации роботов содержится в *ГОСТ Р 60.6.3.25*.

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

8.3.1 Выбирают масштаб оборудования с минимальной шириной прохода W, соответствующей предполагаемой среде применения робота по назначению (см. рисунок 3).

8.3.2 Выбирают открытую, закрытую прямоугольную или закрытую квадратную конфигурацию испытательного стенда (см. рисунок 1).

8.3.3 Выбирают уровень сложности оборудования (т. е. высоту барьера) в соответствии с возможностями робота и/или эксплуатационными требованиями.

8.3.4 Проверяют готовность испытательного стенда к проведению испытаний, включая размещение препятствия, установку ограничивающих стен и т. д.

8.3.5 Обеспечивают заданные условия окружающей среды (при необходимости), включая уровень освещенности, температуру и т. д.

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

8.3.7 Устанавливают на хронографе намеченную длительность проведения испытания в минутах или сбрасывают показания секундомера.

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

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

8.4.2 Проверяют, что оператор знает, в каком режиме должен двигаться робот — в произвольном или передним/задним ходом.

8.4.3 Проверяют, что оператор знает последовательность действий робота в каждой попытке, изложенную ниже.

8.4.3.1 Начало движения в области А испытательного стенда.

8.4.3.2 Перемещение в область В.

8.4.3.3 Преодоление препятствие в виде барьера для перемещения в область В на противоположном конце испытательного стенда.

8.4.3.4 Возвращение обратно в область А на противоположном конце испытательного стенда.

8.4.3.5 Попытка считается успешной, если робот возвращается в область А (см. 8.4.3.4), не совершив ошибок (см. рисунок 1).

8.4.4 Проверяют, что оператор понимает, что как только робот полностью оказывается в области А испытательного стенда, он должен начать движение обратно в область В для выполнения следующей попытки в противоположном направлении.

8.4.5 Проверяют, что оператор знает последовательность действий в случае ошибки робота или приостановки испытаний по другой причине (см. 8.6 и 8.7).

8.4.6 При необходимости позволяют оператору потренироваться на испытательном стенде, наблюдая за роботом непосредственно или дистанционно, чтобы убедиться, что он полностью знаком с порядком проведения испытаний до их начала.

8.4.7 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.

8.5 «Проведение испытаний» — после того, как испытательный стенд будет подготовлен и оператор готов к проведению испытаний, выполняют перечисленные далее действия.

8.5.1 Регистрируют конфигурацию испытательного стенда, масштаб, высоту барьера и режим движения робота в ходе испытаний.

8.5.2 Начинают движение робота в области А в назначенной начальной точке.

8.5.3 Запускают хронограф, как только любая часть робота пересечет границу области В.

8.5.4 Регистрируют успешную попытку, когда корпус робота полностью окажется в области А на противоположном конце испытательного стенда после преодоления барьера без ошибок.

8.5.5 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 в исходное состояние (см. 8.6).

8.5.6 Повторяют действия по 8.5.2—8.5.5 до завершения заданного числа попыток.

8.5.7 Регистрируют число успешных попыток, число неудачных попыток и затраченное время.

8.5.8 Рассчитывают показатели завершенности, надежности и эффективности (см. раздел 9).

8.6 «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 далее действия:

8.6.1 Останавливают хронограф.

8.6.2 Фиксируют время, место, ориентацию движения робота (если используется режим прямого/заднего хода) и краткое описание инцидента.

8.6.3 Регистрируют данную попытку как неудачную.

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

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

8.6.6 Дают команду оператору вернуть робота в область А.

8.6.7 Перезапускают хронограф, когда робот полностью окажется в области А испытательного стенда и начнет выполнять очередную попытку.

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

8.7 «Остановка испытаний» — если требуется остановить испытания по какой-либо причине, кроме ошибки робота, то выполняют перечисленные далее действия:

8.7.1 Останавливают хронограф.

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

8.7.3 Если возникла неисправность оборудования испытательного стенда, то производят необходимый ремонт.

8.7.4 Перезапускают хронограф, когда робот будет готов продолжить выполнение попытки.

8.7.5 Продолжают движение робота по маршруту.

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

8.8 «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 произведено 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 для каждой высоты барьера. 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 числа 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 ниже 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.

9.4 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 неудачных 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.

9.5 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

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, полученные на открытой, закрытой прямоугольной и закрытой квадратной конфигурациях испытательного стенда, 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 показан на рисунке 8, рекомендуется указывать перечисленную ниже информацию.

Протокол испытаний
Проходимость. Преодоление барьеров
(по ГОСТ Р 60.6.3.3)

Дата:		Изготовитель робота:	
Место:		Модель робота:	
Адрес:		Конфигурация робота:	
Руководитель:		Оператор/организация:	

Испытательный стенд	Внешняя среда	Тип ошибки	Длительность
☑ *W = 0,3 м* ☑ W = 0,6 м ☑ W = 1,2 м ☑ Открытая ☑ Закрытая прямоугольная ☑ Закрытая квадратная __ Высота барьера __ Наклон	☑ Освещенная (> 150 лк) ☑ Темная (< 0,1 лк) – Температура (°С) – Влажность (%) **Режим движения** ☑ Произвольный ☑ Передним/задним ходом	– 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; Х 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:

Рисунок 8 — Пример протокола испытаний

10.1 Наименование метода испытаний: *«Проходимость. Преодоление барьеров».*
10.2 Обозначение настоящего стандарта: *ГОСТ Р 60.6.3.3.*
10.3 Дата проведения испытаний.

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

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

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

10.7 Изготовитель робота.

10.8 Модель робота.

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

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

10.11 Параметры испытательного стенда:

10.11.1 Масштаб испытательного стенда (минимальная ширина прохода).

10.11.2 Конфигурация испытательного стенда (открытая, закрытая прямоугольная, закрытая квадратная).

10.11.3 Наклон испытательного стенда.

10.11.4 Высота барьера.

10.12 Режим движения:

10.12.1 Произвольный или

10.12.2 Прямым/задним ходом.

10.13 Условия окружающей среды:

10.13.1 Уровень освещенности.

10.13.2 Температура.

10.13.3 Влажность.

10.13.4 Другие условия, если требуется.

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

10.15 Затраченное время (общая продолжительность испытаний).

10.16 Тип ошибки:

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

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

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

10.17 Результаты:

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

10.17.2 Видеозапись, полученная после завершения испытаний.

10.17.3 «Оценка завершенности» — общее число успешных попыток.

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

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

10.18 Число выполненных попыток.

10.19 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 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 соответствующего стандарта
ГОСТ Р 60.6.3.1—2019	MOD	ASTM E2521 «Стандартная терминология для оценки возможностей роботов для работы в экстремальных условиях»
ГОСТ Р 60.6.3.25—2023	MOD	ASTM E2592 «Общепринятая практика по оценке возможностей роботов для работы в экстремальных условиях. Логистика. Упаковка оперативного запаса оборудования городских поисково-спасательных подразделений»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - MOD — модифицированные стандарты.		

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, преодоление барьеров, порядок проведения испытаний, испытательное оборудование, порядок проведения испытаний

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

Сдано в набор 04.09.2023. Подписано в печать 12.09.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,40.

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