

УДК 621

И.И. БАЛГАЗИН, магистрант гр. АТП-251М (УГАТУ)

А.В. МАХИЯНОВ, аспирант гр. А2773/16-21-01 (УГНТУ)

Научный руководитель Р.Р. САТТАРОВ, проф., д.т.н., доцент (УГНТУ)  
г. Уфа

### **МОДЕЛЬ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ СЕТИ ПЕТРИ**

**Аннотация.** Нефтегазовая промышленность является фундаментом Отечественного народного хозяйства, от которой зависят все отрасли будь то единая энергетическая система, химическая промышленность или же сельское хозяйство. Для обеспечения бесперебойной работы нефтегазовой отрасли особенно важно не только поддерживать в безаварийном состоянии трубопроводы, но и при возникновении аварийных ситуаций оперативно их устранять. Данная статья посвящена вопросу группового управления роботов червячного типа, используемых для внутритрубной диагностики нефтегазовых трубопроводов.

**Ключевые слова:** нефтегазовая промышленность, трубопровод, робот, робот червячного типа, сети Петри, групповое управление.

С развитием массового производства и микроэлектроники цена роботов и технических изделий на их основе быстро снижается. В перспективе возможно расширение возможностей и областей применения мобильных робототехнических комплексов с продвинутыми системами группового управления, что благотворно скажется на общей производительности труда, надежности систем и коммуникаций.

Использование группового управления в робототехнических комплексах особенно актуально, поскольку группа способна выполнять поставленные человеком задачи эффективнее, нежели отдельно взятые роботы.

Применение групп роботов в таких отраслях как нефтегазовая отрасль позволят быстрее диагностировать критическое состояние трубопроводов, оперативно определять степень износа, неполадки, причины аварийных ситуаций и т.д.

Известно, что для внутритрубной диагностики нефтегазовых трубопроводов используются роботы червячного типа [1-4]. Конструктивно роботы для внутритрубной диагностики выполняют со встроенной

системой видеонаблюдения и специализированными датчиками измерения различных параметров поверхности трубы, среды внутри нее.

На рисунке 1 представлена конструкция и принцип работы робота червячного типа для внутритрубной диагностики нефтегазовых трубопроводов [5, 6].

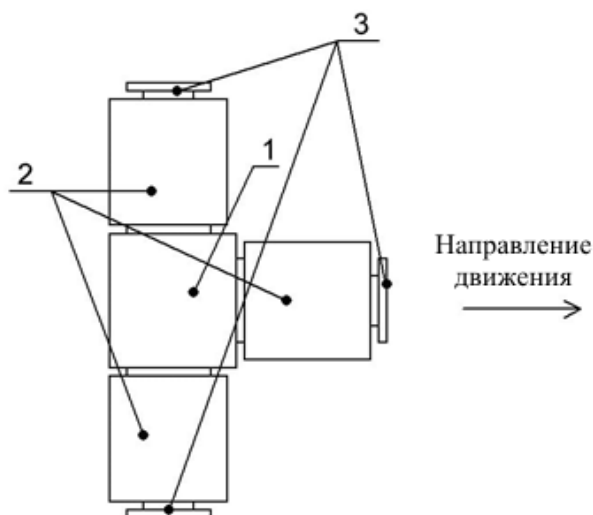


Рис. 1. Робот червячного типа для внутритрубной диагностики нефтегазовых трубопроводов: 1 – корпус (на котором закреплены реле), 2 – катушки индуктивности, 3 – подвижные контакты.

Использование роботов в нефтегазовой отрасли в условиях необходимости ликвидировать чрезвычайные ситуации, быстро диагностировать состояние труб, в недетерминированных условиях являются причиной строгих требований по быстродействию, отказоустойчивости, адаптивности к разрабатываемым робототехническим системам.

Использование групп роботов червячного типа подразумевает участие человека – оператора, задающего групповые действия, их условия, для решения поставленной цели. В данной работе работу изучаемого робототехнического комплекса следует понимать со следующими допущениями:

1. Оператор задает по своему усмотрению исходную позицию и контрольную точку, до которой происходит исследование трубы;
2. Оператор задает по своему усмотрению время ожидания фиксации новых дефектов;
3. При групповой работе, оператор задает по своему усмотрению условия совместной работы роботов.

Работу одного робота червячного типа, работающего не в группе, можно представить в виде элементной сети Петри [7, 8]:

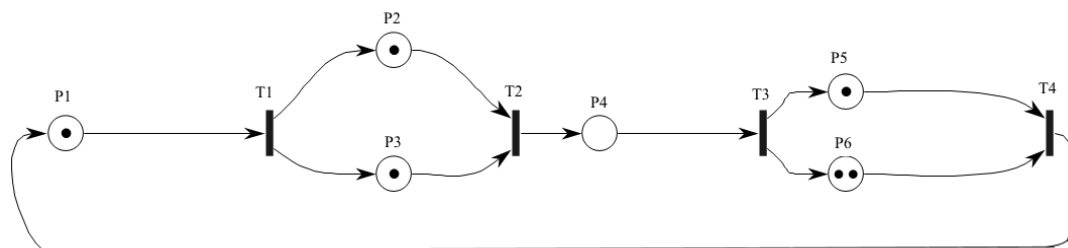


Рис. 2. Сеть Петри с управляющими позициями робота червячного типа, работающего не в группе.

Таблица 1.

Обозначения для робота червячного типа, работающего не в группе

Переход	Обозначение перехода	Позиция	Обозначение позиции
p1	Исходная позиция	t1	Движение по трубе
p2	Достигнута контрольная точка	t2	Анализ обстановки
p3	Записаны данные о состоянии поверхности	t3	Итоговая проверка
p4	Блок данных проанализирован	t4	Движение к исходной позиции
p5	Не обнаружено новых дефектов (в течении заданного времени)		
p6	Данные переданы и записаны		

При групповой работе рассматриваемого комплекса работу можно представить в следующем виде:

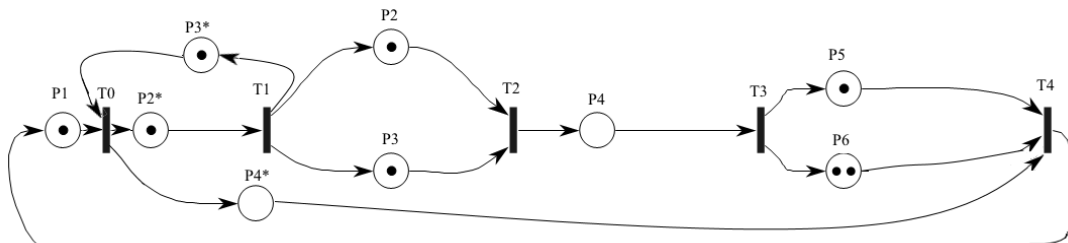


Рис. 3. Сеть Петри с управляющими позициями роботов червячного типа, работающих в группе.

Таблица 2.

Обозначения для роботов червячного типа, работающего в группе

Переход	Обозначение перехода	Позиция	Обозначение позиции
p1	Исходная позиция	t0	Проверка
p2*	Соблюдены условия совместной работы	t1	Движение по трубе
p3*	Нет аварийной ситуации у членов группы	t2	Анализ обстановки
p4*	Уведомление о состоянии группы	t3	Итоговая проверка
p2	Достигнута контрольная точка	t4	Движение к исходной позиции
p3	Записаны данные о состоянии поверхности		
p4	Блок данных проанализирован		
p5	Не обнаружено новых дефектов (в течении заданного времени)		
p6	Данные переданы и записаны		

Как видно из рисунка 3 при групповом управлении происходит расширение сети Петри. В зависимости от требований рост может быть достигнут либо специализированным ростом, учитывающим особенности объекта управления, либо унифицированным, подразумевающим рост без вмешательства в основную структуру сети.

При выполнении групповой работы в условиях внутритрубной диагностики нефтегазовых трубопроводов, группа роботов червячного типа как объект управления могут менять свою структуру сети Петри под изменившиеся условия системы, требования человека-оператора и в особенности в случае изменения количества членов группы.

В работе представлены основные принципы для моделирования и управления групповой работой внутритрубных роботов червячного типа на основе сетей Петри.

Список литературы:

1. Sattarov, R. R. Electromagnetic worm-like locomotion system for in-pipe robots: novel design of magnetic subsystem / R. R. Sattarov, M. A. Almaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 2019. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 1-7.
2. B. Zhang, Y. Fan, P. Yang, T. Cao, and H. Liao, “Worm-like soft robot for complicated tubular environments,” *Soft Robot.*, vol. 6, no. 3, pp. 399–413, Jun. 2019, doi: 10.1089/soro.2018.0088.
3. R. Liu and Y. an Yao, “A novel serial–parallel hybrid worm-like robot with multi-mode undulatory locomotion,” *Mech. Mach. Theory*, vol. 137, pp. 404–431, 2019, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2019.03.033.
4. А. с. 1142186 СССР, МКИ В 08 В 9/04, В 62 D 57/00. Самоходное устройство для движения внутри трубопровода [Текст] / И. Х. Хайруллин, Р. Н. Султангалеев, И.Ф. Ганиев (СССР). – № 3600404/27–11 ; заявл. 03.06.83 ; опубл. 28.02.1985, Бюл. № 8. – 3 с. : ил.
5. Sattarov R. R., Balgazin I. I., Aminev R. N. Rapid-Prototyping of Vibration-Driven Propulsion System for Robots and its Investigation //2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – IEEE, 2022. – С. 459-463.
6. Пат. 96091 Российская Федерация, МПК В 62 D 57/00. Самоходное устройство для движения внутри трубопровода [Текст] / Саттаров Р. Р., Исмагилов Ф. Р., Алмаев М. А., Гареев А. Ш. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный авиационный технический университет". – № 2010112337/22 ; заявл. 30.03.2010 ; опубл. 20.07.2010. – 10 с. : ил
7. Sorokin E. V., Senkov A. V. Application of growing nested Petri nets for modeling robotic systems operating under risk //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2017. – Т. 87. – №. 8. – С. 082046.
8. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ систем с распределенной структурой.-М.: Научный мир, 2004. – 208с.

Информация об авторах:

Балгазин Искандер Ильсурович, магистрант гр. АТП-251М, УГАТУ, 450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, ibalgazin@yandex.ru

Махиянов Артур Валерьевич, аспирант гр. А2773/16-21-01, УГНТУ,  
450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1,  
artur.makhiyanov.sems510@mail.ru