На основании проведенного исследования за рекомендуемое содержание нефтешлама в битуме принято 10–15 %.

Для определения коррозионной стойкости защитных покрытий изготавливали образцы путем нанесения расплава кистью на образцы из стальной фольги. Были испытаны покрытия из чистого битума и битума, содержащего 12 мас. % нефтешлама.

Испытания проводили по следующим показателям:

1. Стойкость к статическому воздействию воды при 20 ± 2 °С, ГОСТ 5631-79 (48 ч).

2. Стойкость к статическому воздействию 3%-го раствора NaCl при 20 ± 2 °С, ГОСТ 5631-79 (3 ч).

3. Определение адгезии методом решетчатого надреза, ГОСТ 31149-2014, до и после воздействия агрессивных сред.

Визуальный осмотр образцов после проведения испытаний показал:

1. Оба покрытия выдержали требования, предусмотренные ГОСТом по коррозионной стойкости в 3%-м растворе NaCl.

2. На поверхности образцов покрытия из чистого битума после 48 ч выдержки в воде появились мелкие дефекты в виде вздутий, и адгезионная прочность значительно ухудшилась, а у покрытия, содержащего 12 % нефтешлама, осталась без изменения.

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование отходов нефтеперерабатывающего производства (нефтешлама) позволяет значительно улучшить адгезионные свойства и коррозионную стойкость битума. Этот результат можно использовать при разработке новых битумных материалов для защиты металлоконструкций от воздействия неблагоприятных факторов. Кроме того, использование рассмотренных отходов позволит частично решить проблему их утилизации и снизить себестоимость готовой продукции.

Литература

1. Сафин, С. Г. Битумно-полимерные гидроизоляционные материалы с использованием нефтешламов / С. Г. Сафин, А. Н. Черепанов, И. А. Шиганов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2020. – № 3 (294). – С. 51–54.
2. Дубодел, В. П. Гидроизоляционные битумные материалы с использованием отходов нефтеперерабатывающего и масложирового производства / В. П. Дубодел, И. И. Злотников, В. М. Шаповалов // Материалы, технологии, инструменты. – 2012. – Т. 17, № 3. – С. 54–57.
3. Разработка битумно-полимерного композиционного материала для защиты и ремонта нефтепромысловых трубопроводов и оборудования от коррозионных и механических повреждений / Т. В. Атвиновская, В. П. Дубодел, И. И. Злотников, В. М. Шаповалов // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2025. – № 2 (101). – С. 33–40.

ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ СТАЦИОНАРНЫХ РОБОТОВ С ЦИКЛОВОЙ И ЧИСЛОВОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Э. А. Гордеенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. И. Михайлов

Рассмотрена современная автоматизация производства, где соответственно особую роль играют промышленные роботы, которые обеспечивают высокую точность и производительность технологических процессов. Для обеспечения правильной функциональности са-

мого робота объясняется важность и суть планирования траекторий движения роботов с цикловой и числовой системами управления. Рассмотрены принципы формирования траекторий в указанных системах, их основные характеристики, преимущества и ограничения. Установлено следующее: цикловые системы управления отличаются простотой реализации, однако обладают ограниченной гибкостью при построении сложных траекторий, а роботы с ЧПУ позволяют реализовывать более сложные и оптимизированные траектории движения за счет применения методов интерполяции и алгоритмического управления, что исключает недостатки, приведенные в цикловой системе управления.

Ключевые слова: промышленные роботы, планирование траектории, стационарные роботы, цикловое управление, числовое программное управление, ЧПУ, интерполяция, робототехнические системы, автоматизация производства, управление движением.

Первоначально рассмотрим цикловое программное управление. Системой циклового программного управления называют комплекс устройств, в котором программируется цикл работы промышленного робота, а величины перемещений рабочих органов задаются с помощью предварительно настраиваемых путевых выключателей. Настройка путевых переключателей выполняется оператором и является довольно трудоемким процессом. Циклом работы оборудования называют совокупность элементарных рабочих и вспомогательных операций, называемых этапами цикла. Они осуществляются в определенной последовательности, необходимой для выполнения оборудованием рабочих функций.

В системе циклового программного управления роботами применяется циклический подход, где программа робота выполняется повторно в цикле. В каждом цикле робот выполняет определенные команды, опираясь на информацию из сенсоров и других источников данных. Таким образом, робот может обновлять свои действия и адаптироваться к изменениям внешней среды или требованиям задачи.

Стационарные роботы не способны к перемещению, соответственно в формировании рабочей зоны участвуют предельные положения: минимальное и максимальное. Формируются данные положения на основе нулевого положения, т. е. когда все звенья задвинуты, и максимального, т. е. нужно учитывать максимальное выдвижение последнего звена относительно инструментальной системы координат. Максимальное и минимальное положение схвата и будет определять рабочую зону робота, но это в только в том случае, если нет никакого препятствия. Некоторые роботы способны к программированию на регулируемые величины, и есть возможность проконтролировать обход препятствия и прибыть в нужную нам точку за более короткий промежуток времени. Роботы с нерегулируемой величиной перемещения это могут выполнять дольше, а некоторые задачи и вовсе не сумеют, если относительно сложная рабочая зона для перемещения.

Рассмотрим пример промышленного робота «РИТМ-05», функционирующего на системе управления УЦМ-20. Промышленный робот «РИТМ-05» предназначен для автоматизации технологических процессов в условиях серийного и мелкосерийного производства.

Промышленный робот должен выполнять следующие функции:

– транспортирование полуфабриката из магазинного устройства в зону обработки;

– съем и транспортирование полуфабриката в приемное, приемно-передающее устройство и т. д.;

– управление рабочими циклами основного и вспомогательного технологического оборудования.

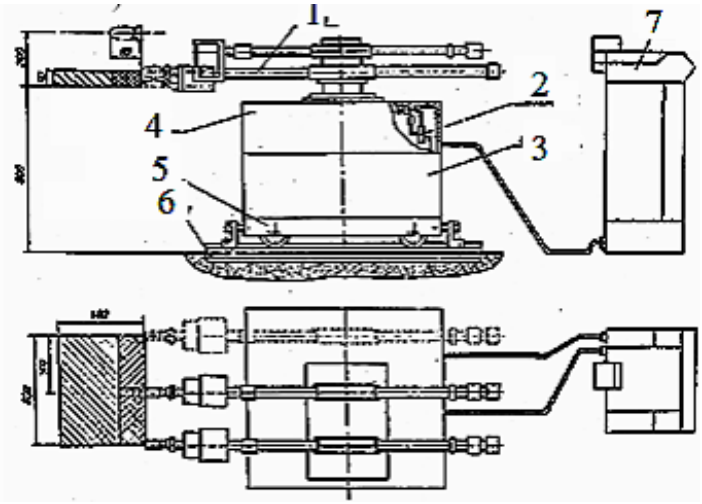


Рис. 1. Общий вид промышленного робота «РИТМ-05»

Общий вид робота представлен на рис. 1, где можно увидеть рабочую зону, которая отображена штриховой линией с размерами. Рис. 2 отображает направления осей координат с номерами точек позиционирования, и кружки в цифрах отображают предельные положения при задвинутой поднятой рукой, либо же сдвинутой, и выдвинутую руку в верхнем и нижнем положении. Все это отображено со стороны робота, захвата.

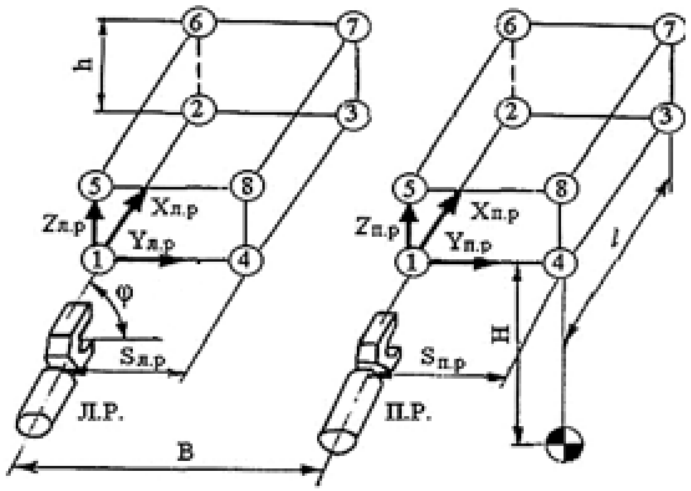


Рис. 2. Направления осей координат с номерами точек позиционирования

Из особенностей данного робота хочется отметить, что он обладает двумя руками, которые программируются по отдельности, т. е. выдвижения и задвижения рук происходят по отдельности, сдвиг каретки, на которой установлены руки, соответственно происходит одновременно, поэтому нужно учитывать рабочее пространство, чтобы вторая рука ни во что не врезалась даже при нулевом положении одной из рук, т. е. полностью задвинутой.

При цикловой системе управления все движения, как упомянуто ранее, происходят от действия к действию, и траектория в таких роботах описывается прямой линией и окружностью. Окружностями редко описывается, но все же есть роботы, обладающие какой-либо поворотной колонной, к примеру, промышленный робот «РФ-204М» (рис. 3).

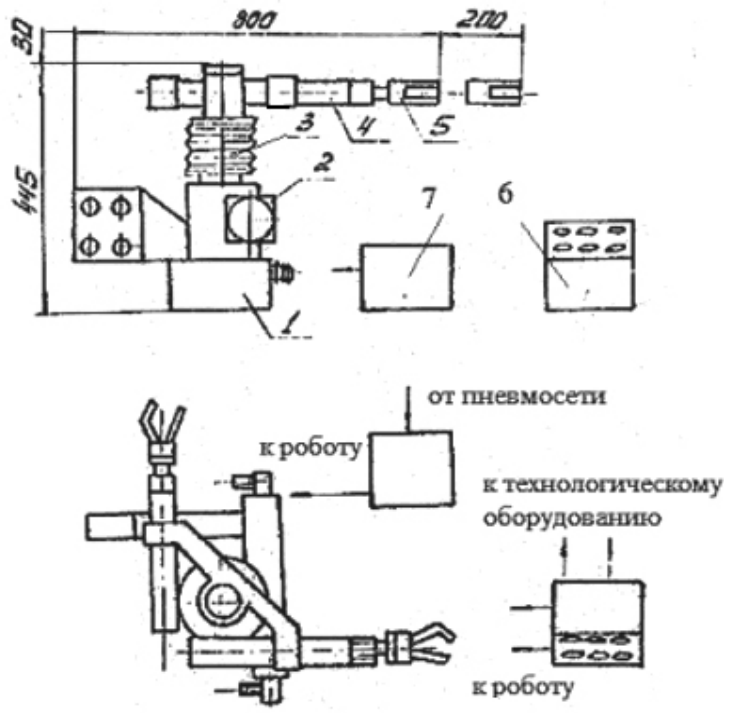


Рис. 3. Промышленный робот «РФ-204М»

В заключение по поводу цикловых роботов хочется отметить, что цикловое программное управлени – это самый простой тип управления промышленными роботами, где движение задается в виде последовательности фиксированных циклов; рабочая зона характеризуется предельными положениями, а предельные положения – способны с помощью упоров; управление часто реализуется по разомкнутому циклу и информация задается дискретно. На траектории это сказывается таким образом: траектория жестко задана и не оптимизируется; движение – чаще всего линейное (простая интерполяция) или ступенчатое, а также практически нет адаптации к изменениям среды.

Перейдем к числовому программному управлению. Числовое программное управление (ЧПУ) – это технология управления механическим движением и рабочими процессами с использованием цифровой информации. Она представляет собой базовую технологию современного машиностроения, объединяющую традиционные технологии механического производства, компьютерные технологии, современные технологии управления, технологии сенсорного контроля, сетевые коммуникационные технологии и оптоэлектромеханические технологии. Эта технология характеризуется высокой точностью, эффективностью и гибкой автоматизацией, играя ключевую роль в реализации гибкой автоматизации, интеграции и интеллектуализации в производственной сфере.

В промышленных роботах с ЧПУ используется цифровая управляющая программа, где траектория задается через координаты и математические зависимости; применяется интерполяция (линейная, круговая, сплайны) для плавности траектории движении.

Перейдем сразу к примеру одного из роботов с ЧПУ, им является «HIWIN RA605». Промышленный робот HIWIN серии RA605 представляет собой 6-осевой шарнирно-сочлененный робот, содержащий шарнирный рычаг с возможностью захвата. Используется он для точного монтажа, комплексной обработки, манипулирования заготовкой, а также для выполнения таких функций, как подъем/перемещение, обработка, монтаж, удаление заусенцев, шлифовка и полировка.



Рис. 4. Общий вид робота «HIWIN RA605»:
1 – шестиосевой робот; *2* – соединительный кабель; *3* – система управления (HIWIN ROBOT SYSTEM SOFTWARE – HRSS);
4 – пульт управления

В связи с наличием шести поворотных осей возможность работы самого робота в каких-либо труднодоступных местах повышается. Рабочая зона характеризуется все также предельными положениями, т. е. максимальное предельное положение и минимальное. Если в цикловых системах управления конструкция робота не особо сложная, упрощенная в каком-то плане, так как не нуждается во множестве звеньев, то в роботах с числовой системой управления – в точности, наоборот. Предельные положения этого робота характеризуются поворотами этих осей. Диапазон поворота осей робота, град: 1-я ось – (±165°); 2-я ось – (+85° ~ –125°); 3-я ось – (+185° ~ –55°); 4-я ось – (±190°); 5-я ось – (±115°); 6-я ось – (±360°). На рис. 5 представлены габаритные размеры самого робота, а также его рабочая зона.

На рис. 5 отображена рабочая зона с помощью окружностей на максимально предельное расстояние и минимальное, если обратить внимание на рис. 5, то там имеется точка *P*, которая является началом инструментальной системой координат данного робота. С помощь ЧПУ мы можем регулировать буквально все, чтобы перемещение или какая-либо операция выполнялась быстрее и с лучшей точностью. Мы можем регулировать ускорение по достижению заданной точки, регулировать линейность нашей траектории, имеется ввиду, насколько сглаженной она будет, но в рамках нашей рабочей зоны. Задается программа в координатах через (*X*, *Y*, *Z*), что и дает нам понимание о регулируемости величин перемещения. Сглаживаемость движения может позволить нам обходить какие-либо препятствия в рабочей зоне для достижения быстрого достижения точки назначения, а также в случае, если деталь хрупкая, то доставить ее без повреждений.

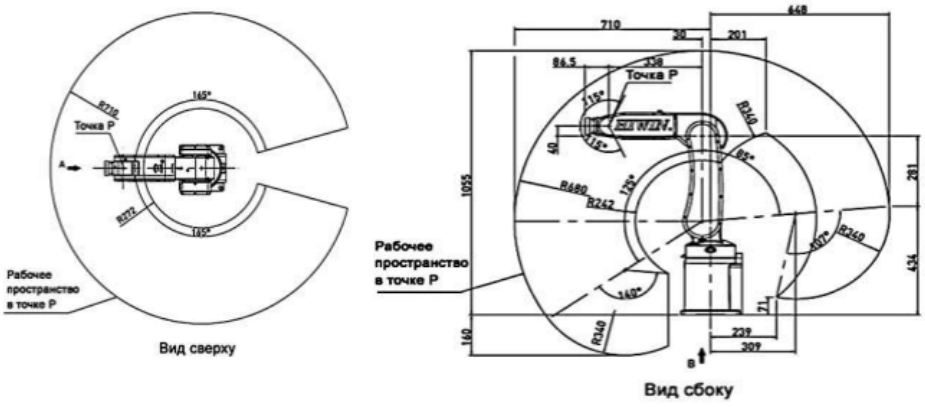
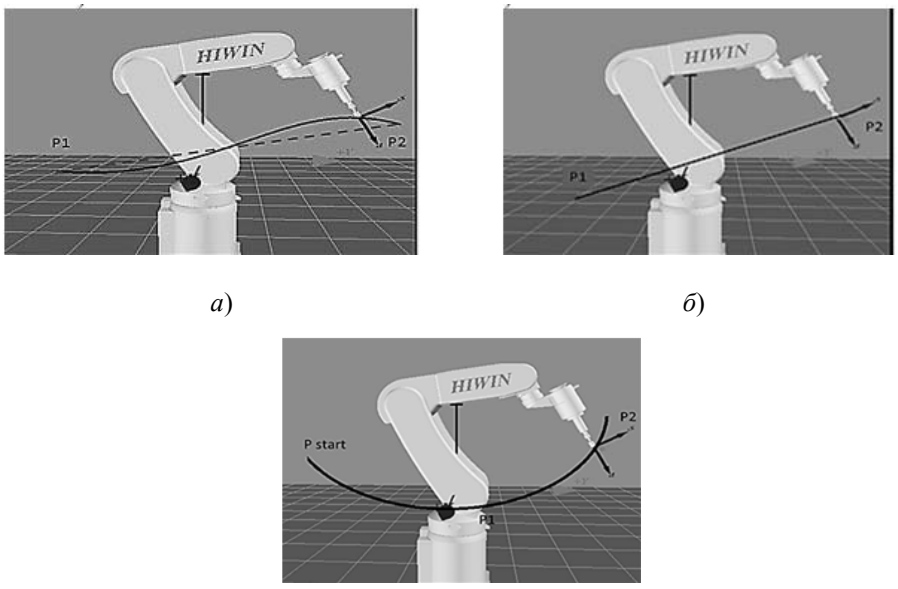


Рис. 5. Рабочая зона робота



а) *б*)

в)

Рис. 6. Перемещение промышленного робота:
а – из точки *P*1 в точку *P* по типу перемещения «от точки к точке»;
б – линейное перемещение с заданной скоростью;
в – круговое перемещение по окружности

В заключение, говоря о числовой системе управления ЧПУ (числовое программное управление), можно отметить, что это более развитая система, где движение задается программно через координаты и алгоритмы. Из основных особенностей хочется отметить, что используется цифровая управляющая программа; траектория движения робота задается через координаты и математические зависимости, где применяется интерполяция (линейная, круговая, сплайны). Таким образом, числовая система управления позволяет строить сложные криволинейные траектории, в которых учитывается скорость, ускорение, т. е. она регулируемая нами в программе. ЧПУ позволяет реализовать гибкое и точное планирование траекторий, включая сложные формы движения.

Литература

1. Лукинов, А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств : учеб. пособие / А. П. Лукинов. – СПб. : Лань, 2012. – 608 с.
2. Околов, А. Р. Программное обеспечение промышленных роботов : учеб.-метод. пособие для студентов учреждений высш. образования по специальностям 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств», 1-53 01 06 «Промышленные роботы и робототехнические комплексы» / А. Р. Соколов, Ю. Н. Матрунчик. – Минск : БНТУ. 2021. – 66 с.
3. Серебряницкий, П. Н. Программирование для автоматизированного оборудования : учеб. для средн. проф. учеб. заведений / П. П. Серебряницкий, А. Г. Схиртладзе ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Высш. шк. – 2003. – 592 с.
4. Робот HIWIN RA605 : рук. по эксплуатации.
5. Роботы промышленные. Устройства циклового, позиционного и контурного программного управления : ГОСТ 27697-88.
6. ПР «РФ-204М» : рук. по эксплуатации
7. Спыну, Г. А. Промышленные роботы. Конструирование и применение : учеб. пособие / Г. А. Спыну. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Выща шк., 1997. – 311 с.
8. ПР «Ритм-05» : рук. по эксплуатации

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТИ РАЗРЫВА НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДОВ НА ТРАДИЦИОННЫХ ТИПАХ КОЛЛЕКТОРА

В. Д. Ткачева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. С. Шепелева

Проблема повышения эффективности разработки традиционных карбонатных и терригенных коллекторов требует внедрения новых технологических решений в области интенсификации притока. Посвящена анализу применения синтетических полимеров в качестве основы для жидкостей разрыва. В отличие от классических гуаровых систем данные составы обладают специфическими реологическими свойствами, позволяющими оптимизировать геометрию трещины и минимизировать загрязнение продуктивного пласта. Основное внимание уделено адаптации концентраций реагентов и деструкторов под условия пластов с различными фильтрационно-емкостными свойствами. Проведенная оценка, которая охватывает широкий спектр объектов, включая как успешные сценарии полной замены гелеобразователя, так и комбинированные подходы в рамках гибридных технологий. Натурные испытания позволили определить технологические границы применимости сухих и жидких форм полимера, а также выявить необходимость модернизации стандартного парка оборудования для обеспечения стабильности процесса закачки.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, полиакриламид, традиционный коллектор, жидкость разрыва, синтетический полимер, проппантонесущая способность, гибридный график закачки, технологическая эффективность, деструкция геля.

Основной задачей являлась оценка технологической эффективности данных жидкостей, которые характеризуются низкими потерями на трение и высокой проппантонесущей способностью по сравнению с традиционными гуаровыми составами.

Концепция проведения данных испытаний строилась на необходимости поиска эффективной альтернативы традиционным гуаровым составам при освоении месторождений Республики Беларусь с карбонатными и терригенными коллекторами. Основная идея заключалась в том, чтобы адаптировать рецептуры на основе полиакри-