ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 60.6.3.27— 2023

Роботы и робототехнические устройства

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СЕРВИСНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Проходимость. Движение по параллельным направляющим

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 15 сентября 2023 г. № 863-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ Е3310/Е3310М-22 «Стандартный метод испытаний для оценки возможностей наземного робота и навыков удаленного оператора. Маневрирование. Поддержание контакта с поверхностью при движении по параллельным направляющим» (ASTM E3310/E3310M-22 «Standard test method for evaluating ground robot capabilities and remote operator proficiency: Maneuvering: Align ground contacts with parallel rails», 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 ДБ

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном 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 Применение метода испытаний 5
6 Требования к оборудованию испытательного стенда 6
7 Требования безопасности 11
8 Порядок проведения испытаний 12
9 Оценка и интерпретация результатов 14
10 Требования к отчетности 15
11 Погрешность метода испытаний 16
Приложение ДА (рекомендуемое) Форма протокола испытаний 17
Приложение ДБ (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. Их целью является повышение интероперабельности роботов и их компонентов, а также снижение затрат на их разработку, производство и обслуживание за счет стандартизации и унификации процессов, интерфейсов, узлов и параметров.

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

Настоящий стандарт относится к тематической группе «Виды и методы испытаний» и распространяется на сервисные мобильные роботы, предназначенные для работы в экстремальных условиях. Настоящий стандарт определяет методы и способы испытаний проходимости роботов при движении по параллельным направляющим в ограниченном пространстве.

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к стандарту АСТМ E3310/3310M-22, разработанному техническим комитетом E54 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 приведения его в соответствие с требованиями основополагающих национальных и межгосударственных стандартов. Область применения настоящего стандарта ограничена в отличии от примененного АСТМ E3310/3310M—22 для роботов, используемых в экстремальных условиях.

В настоящий стандарт внесены следующие технические отклонения по отношению к стандарту АСТМ E3310/3310M-22:

- не включены 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), используемой в российской национальной стандартизации в соответствии с требованиями ГОСТ 8.417, 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, соответственно нумерация пункта 1.6 примененного стандарта изменена на 1.5;
- пункт 1.7 примененного стандарта не включен в настоящий стандарт, так как его содержание приведено во введении;
- раздел 1 «Область применения» приведен в соответствие с требованиями ГОСТ 1.5;
- 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, ГОСТ 1.3, ГОСТ Р 1.5 и ГОСТ 1.5 включен раздел 3 «Термины и определения» вместо использованного в примененном стандарте раздела 3 «Терминология»;
- пояснения к терминологическим статьям в настоящем стандарте оформлены как примечания в соответствии с ГОСТ 1.5 вместо использованных в примененном стандарте подпунктов «Обсуждение»;
- определения терминов приведены в соответствии с действующими национальными стандартами;
- терминологические статьи расположены в алфавитном порядке русского языка и оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5;
- рисунок 1(А) примененного стандарта не включен в настоящий стандарт, так как на него нет ссылок в тексте примененного стандарта и его содержание дублируется на других рисунках;

- для обеспечения более четкого структурирования основных положений стандарта и обеспечения соответствия требованиям ГОСТ 1.5, исключена часть содержания пункта 6.1 примененного стандарта (размеры ширины прохода на испытательном стенде), содержащая одинаковые положения с пунктом 3.7;

- рисунок 8 примененного стандарта, содержащий рекомендуемую форму протокола испытаний, вынесен в дополнительное приложение ДА, чтобы у разработчиков технической документации роботов была возможность ссылаться в конструкторских документах на данное приложение в соответствии с ГОСТ Р 2.105—2019 (пункт 6.11.2);

- ключевые слова приведены в библиографических данных в соответствии с ГОСТ 1.5 вместо раздела 12 «Ключевые слова» в примененном стандарте.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Роботы и робототехнические устройства

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СЕРВИСНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Проходимость. Движение по параллельным направляющим

Robots and robotic devices. Test methods for service mobile robots for work in extreme conditions. Maneuvering. Movement along parallel rails

Дата введения — 2024—01—01

1 Область применения

1.1 Требования настоящего стандарта распространяются на дистанционно управляемых наземных мобильных роботов, работающих в сложных, неструктурированных и часто опасных условиях, и устанавливает метод испытаний, определяет испытательное оборудование, порядок проведения испытаний и показатели для количественной оценки возможностей робота при движении по параллельным направляющим в ограниченном пространстве. 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 должны быть включены бортовая камера на роботе и дисплей у оператора. Данный метод испытаний применяют для оценки дистанционно управляемых или автономных действий робота, 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 требований выполняемой роботом задачи.

1.4 Испытания согласно данному методу могут быть проведены 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 60.6.3.25 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 ссылочного стандарта 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 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 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 **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 **параллельные направляющие** (parallel rails): Два цельных куска размерных пиломатериалов, расположенные параллельно друг другу с возможностью изменять расстояние между ними.

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

3.8

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]

3.9

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]*

3.10

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]

3.11

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

[ГОСТ Р 60.6.3.1—2019, статья 2.34]

3.12

(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]

3.13 **ширина прохода на испытательном стенде *W*** (apparatus clearance width; *W*): Размерный параметр испытательного стенда, выбираемый в зависимости от намеченных условий использования робота по назначению.

4 Краткое описание метода испытаний

4.1 Испытания согласно данному методу должен выполнять оператор в режиме телеуправления из указанного руководителем испытаний рабочего места с помощью операторского пульта управления. Рабочее место оператора должно быть расположено и оборудовано так, чтобы изолировать оператора от прямого визуального и звукового контакта с испытательным оборудованием и роботом. Робот должен пересечь испытательный стенд, двигаясь по параллельным направляющим, расположенными между ограничительными стенами или без них (см. рисунок 1). Расстояние между двумя параллельными направляющими устанавливают в зависимости от площади контакта робота с поверхностью перемещения. В рамках данного метода испытаний робот должен перемещаться согласно командам управления, обеспечивать эффективный угол обзора камеры, выполнять команды управления с помощью изменяемой формы шасси и узлов сочленения, а также передавать оператору дистанционного управления информацию об окружающей ситуации.

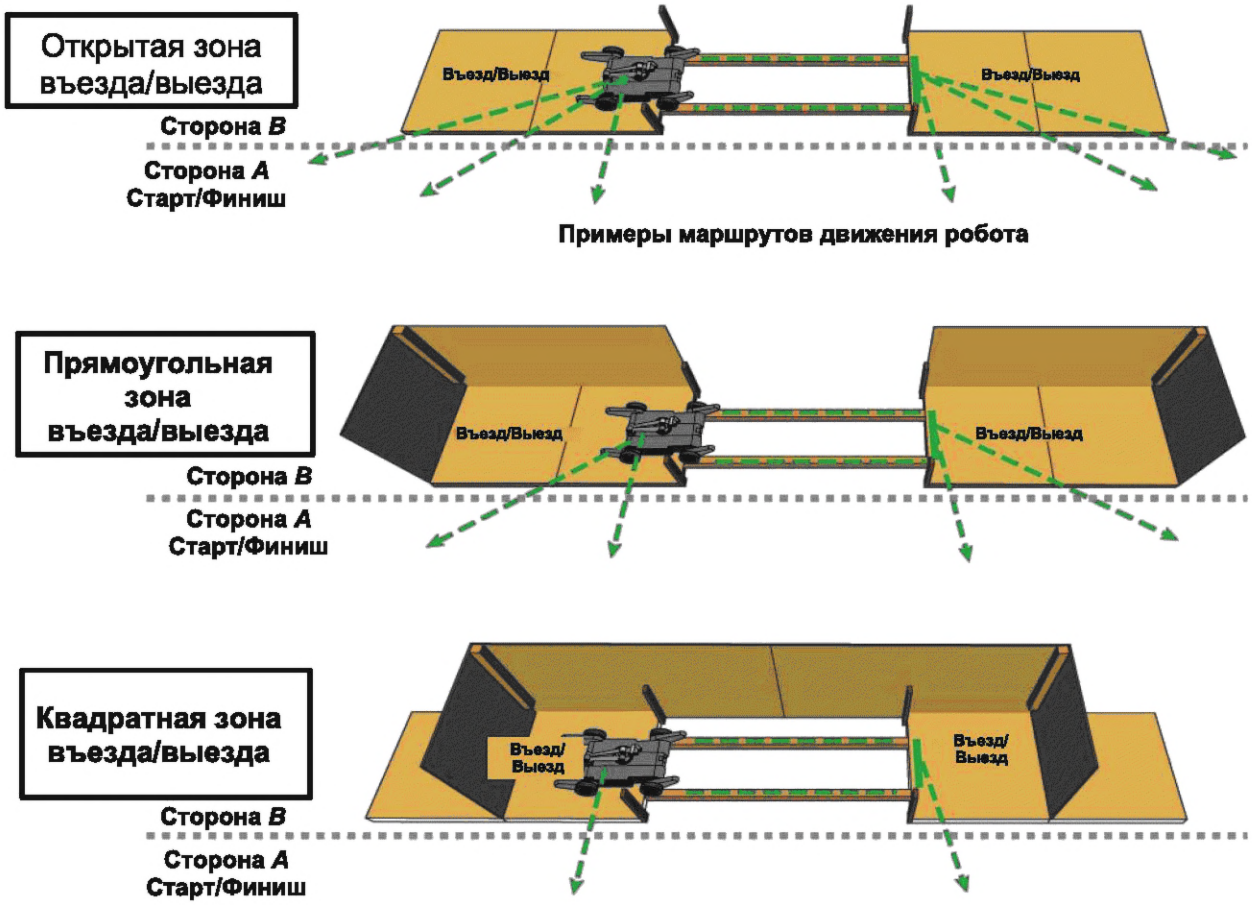


Рисунок 1 — Испытательный стенд с открытой, прямоугольной и квадратной зонами въезда/выезда и примерами маршрутов движения робота

4.2 Робот должен двигаться по маршрутам, показанным на рисунке 1. Робот начинает движение со стороны *A* испытательного стенда, переезжает на сторону *B* в зону ближайшего въезда и движется по параллельным направляющим, не соприкасаясь с поверхностью земли, к зоне выезда на противоположном конце испытательного стенда, а затем переезжает на сторону *A* для завершения данной попытки. Затем робот начинает следующую попытку, переезжает обратно на сторону *B* и продолжает движение по испытательному стенду в противоположном направлении.

4.3 Робот должен двигаться по маршруту, используя одну из двух ориентаций, характерных для его обычной эксплуатации: произвольную ориентацию или движение передним/задним ходом. Произвольная ориентация позволяет роботу двигаться любым выбранным оператором способом на протяжении всего испытания. Движение передним/задним ходом требует, чтобы робот при выполнении каждой попытки попеременно двигался передним или задним ходом. Поскольку при выполнении каждой последующей попытки направление движения по испытательному стенду меняется на противоположное, робот не должен разворачиваться между окончанием одной попытки и началом следующей. При этом полученные данные по двум направлениям движения несопоставимы между собой.

4.4 Существуют три конфигурации испытательного стенда: открытая, ограниченная прямоугольная и ограниченная квадратная. В открытой конфигурации стены вокруг зон въезда и выезда не устанавливают. Открытая конфигурация моделирует работу робота в среде, в которой препятствия отсутствуют. В ограниченных прямоугольной и квадратной конфигурациях устанавливают стены вокруг зон въезда/выезда. Стены ограничивают маршрут движения робота по испытательному стенду и моделируют работу робота в ограниченном пространстве. В ограниченной квадратной конфигурации доступная для маневрирования робота площадь составляет половину площади ограниченной прямоугольной конфигурации.

4.5 В данном методе испытаний установлены следующие виды возможных ошибок выполнения задания, вызывающих прекращение выполнения данной попытки.

4.5.1 Любой контакт робота с поверхностью земли в области параллельных направляющих.

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

4.5.3 Любое визуальное, звуковое или физическое взаимодействие, которое помогает роботу или удаленному оператору.

4.6 В ходе испытаний должно быть выполнено достаточное число успешных попыток, чтобы подтвердить надежность робота или навыки удаленного оператора на нужном уровне статистической значимости (см. раздел 9). Испытание из 10—30 попыток должно занять от 10 до 30 мин. При оценке возможностей испытуемого робота важно выделить достаточно времени для выполнения надлежащего числа попыток опытным оператором. При оценке квалификации оператора важно ограничить время испытания, чтобы опытным операторам его хватало для выполнения статистически значимого числа попыток, а операторы-новички не попадали в ситуацию повышенного стресса и утомляемости. При оценке результатов испытаний необходимо учитывать три показателя, которые следует рассматривать в следующем порядке важности: оценка завершенности, статистическая надежность выполнения задания и эффективность. Результаты испытаний в открытой, ограниченной прямоугольной и ограниченной квадратной конфигурации испытательного стенда несопоставимы между собой в силу существенных различий в условиях проведения испытаний.

5 Применение метода испытаний

5.1 Данный метод испытаний является частью комплекса связанных методов испытаний, обеспечивающих воспроизводимые измерения проходимости робототехнического комплекса и профессионализма удаленного оператора. Данный метод испытаний позволяет оценить проходимость робототехнического комплекса, способность оператора управлять роботом, эффективность расположения камеры на роботе, вариабельность формы шасси (если применимо) и ситуационную осведомленность удаленного оператора. Перемещение робота по параллельным направляющим может использоваться для моделирования ситуаций, когда робот должен избегать опасностей, вызванных препятствиями на его маршруте (например, развалинами, грязью), что предъявляет повышенные требования к ситуационной осведомленности удаленного оператора.

5.2 Размеры испытательного стенда изменяют, чтобы смоделировать разные ограничения, характерные для типичной среды использования робота по назначению. Например, три предусмотренные конфигурации испытательного стенда могут моделировать условия присутствия определенных сложностей для перемещения в среде без препятствий (открытая конфигурация), для перемещения по территории открытых парковок с наличием промежутков между автомобилями (ограниченная прямоугольная конфигурация), или для перемещения в проходах в салонах автобусов, поездов или самолетов, либо в жилых помещениях с коридорами и дверными проемами (ограниченная 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 обеспечивает оценку основных возможностей роботов в контролируемых условиях окружающей среды. Движение по параллельным направляющим 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 может быть использован 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 может быть использован 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 со средними показателями по стране.

5.7 Инновации

Данный метод испытаний может быть использован 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 последовательная реализация 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 включает настилы, стены (только для ограниченных прямоугольной и квадратной конфигураций), поддоны и параллельные направляющие (см. рисунок 2). Основным размерным параметром испытательного стенда, который следует учитывать, является ширина прохода на испытательном стенде *W* для робота; рекомендуется установить следующие значения для этого параметра: 240 см с допуском ±2,5 см; 120 см с допуском ±2,5 см; 60 см с допуском ±1,3 см; или 30 см с допуском ±1,3 см. Размер, выбранный для параметра *W*, должен быть репрезентативным для предполагаемой среды использования робота по назначению, или же при его выборе следует исходить из размеров робота; можно также использовать оба критерия (то есть робот должен иметь возможность маневрировать на испытательном стенде с выбранными размерами). Все размеры испытательного стенда масштабируют пропорционально *W* (см. рисунки 3 и 4).

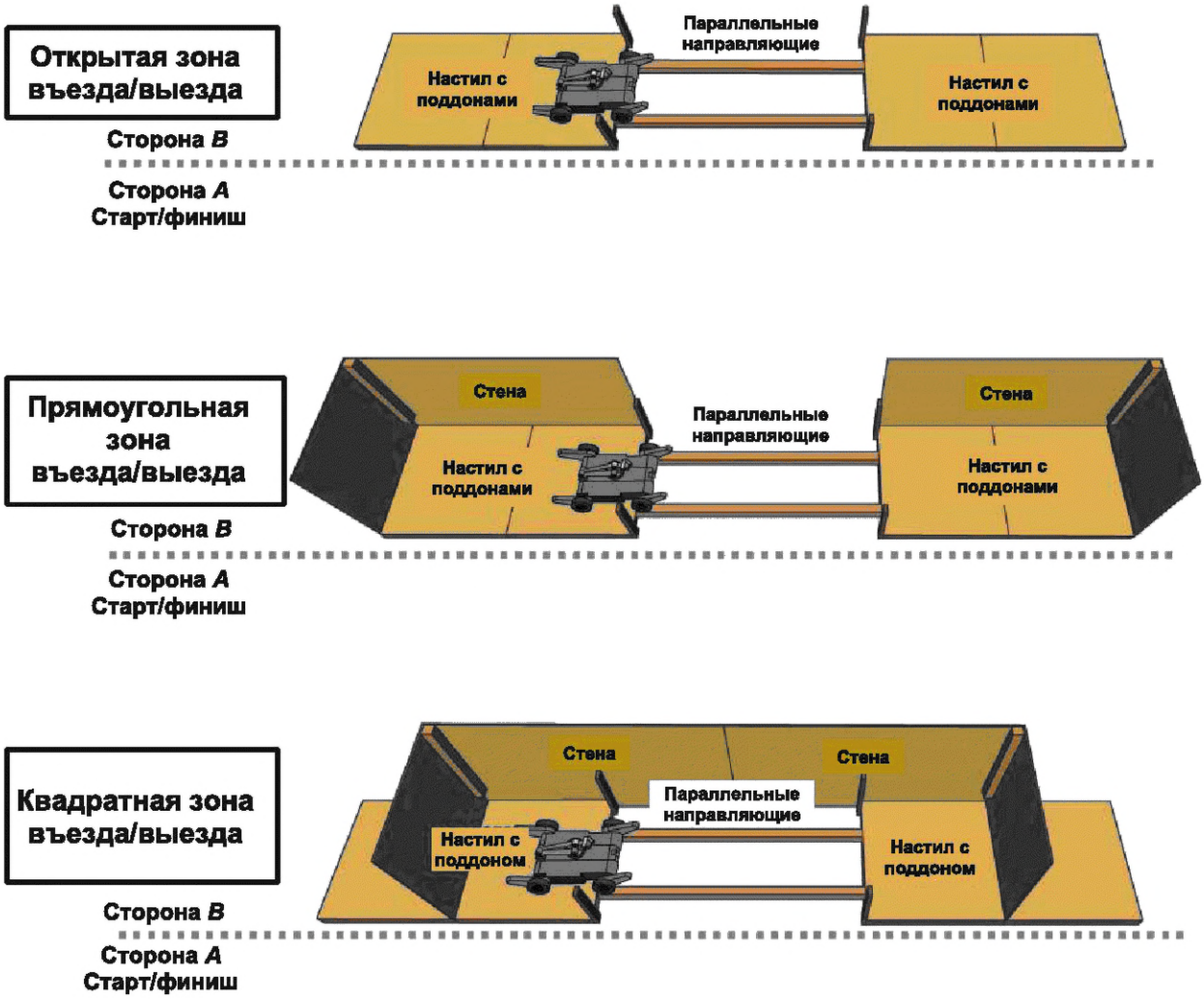


Рисунок 2 — Вид испытательного стенда с помеченными компонентами

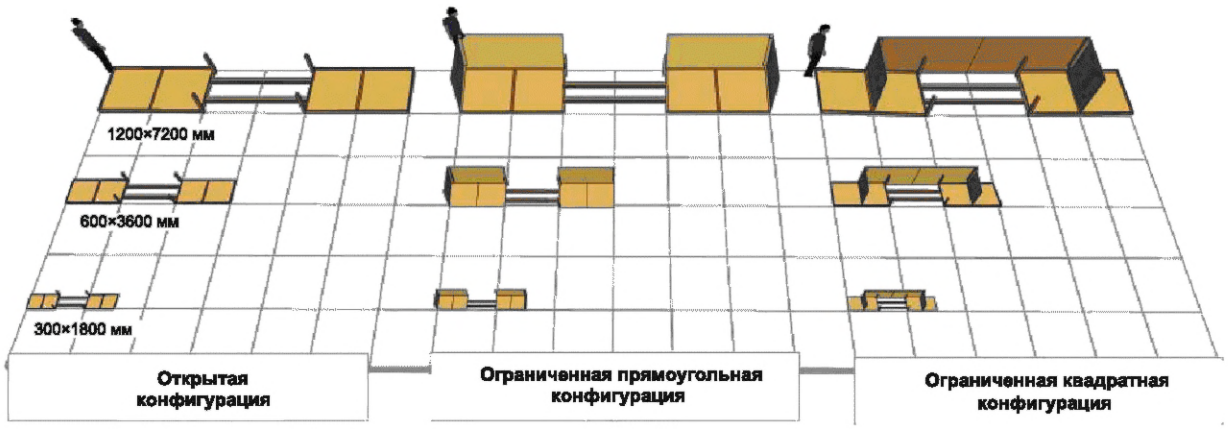


Рисунок 3 — Испытательное оборудование является масштабируемым для моделирования разной внешней среды

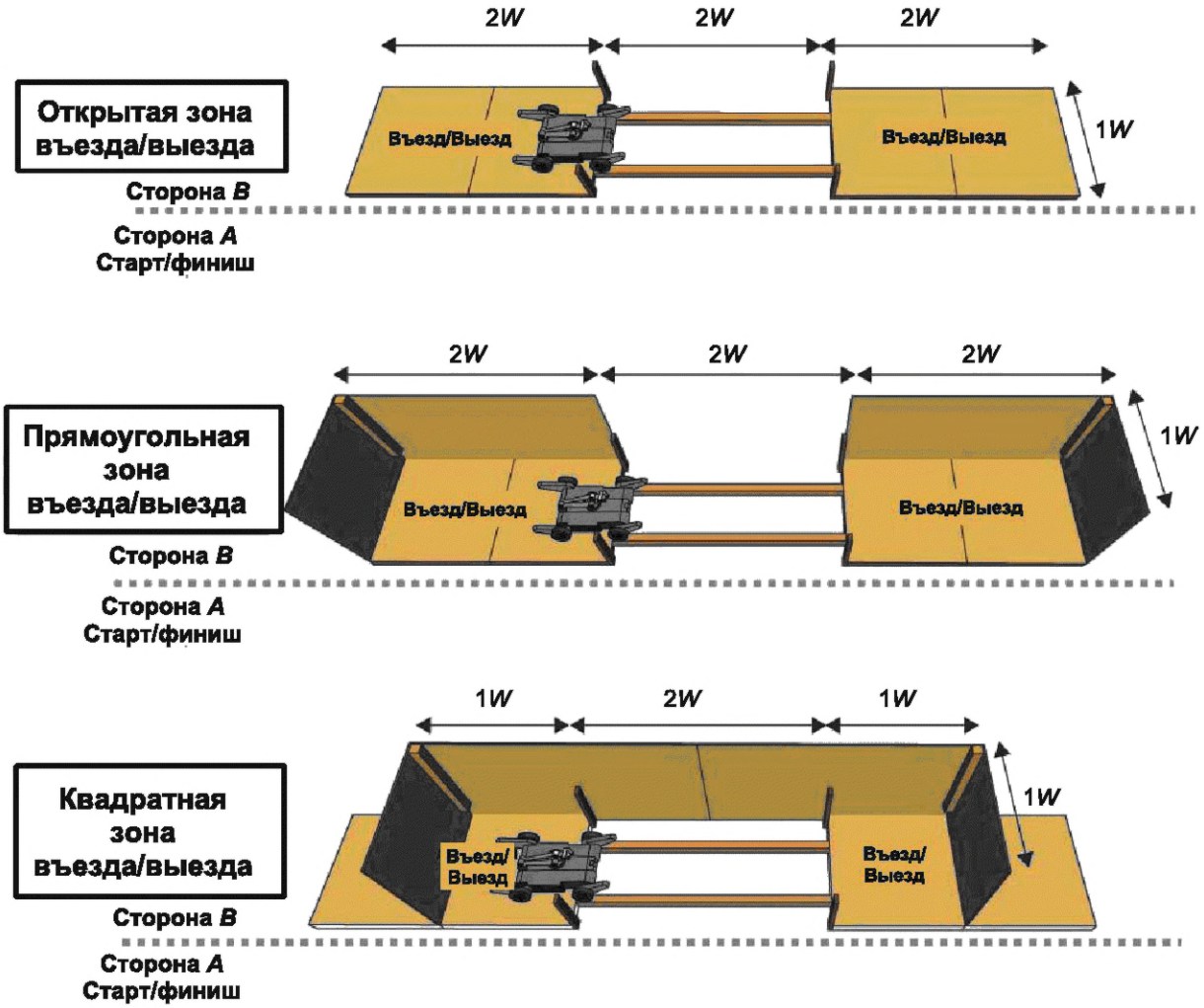


Рисунок 4 — Вид испытательного стенда с указанием размеров и обозначенными зонами въезда/выезда для открытой, ограниченной прямоугольной и ограниченной квадратной конфигураций

6.2 Испытательный стенд должен состоять из двух симметричных зон въезда/выезда, расположенных по обеим сторонам от параллельных направляющих. Предусмотрено три конфигурации испытательного стенда: открытая, ограниченная прямоугольная и ограниченная квадратная (см. рисунок 3). Конфигурацию испытательного стенда выбирают исходя из условий предполагаемой среды использования робота по назначению. В открытой конфигурации стены в зонах въезда/выезда с обеих сторон от параллельных направляющих не устанавливают, что обеспечивает беспрепятственное движение робота. В ограниченной прямоугольной конфигурации зоны въезда/выезда имеют размеры $2W \times 1W$ и ограничены стенами, которые препятствуют движению робота. Зоны въезда/выезда в ограниченной квадратной конфигурации имеют размеры $1W \times 1W$ и также оборудованы стенами, которые препятствуют движению робота. Высота стен должна превышать высоту робота. Данные, полученные в каждой из трех конфигураций испытательного стенда, несопоставимы с данными, полученными в других конфигурациях.

6.3 Параллельные направляющие

Параллельные направляющие представляют собой два деревянных бруса, уложенных на полу стенда параллельно друг другу с возможностью изменения расстояния между ними и выравненных по высоте с боковыми сторонами двух поддонов, расположенных на настиле с двух сторон испытательного стенда. Длина параллельных направляющих должна быть равна $2W$ (см. рисунок 5). За расстояние между параллельными направляющими D принимают расстояние между их осевыми линиями. Размер D устанавливают равным общей ширине контактов робота с поверхностью перемещения, то

есть расстоянию между крайними точками контакта системы передвижения робота (например, колес, гусениц, ног) с поверхностью перемещения во время движения (см. рисунок 5). Высоту и ширину параллельных направляющих *H* задают относительно размеров испытательного стенда (см. таблицу 1).

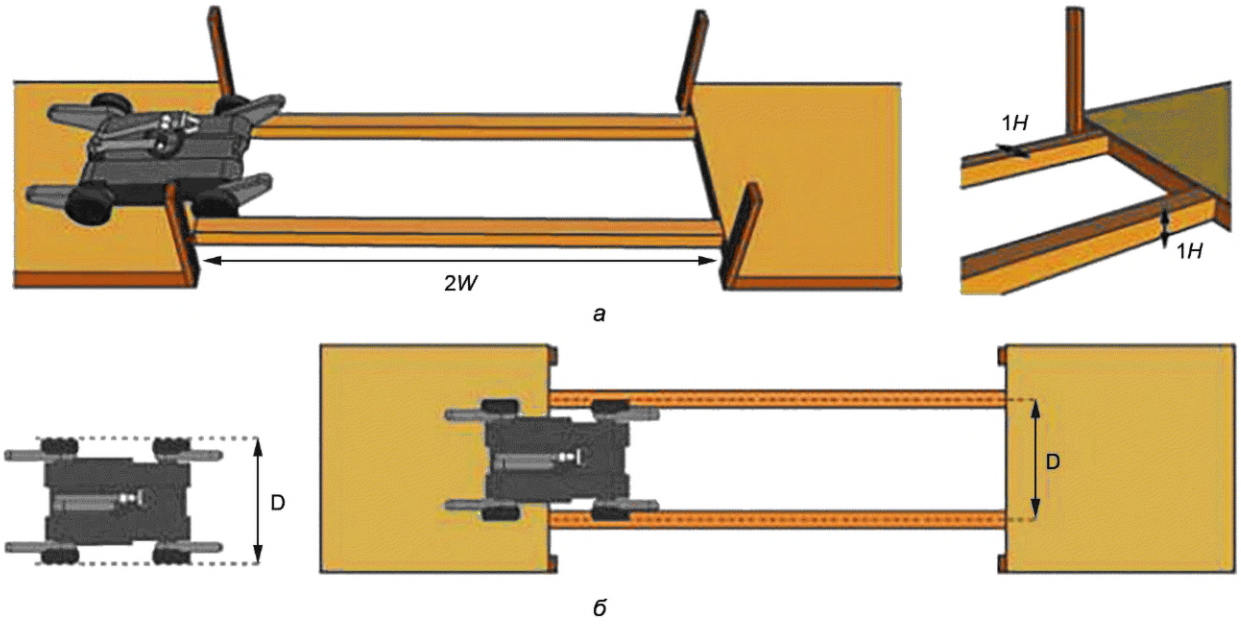


Рисунок 5 — Вид испытательного стенда с обозначением размеров параллельных направляющих (*а*) и расстояния между ними (*б*)

Таблица 1 — Размеры параллельных направляющих

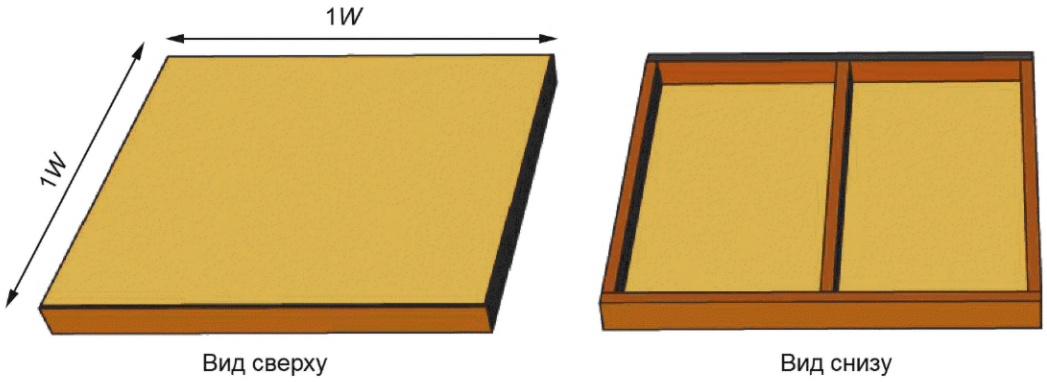
Ширина прохода *W*, см	Номинальная высота и ширина параллельных направляющих *H*, см
120	10
60	5
30	2,5

6.4 Поддон

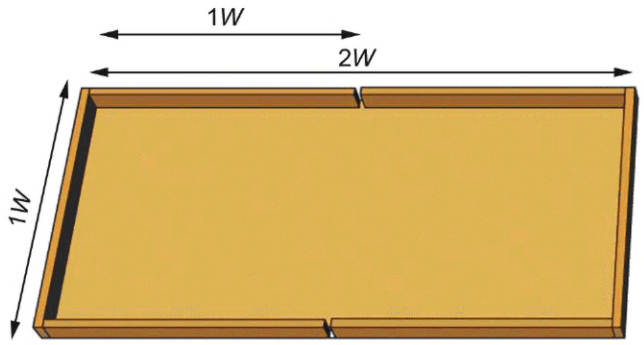
Поддоны изготавливают из размерных пиломатериалов и ОСП или аналогичного материала на верхней поверхности так, чтобы они помещались между ограждениями настила. Каждый поддон должен иметь размеры 1*W* × 1*W*, а его высота должна быть равной 1*H*, чтобы соответствовать высоте параллельных направляющих (см. рисунок 6). В испытательном стенде для ограниченной квадратной конфигурации используют два поддона, по одному в каждой зоне въезда/выезда. Для ограниченной прямоугольной и открытой конфигурации используют четыре поддона, по два в каждой зоне въезда/выезда.

6.5 Настил

Поверхность настила изготавливают из ОСП или аналогичного материала, а ограждения представляют собой деревянные брусья, установленные вдоль границ настила. Каждый настил должен иметь размеры 2*W* × 1*W*. Посередине длинной стороны настила в ограждении делают зазор для установки ограничивающей стены (см. рисунок 6).



а) Поддон



б) Настил

Рисунок 6 — Поддон и настил

6.6 Стены, ограничивающие движения робота

Стены, используемые в ограниченной прямоугольной и ограниченной квадратной конфигурациях, обеспечивают физический и визуальный ориентиры для оператора, дистанционно управляющего роботом при движении по параллельным направляющим (см. рисунок 7). Стены могут быть изготовлены из любого твердого материала, а по высоте они должны быть выше самой высокой точки робота на протяжении всего испытания. Таким образом, все части робота будут гарантированно оставаться внутри области, ограниченной стенами. Стены должны быть прочными, их должно быть легко ремонтировать и заменять.

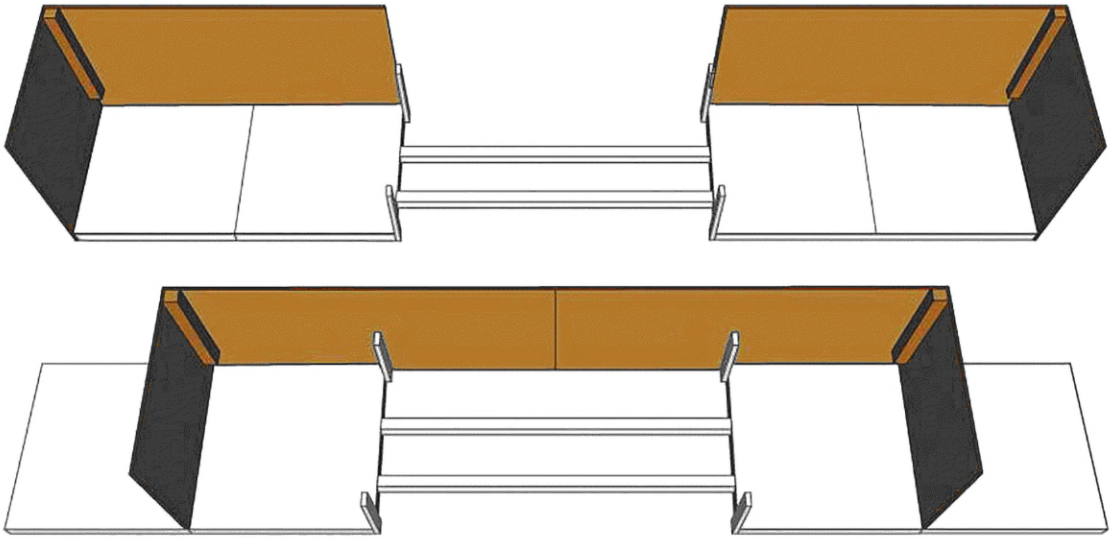


Рисунок 7 — Стены в ограниченной прямоугольной (вверху)
и ограниченной квадратной (внизу) конфигурациях

6.7 Размещение испытательного стенда

Данный испытательный стенд может быть установлен внутри помещения, на открытом воздухе или внутри транспортного контейнера. Для испытательного стенда с шириной прохода 120 см и более внутри транспортного контейнера может быть установлена только ограниченная прямоугольная или ограниченная квадратная конфигурация. Все конфигурации с шириной прохода менее 120 см могут быть установлены внутри транспортного контейнера.

6.8 Другие устройства

Для измерения фактического времени выполнения попытки необходимо использовать хронограф, обеспечивающий точную индикацию моментов времени 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 допускается использовать секундомер. Для контроля освещенности используют люксметр. Окружающая среда считается светлой, если освещенность составляет более 150 лк; если освещенность менее 0,1 лк, то окружающая среда считается темной. Для измерения температуры окружающей среды используют термометр. Используемые средства измерений должны иметь свидетельства об утверждении типа.

7 Требования безопасности

7.1 Для безопасной дистанционной или автономной работы робота требуются функциональные системы 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 все участники должны четко усвоить, где находятся кнопки аварийной остановки.

7.2 Системы аварийной остановки должны функционировать еще до того, как дистанционно управляемый робот начнет перемещение. Между роботом и оператором должна поддерживаться постоянная связь до тех пор, пока робот не окажется в безопасности внутри испытательного стенда, а люди не будут находиться вне испытательного стенда либо на безопасном расстоянии от робота. Удаленный оператор должен убедиться, что никто не работает с роботом перед тем, как начать приводить в действие манипулятор, перемещать робот или приводить его в действие каким-либо другим способом. Не допускается присутствие людей непосредственно перед роботом, позади робота или в пределах досягаемости манипулятора вплоть до полного выключения робота.

7.3 Использовать защитные приспособления, в частности страховочный трос, для предотвращения повреждения робота можно 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, включая натягивание страховочного троса для предотвращения падения робота, считается ошибкой, а попытка объявляется неудачной.

7.4 Испытательное оборудование, предназначенные для оценки проходимости роботов, может быть сложным и неустойчивым, создавая опасность для людей. Для снижения риска участники испытаний должны носить надлежащую обувь и использовать средства индивидуальной защиты. При работе с роботом или переноске оборудования внутри испытательного стенда необходимо соблюдать внимательность и осторожность.

8 Порядок проведения испытаний

8.1 Определение конфигурации робота

Конфигурация испытуемого робота должна быть идентифицирована и иметь уникальные обозначения (например, марку, модель, исполнение), включая все подсистемы и компоненты с их характеристиками и функциональными возможностями в соответствии с требованиями *ГОСТ Р 60.6.3.25*. Конфигурация робота должна соответствовать конфигурации, необходимой для использования робота по назначению. Конкретный робот может иметь несколько разных конфигураций. Любые конфигурации конкретного робота могут участвовать в испытаниях, но конкретная конфигурация робота должна оставаться неизменной при выполнении всех попыток, чтобы обеспечить возможность прямого сравнения характеристик и сопоставления преимуществ и недостатков у разных конфигураций данного робота. В общем случае, у испытуемого робота должны оставаться неизменными габариты, масса и расположение центра тяжести, а также его основные подсистемы и компоненты, такие как гусеницы, колеса, ноги, манипулятор, радиосвязь, кабель, операторский пульт управления и т.д. Если конфигурация робота изменяется в процессе испытаний, какие-либо компоненты были добавлены или сняты во время испытания, то данное испытание считается несостоявшимся (например, если оператор после выполнения пяти попыток предлагает снять с робота манипулятор, потому что он мешает управлять роботом, то это считается новой конфигурацией робота, а данное испытание признается несостоявшимся). К протоколу испытаний должны быть приложены подробные фотографии конкретной конфигурации робота, а также видеозаписи выполнения работ по техническому обслуживанию робота, таких как замена гусеницы, замена батареи и т. д. При необходимости в протокол испытаний включают дополнительную информацию, например представленную ниже.

8.1.1 Указывают массу и габариты всех контейнеров непосредственно после поставки или готовых к развертыванию робота.

8.1.2 Приводят перечень всех комплектующих изделий, таких как аккумуляторные батареи, зарядные устройства, а также расходных материалов.

8.1.3 Приводят перечень запасных частей, инструментов и принадлежностей, необходимых для технического обслуживания робота.

8.1.4 Указывают дополнительные полезные нагрузки (при их наличии).

8.2 Подготовка испытательного стенда

Необходимо убедиться, что стенд подготовлен к проведению испытаний и обеспечено выполнение заданных условий окружающей среды, для чего следует:

8.2.1 Выбрать масштаб испытательного стенда с минимальной шириной прохода W так, чтобы стенд соответствовал намеченной среде использования робота по назначению (см. рисунок 3).

8.2.2 Выбрать открытую, ограниченную прямоугольную или ограниченную квадратную конфигурацию испытательного стенда (см. рисунок 1).

8.2.3 Измерить максимальную ширину контактирующих с поверхностью частей робота (см. рисунок 5).

8.2.4 Установить расстояние между параллельными направляющими D в соответствии с измеренной максимальной шириной контактирующих частей робота (см. рисунок 5).

8.2.5 Убедиться, что испытательный стенд готов к проведению испытаний, включая параллельные направляющие, стены и т.д.

8.2.6 Обеспечить заданные условия окружающей среды, включая уровень освещенности, температуру и т.д.

8.2.7 Зарегистрировать и контролировать условия окружающей среды, включая уровень освещенности, температуру и т.д.

8.2.8 Установить на хронографе намеченную длительность проведения испытания в минутах или сбросить показания секундомера.

8.3 Готовность оператора

Следует убедиться, что оператор дистанционного управления роботом готов к проведению испытаний. При этом необходимо выполнить перечисленные ниже действия.

8.3.1 Выбрать число попыток в данном испытании (от 10 до 30), которое обеспечит заданный порог вероятности и достоверности полученных результатов.

8.3.2 Убедиться, что оператор понимает, какую ориентацию робота следует использовать при его перемещении, то есть произвольную или передним/задним ходом.

8.3.3 Оператор должен понимать, что попытка будет считаться успешной, если робот выполнит такую последовательность действий.

8.3.3.1 Начнет движение со стороны *A* испытательного стенда.

8.3.3.2 Будет перемещаться на сторону *B*.

8.3.3.3 Двигаться по параллельным направляющим, не касаясь земли, и доезжать до противоположного конца стенда.

8.3.3.4 Вернуться на сторону *A*. Попытка считается успешной, если робот вернулся на сторону *A* (шаг 4) испытательного стенда, не совершив ошибок (см. рисунок 1).

8.3.4 Оператор должен понимать, что после того, как робот полностью окажется на стороне *A*, он должен снова переехать на сторону *B*, чтобы выполнить следующую попытку в противоположном направлении.

8.3.5 Необходимо убедиться, что оператор понимает, как он должен действовать в случае отказа робота или возникновения паузы по другой причине (см. 8.5 и 8.6).

8.3.6 При необходимости следует предоставить оператору возможность потренироваться на испытательном стенде, непосредственно наблюдая за роботом или дистанционно, а также необходимо убедиться, что оператор полностью ознакомлен с порядком проведения испытаний перед тем, как начать испытания.

8.3.7 Оператор должен занять свое рабочее место, расположенное удаленно от испытательного стенда. Оператор не должен иметь прямого визуального или звукового контакта с находящимся на испытательном стенде роботом. Необходимо обеспечить связь оператора с роботом по радиоканалу либо с помощью кабеля. Если оператор не имеет возможности видеть робота, но в то же время находится в непосредственной близости от стенда, он должен надеть наушники или беруши, которые обычно используют для защиты слуха.

8.4 Проведение испытания

После того, как испытательный стенд будет подготовлен, а оператор готов к работе, следует выполнить такую последовательность действий.

8.4.1 Зарегистрировать конфигурацию и масштаб испытательного стенда, а также ориентацию перемещения робота.

8.4.2 Начать движение робота на стороне *A* с обозначенной точки старта.

8.4.3 Запустить хронометр в тот момент, когда какая-либо часть робота окажется на стороне *B*.

8.4.4 Зарегистрировать успешную попытку, если робот, безошибочно проехав по параллельным направляющим, всем своим корпусом переедет на сторону *A* на противоположном конце стенда.

8.4.5 Зарегистрировать неудачную попытку, если робот при движении по параллельным направляющим коснется земли или нанесет испытательному стенду повреждение, требующее регулировки или ремонта для выполнения следующей попытки (см. 8.5).

8.4.6 Повторять выполнение попыток до тех пор, пока не будет завершено заданное число попыток.

8.4.7 Зарегистрировать число успешных попыток, неудачных попыток и продолжительность всего испытания.

8.4.8 Рассчитать показатели завершенности, вероятности и эффективности (см. раздел 9).

8.5 Порядок действий при неудачной попытке

Если робот коснулся земли при движении по параллельным направляющим, застрял или вышел из строя, а для продолжения испытаний необходимо какое-либо визуальное или физическое вмешательство человека, или если робот повредил испытательный стенд так, что после этого потребовалась его регулировка или ремонт, то следует выполнить такую последовательность действий.

8.5.1 Остановить хронограф.

8.5.2 Зарегистрировать время, место, направление движения робота (при движении передним/задним ходом) и кратко описать случившееся.

8.5.3 Зарегистрировать ошибку при выполнении данной попытки.

8.5.4 Убедиться в том, что робот может продолжить испытания, либо выполнить надлежащее техническое обслуживание робота.

8.5.5 Убедиться в том, что испытательный стенд не поврежден в результате инцидента, либо произвести ремонтные работы для его восстановления.

8.5.6 Дать команду оператору вернуть робота на сторону *A*.

8.5.7 Перезапустить хронограф, как только робот полностью окажется на стороне *A*, и начать выполнение следующей попытки.

8.5.8 Продолжать испытание до завершения заданного числа попыток или до тех пор, пока не истечет установленное для выполнения испытания время.

8.6 Остановка испытания

Если испытание требуется остановить по любой причине, кроме неисправности или ошибки робота, то следует выполнить такую последовательность действий.

8.6.1 Остановить хронограф.

8.6.2 Зарегистрировать время и место, а также кратко описать случившееся (при необходимости).

8.6.3 Если причиной остановки стала неисправность испытательного стенда, то выполнить надлежащий ремонт. Убедиться в том, что робот может продолжить испытания, либо выполнить надлежащее техническое обслуживание робота, если он был поврежден из-за неисправности испытательного стенда.

8.6.4 Перезапустить хронограф, когда робот будет готов продолжить испытание.

8.6.5 Продолжить движение робота по маршруту.

8.6.6 Продолжать испытание до завершения заданного числа попыток или до тех пор, пока не истечет время, отведенное на проведение испытаний.

8.7 Программный сброс

Любая ручная или автоматическая перезагрузка программного обеспечения пульта управления или робота.

9 Оценка и интерпретация результатов

9.1 В ходе проведения испытаний должно быть выполнено 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 ниже 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 числа успешных попыток к общему числу выполненных попыток является оценкой надежности выполнения задания. Надежность выполнения задания в процентах рассчитывают по формуле

(число успешных попыток/общее число попыток) · 100 = надежность.

Заказчик испытаний может установить необходимые пороговые значения надежности выполнения задания. Для одних заданий может требоваться 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:

9.3.1 Первые 10 выполненных попыток без ошибок (достоверность 86 % при надежности не менее 80 %).

9.3.2 20 выполненных попыток, из которых не более одной неудачной попытки (достоверность 91 % при надежности не менее 80 %).

9.3.3 30 выполненных попыток, из которых не более трех неудачных попыток (достоверность 85 % при надежности не менее 80 %).

9.3.4 Если проводится несколько испытаний, то при определении отношения успешных попыток к числу неудачных попыток следует учитывать 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.

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

(число успешных попыток/время в минутах) = число попыток в минуту.

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 испытаний, полученные на открытой, ограниченной прямоугольной и ограниченной квадратной конфигурациях испытательного стенда нельзя сравнивать между собой. Они представляют разные уровни сложности для разных способов передвижения роботов. Также нельзя сравнивать результаты, полученные на испытательных стендах с разной шириной прохода *W*. Они представляют разные уровни сложности для роботов, различающихся своими размерами.

10.2 Рекомендуемая форма протокола испытаний для данного метода испытаний приведена в дополнительном приложении ДА. В протоколе испытания рекомендуется указывать перечисленную ниже информацию.

10.2.1 Наименование метода испытаний: Движение по параллельным направляющим.

10.2.2 Обозначение настоящего стандарта.

10.2.3 Дату проведения испытаний.

10.2.4 Место: наименование организации или полигона, где проводят испытания.

10.2.5 Адрес: населенный пункт, район, область, где проводят испытания.

10.2.6 Фамилию и инициалы руководителя испытаний, должность и организацию, которую он представляет.

10.2.7 Изготовителя робота.

10.2.8 Модель робота.

10.2.9 Конфигурацию робота (включая связь по радиоканалу или кабелю).

10.2.10 Фамилию и инициалы оператора, управляющего роботом, наименование организации, которую он представляет, и контактную информацию.

10.2.11 Параметры испытательного стенда:

10.2.11.1 Масштаб испытательного стенда (минимальная ширина прохода).

10.2.11.2 Конфигурацию испытательного стенда (открытая, ограниченная прямоугольная или ограниченная квадратная).

10.2.11.3 Расстояние между параллельными направляющими.

10.2.12 Ориентацию при движении:

10.2.12.1 Произвольная.

10.2.12.2 Передним/задним ходом.

10.2.13 Условия окружающей среды:

10.2.13.1 Уровень освещенности.

10.2.13.2 Температуру.

10.2.13.3 Влажность.

10.2.13.4 Другие условия, если требуется.

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

10.2.15 Общую продолжительность испытаний.

10.2.16 Причину остановки испытаний:

10.2.16.1 Ошибка робота: робот коснулся пола при движении по параллельным направляющим, застрял или вышел из строя и для продолжения испытаний требуется визуальный осмотр или физическое вмешательство.

10.2.16.2 Программный сброс: перезагрузка программного обеспечения операторского пульта управления или робота.

10.2.16.3 Пауза в испытаниях: испытания остановлены по любой причине, кроме ошибки робота.

10.2.17 Результаты:

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

10.2.17.2 Видеозапись, полученная после завершения испытаний.

10.2.17.3 Оценка завершенности: общее число успешных попыток.

10.2.17.4 Надежность: отношение числа успешных попыток к общему числу выполненных попыток.

10.2.17.5 Эффективность: отношение числа успешных попыток к затраченному времени в минутах.

10.2.18 Число выполненных попыток.

10.2.19 Примечания (любые наблюдения и отмеченные отклонения от нормы при проведении испытаний).

11 Погрешность метода испытаний

Результатом испытаний по данному методу является не содержащий количественных показателей отчет об успешном или неудачном достижении заданных значений надежности и достоверности. 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
(рекомендуемое)

Форма протокола испытаний

Протокол испытаний
Проходимость. Движение по параллельным направляющим
(в соответствии с настоящим стандартом)

Дата: _____ Изготовитель робота: _____
Место: _____ Модель робота: _____
Адрес: _____ Конфигурация робота: _____
Руководитель: _____ Оператор/Организация: _____

Испытательный стенд	Внешняя среда	Причина остановки	Длительность
☑ *W* = 0,6 м ☑ *W* = 1,2 м ☑ *W* = 2,4 м Конфигурация ☑ Открытая ☑ Прямоугольная ☑ Квадратная ___ Расстояние *D*	☑ Освещенная (>150 лк) ☑ Темная (<0,1 лк) ___ Температура (°С) ___ Влажность (%) **Ориентация перемещения** ☑ Произвольная ☑ Передним/задним ходом	___ Ошибка робота ___ Программный сброс (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 Программный сброс

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 _____		
Вероятность		
(Успешных попыток/всего попыток) × 100		
%		
Эффективность		
Успешных попыток/всего минут		
Оценка		

Примечания:

Приложение ДБ
(справочное)

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

Таблица ДБ.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного стандарта
ГОСТ Р 60.6.3.25—2023	MOD	ASTM E2592-16 «Общепринятая практика оценки 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 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, роботы для работы в экстремальных условиях, методы испытаний, проходимость, параллельные направляющие, порядок проведения испытаний, испытательное оборудование

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 25.09.2023. Подписано в печать 28.09.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,51.

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