

## АНАЛИЗ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РОБОТОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

*Ширяев В.А.*

*Московский политехнический университет, Москва*

**Ключевые слова:** робот вертикального перемещения, технологический робот, система диагностики, диагностическая модель.

**Аннотация.** Рассматриваются подсистемы диагностирования технологических роботов на основе роботизированных устройств вертикального перемещения. В ходе анализа выделены основные виды систем диагностирования, описаны выявленные преимущества и недостатки каждого решения и в заключение описан минимальный набор тестовых процедур для диагностирования мобильных роботов вертикального перемещения.

## ANALYSIS OF DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL ROBOTS OF VERTICAL MOVEMENT

*Shiriaev V.A.*

*Moscow Polytechnic University, Moscow*

**Keywords:** vertical, inclined surface, adaptive, technological robot, diagnostic system, diagnostic model.

**Abstract.** The subsystems of diagnostics of technological robots based on robotic devices of vertical movement are considered. During the analysis, the main types of diagnostic systems are identified, the identified advantages and disadvantages of each solution are described, and in conclusion, a minimum set of test procedures for diagnosing mobile robots of vertical movement is described.

### I. Введение

Одними из многочисленных видов промышленных роботов являются роботы вертикального перемещения, предназначенные для выполнения различных задач на сложных вертикальных, наклонных поверхностях в средах, которые могут быть опасны для здоровья людей. Например, в судоходстве, значительно повышается производительность работ на корпусах кораблей и поверхности крупногабаритных контейнеров.

Цель данной работы является установление приоритетов систем диагностирования для технологического двухпедипуляторного робота вертикального перемещения при выполнении различных областях эксплуатации.

### II. Анализ известных решений

#### Результаты патентного поиска

Метод диагностирования [1] представляет из себя подачу управляющих сигналов, наиболее приближенных к рабочему режиму устройства, и последующий анализ результатов обработки входящих воздействий. Такая диагностическая система позволит определить сбои в работе всей системы во время технического обслуживания и своевременно заменить вышедший из строя элемент. К примеру, один из вариантов диагностирования частотных характеристик сервоприводов [2] позволит проанализировать работу роботизированных устройств на этапе ввода в эксплуатацию

двухпедипуляторного робота вертикального перемещения [3], в котором возможно применение сервопривода для вращения платформы вокруг одного из педипуляторов.

Диагностирование производительности робота в процессе его функционирования, описанное в патенте [4], может быть применено на всех роботизированных механизмах. Такой способ позволяет не только следить за уровнем производительности, но и предупредить оператора о сбое в системе или предпринять действия для устранения данного сбоя автоматически.

Ввод диагностических подстанций, описанных в патенте [5] может облегчить программное обеспечение непосредственно целевого оборудования. Кроме того, уменьшить количество остановок функционирования роботизированных механизмов на диагностику, что в свою очередь позволит увеличить производительность оборудования. Но в тоже время такой метод будет полезен только для стационарного оборудования или роботов, функционирующих в пределах области действий диагностических подстанций.

Использование цифрового двойника целевого оборудования [6], позволяет проанализировать результат обработки управляющего сигнала и выявить сбой оборудования в реальном времени. Анализ работы роботизированного оборудования производится на основе данных считанных с датчиков, которые могут не охватывать все внешние воздействия вносящие помехи. Таким образом, цифровой двойник может привести к ложным ошибкам в работе системы. Кроме того, некоторые типы роботов, такие как вертикального перемещения, требуют минимальную массу своей конструкции для увеличения максимальной полезной переносимой нагрузки. Этот недостаток возможно нивелировать применением соответствующих механик для передвижения робота, например, как это реализовано в полезной модели [7]. Но данный способ передвижения приносит свои недостатки, одним из которых является усложнение предпусковой процедуры, а именно закрепление концов тросов на вертикальной поверхности.

### **Результаты поиска информации по промышленным образцам**

Для диагностики работоспособности роботизированных механизмов применяют различные методики и технологии, один из таких способов описан в статье [8], где предлагается использовать алгоритмы искусственного интеллекта визуального инспектирования. В связи с выбранным методом и конструкцией, такую систему возможно реализовать только на стационарных объектах, но возможность обучения имеет высокий потенциал в работе системы. Визуальное инспектирование конвейерной линии или цепочкой автоматического производства в автоматическом режиме позволит минимизировать программное обеспечение целевого оборудования, но является не самым эффективным методом в связи с малым единовременным захватом инспекционного оборудования.

Движение по вертикальным поверхностям является интересной задачей и для её решения применяются различные механики, захватные устройства, методы передвижения. Так, например, исследователи из Швейцарского федерального технологического института [9] разработали робота с «липкими» конечностями который может надежно закрепляться на вертикальных поверхностях и переносить груз, превышающий его собственный вес в семь раз. К недостаткам

таких конечностей робота можно отнести малую скорость передвижения из-за разогрева и охлаждения специального полимерного состава для фиксации педипуляторов к поверхности. Кроме того, во время передвижения в полимерный состав возможно, как попадание отдельных частиц поверхности, по которой происходит передвижение, что может привести к загрязнению состава и уменьшению свойств сцепления, так и загрязнение поверхности передвижения этим же составом.

Нивелирование некоторых недостатков вышерассмотренного робота возможно системой удерживания на поверхности, которую разработал учёные из Китая, используя скоростное вращение воды [10]. В настоящее время ученые изготовили и испытали ZPD-чашки трех различных типоразмеров. Для демонстрации работы системы учёные использовали один из типоразмеров в конструкции робота, который может двигаться по стенам. В этой технологии, используются специальные резиновые чашки, в каждой из которых создается кольцо воды. Вода вращается с большой скоростью на границе между плоскостью чашки и поверхностью. Образующиеся инерционные силы генерируют крутой перепад давления, из-за чего в центре чашки возникает вакуум, а на границах чашки сохраняется давление, равное атмосферному.

Одним из недостатков такого типа захватов является использование воды, так как необходим резервуар на передвижной платформе или соединение такого робота с внешней ёмкостью, что усложняет конструкцию и увеличивает массу всей конструкции. Кроме того, для предотвращения короткого замыкания, необходимо защитить всю электронную часть робота от попадания воды.

В свою очередь японский промышленный гигант для разработанного им робота [11] применил эффект магнетизма, который позволяет передвигаться по металлическим поверхностям. Разработанный робот получил сферические магнитные колеса, которые позволяют роботу фиксироваться к поверхности за минимальное время, а также передвигаться по изогнутой поверхности.

Так же эффект магнетизма был использован при разработке робота для инспекций металлических конструкций [12]. Недостатком такого решения является отсутствие возможности передвижения по материалам с низкой магнитной проницаемостью, которыми являются дерево, стекло и др.

Инжиниринговый центр «Автоматика и робототехника» при МГТУ им. Баумана для собственной разработки робота вертикального перемещения применяет вакуумные захватные устройства [13]. Такой способ фиксации робота к поверхности позволяет минимизировать массу дополнительного оборудования, а также передвигаться по различным твёрдым поверхностям.

Одной из успешных разработок компании HausBots является робот вертикального перемещения. Держаться на вертикальных поверхностях роботу помогает запатентованная система из двух электроклапанов, которые «высасывают» воздух из-под платформы, в следствии чего создается область низкого давления [14]. Таким образом, HB1 может передвигаться на гладких и шероховатых стенах, колоннах, изогнутых и фактурных поверхностях. Также робот умеет преодолевать препятствия в виде кабелей, и невысоких декоративных элементов.

В ходе анализа промышленных образцов было выявлено, что технологические роботы вертикального перемещения чаще всего являются нестационарными, требуют мобильности и чувствительны к увеличению массы собственной конструкции.

Во время работы системы могут возникать программные или аппаратные сбои. Для преждевременного выявления элементов, которые могут привести к полной или частичной утрате работоспособности системы, применяются специализированные программы диагностики [15]. В ходе анализа литературных источников были выявлены следующие виды систем диагностирования технологических роботов:

Визуальное диагностирование – это диагностирование объекта, внешней системой или человеком, которое позволяет определить признаки отклонения исполнения объектом заданных функций и внешних факторов, повлекших этому;

Внутреннее диагностирование – это диагностирование объекта, внутренним ПО или с применением стенда, которое позволяет определить неисправность конкретных систем или элементов за счет использования встроенных датчиков.

Кроме того, системы диагностирования разделяются на тестовое и функциональное диагностирование:

Тестовое диагностирование – это диагностирование объекта, производимое с помощью тестовых воздействий и позволяющее проверить параметры объекта и причины их отклонения от заданных значений;

Функциональное диагностирование – это диагностирование объекта, производимое с помощью рабочих воздействий, которые позволяют контролировать исполнение объектом заданных функций при заданных параметрах и выявить причины нарушения его функционирования. В свою очередь такое диагностирование делится на сравнение данных полученных с датчиков с критическими, определенными на этапе проектирования, и сравнение параметров объекта с цифровым двойником.

Автор учебного пособия [16] выделяет общую постановку задачи диагностирования как определение различных состояний объекта при соответствующих независимых величинах. Кроме того, во время диагностирования, объект представляют, как одну из диагностических моделей: аналитической, структурно-функциональной, логической или графами причинно-следственной связи. Следовательно, одной из задач при проектировании системы диагностирования будет являться составление модели соответствующей системы.

Для технологических роботов [17-19] вертикального перемещения важно проверять функциональность всех узлов перед выполнением поставленных задач. Важность такого действия заключается в сложности выполняемых работ. Сбой в системе передвижения или управления может повлечь за собой падение робота с большой высоты, что может привести к дорогостоящему ремонту и временным задержкам.

### **III. Заключение**

Можно сделать вывод, что технологические роботизированные устройства для перемещения на вертикальных и наклонных поверхностях в связи с выполнением поставленных задач на объектах разной удаленности друг от друга должны иметь встроенные подсистемы диагностирования непосредственно на

борту. Один из вариантов такой системы включает две программы: глубокого тестирования и экспресс-тестирования. Кроме того, задачей системы диагностирования в рабочем режиме будет являться отслеживание критических изменений с датчиков для предотвращения аварии.

Программа глубокого тестирования необходима для периодической диагностики функционирования всех используемых модулей микроконтроллера и активных устройств, таких как двигатели, датчики и т.д. В минимальный состав тестирования микроконтроллера в программе глубокого тестирования включены: тесты всей памяти несколькими алгоритмами, используемых периферийных модулей, проверка установки системных регистров путём установки и считывания значений, используемых в рабочем режиме в начале программы тестирования, и только считывания в конце работы программы тестирования, тестирование портов ввода-вывода при одновременном тестировании активных внешних устройств.

Программа экспресс-тестирования предназначена для диагностики работоспособности робота при каждом запуске. Следовательно, тестирование должно занимать минимально возможное время и не повредить записанный образ программного обеспечения для дальнейшего функционирования робота. В минимальный состав программы экспресс тестирования включены проверка контрольной суммы записанного образа, тестирование оперативно запоминающего устройства, используемых интерфейсов общения. Работоспособность активных устройств контролируется в ходе функционирования робота в рабочем режиме.

#### Список литературы

1. Patent №114505850 CN. Diagnostic system and diagnostic method / R. Kabutan, T. Matsumoto, R. Suzuki. – Appl. №202111338678.7 filed 12.11.2021; publ. 17.05.2022.
2. Patent №11314232 US. Frequency response diagnostics for characterizing servo controlled mechanisms / A.C. Cranmer. – Appl. №16/948,363 from 15.09.2020; publ. 26.05.2022.
3. Патент №85879 РФ. Адаптивный двухпедипуляторный робот вертикального перещения / М.Ю. Рачков. – Заявка №2009108675/22 от 10.03.2009; опубли. 20.08.2009, Бюл. №23.
4. Patent №2599960 GB. Ground marking robot, method of ground marking using a robot and method of gathering performance diagnostics of a ground marking robot / D. Anthony. – Appl. №2016545.2 from 19.10.2020; publ. 20.04.2022.
5. Patent №4009127 EP. Diagnostics system for diagnosing the condition of target equipment / T. Yamashita, T. Katoh, R. Ellis. – Appl. №20212220.6 from 07.12.2020; publ. 08.06.2022, Bull. 2022/23.
6. Patent №111230887 CN. Industrial gluing robot running state monitoring method based on digital twin technology / L. Baiying, L. Hongshengpeng, Z. Guanhong. – Appl. №202010161152.5 from 10.03.2020; publ. 26.01.2021.
7. Патент №202828 РФ. Тросовый робот вертикального перемещения / Е.С. Брискин, М.И. Ефимов, Н.Г. Шаронов. – Заявка №2020134944 от 26.10.2020; опубли. 09.03.2021, Бюл. №6.
8. Sága M., Bartoš M., Bulej V., Stanček J., Wiecek D. Development of an automated diagnostic and inspection system based on artificial intelligence designed to eliminate risks in transport and industrial companies // *Transportation Research Procedia*. 2021, vol. 55, pp. 805-813. doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.048.
9. Wang L., Graber L., Iida F. Large-Payload Climbing in Complex Vertical Environments Using Thermoplastic Adhesive Bonds // *IEEE Transactions on Robotics*. 2013, vol. 29, no. 4, pp. 863-874. doi.org/10.1109/TRO.2013.2256312

10. Shi K., Li X. Vacuum suction unit based on the zero pressure difference method // *Physics of Fluids*. 2020, vol. 32, p. 017104. doi.org/10.1063/1.5129958.
11. Successful development of magnetic wheeled robot capable of traveling over curved steel surfaces | Sumitomo Heavy программы и программы тестирования модулей на Industries, Ltd. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.shi.co.jp/english/info/2022/6kgpsq0000003be1.html>.
12. Nguyen S.T., La H.M. Climbing Robot for Steel Bridge Inspection // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2021, vol. 102, no. 4, p. 75. doi.org/10.1007/s10846-020-01266-1.
13. Робот вертикального перемещения – Инжиниринговый центр «Автоматика и робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://secra.xy2.tech/production/вертикальный-робот/>
14. HB1 by HausBots – HausBots [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hausbots.com/hb1/>
15. Ширяев В.А. Особенности разработки отладочно-диагностической базе микропроцессора 1892BM12T // Состояние, проблемы и перспективы разработки корабельных информационно-управляющих комплексов // Сборник докладов научно-технической конференции. – М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат», 2021. – С. 55-57.
16. Науменко А.П. Введение в техническую диагностику и неразрушающий контроль: учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. – 152 с.
17. Патент №32080 РФ. Шагающий транспортный механизм / В.Г. Градецкий, С.В. Калиниченко, А.И. Шокин, И.Л. Соловьев, Л.Н. Кравчук, Г.В. Самохвалов. – Заявка №2002133398/20 от 19.12.2002; опубл. 10.09.2003, Бюл. №25.
18. Патент №53648 РФ. Шагающее транспортное средство вертикального перемещения / С.Ф. Яцун, В.С. Дышенко. – Заявка №2005113534/22 от 03.05.2005; опубл. 27.05.2006, Бюл. №14.
19. Патент №164402 РФ. Мобильный робот горизонтального и вертикального перемещения / А.С. Кремлев, А.А. Бобцов, К.А. Зименко, Д.Н. Базылев, А.А. Маргун. – Заявка №2015156793/11 от 28.12.2015; опубл. 27.08.2016, Бюл. №24.

Сведения об авторе:

*Ширяев Виталий Алексеевич* – аспирант.