

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПЕРЕДАЧЕЙ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА В УСЛОВИЯХ НЕЛИНЕЙНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ

О.А. Егорова (ОАО «СКБ ПА»), Я.А. Даршт,

С.В. Кузнецова (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева)

Разработана математическая модель системы управления гидропередачей транспортного робота. Реализовано управление положением органа регулирования подачи насоса за счет контура обратной связи по скорости движения. Предложен алгоритм работы устройства автоматического управления гидропередачей транспортного робота, основанный на SF-программировании. Представлены результаты имитационного моделирования процесса функционирования устройства в условиях нелинейности характеристик движения.

Ключевые слова: SF-программирование, автоматическая коррекция, гидропривод, гидропередача, обратная связь по скорости, орган регулирования подачи насоса, транспортный робот, устройство управления.

### Введение

Автоматизация процесса транспортировки грузов на предприятии является неотъемлемым этапом совершенствования производства. Наиболее рациональным путем является использование транспортного робота. Для перемещения тяжелых грузов требуется большая мощность, поэтому транспортное средство целесообразно снабжать гидравлическими мотор-колесами. С позиций системного подхода транспортный робот представляет собой сложную многосвязную структуру, к которой предъявляется множество требований, а именно, различные скоростные режимы движения, функционирование в условиях с некоторой долей неопределенности (переменная нагрузка, нелинейность грунта, сложная траектория). Рациональное распределение полезного момента силовой части может значительно повысить эффективность функционирования транспортного робота и улучшить характеристики движения.

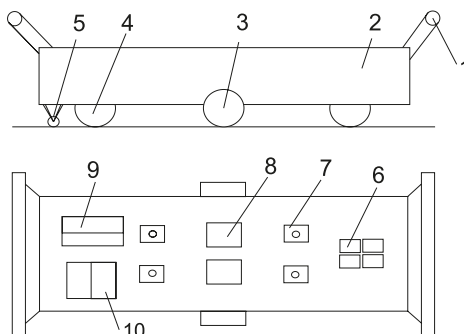


Рис. 1. Конструктивная схема транспортного робота (без тележки), где 1 – упоры; 2 – платформа; 3 – ведущие колеса; 4 – поддерживающие колеса; 5 – измерительная система; 6 – отсек аккумуляторных батарей; 7 – стойки механизма подъема; 8 – гидромоторы ведущих колес; 9 – бортовой компьютер; 10 – блок управления

Объектом исследования является транспортный робот, конструктивная схема которого представлена на рис. 1. Для проектирования и предварительного исследования системы требуется разработать имитационную модель устройства автоматического управления гидропередачей транспортного робота в условиях нелинейности характеристик движения.

Движение робота с тележкой обеспечивает гидропривод, который состоит из регулируемого насоса с механизмом управления и гидромотора. Упрощенная принципиальная схема гидропривода приведена на рис. 2.

Регулирование скорости вращения гидромотора осуществляется изменением объема рабочей жидкости, подаваемой насосом. Насос обеспечивает подачу рабочей жидкости за счет изменения угла органа регулирования подачи. Максимальное откло-

### Постановка задачи

При проектировании мобильного объекта промышленного назначения система управления представляет собой сложное переплетение контуров регулирования различных параметров. В данной статье предлагается вариант построения системы управления гидропередачей транспортного робота, базирующейся на использовании алгоритма автоматической коррекции гидропередачи, при функционировании в условиях нелинейного распределения нагрузки на различных участках траектории движения.

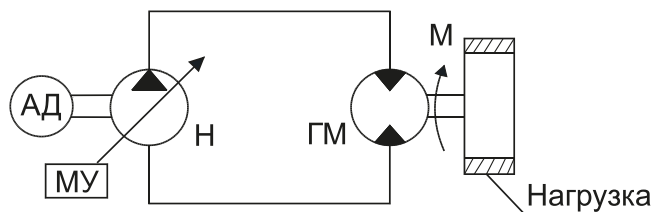


Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема гидропривода, где АД – асинхронный двигатель; МУ – механизм управления; Н – насос; ГМ – гидромотор; М – момент на валу гидромотора

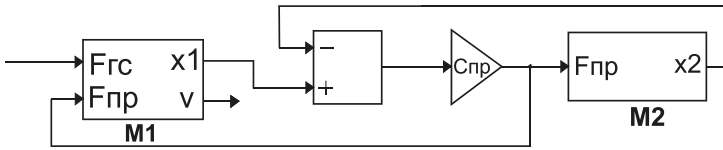


Рис. 3. Модель двухмассовой системы робот-тележка, где M1, M2 – подсистемы робота и тележки соответственно; F<sub>гс</sub> – гидростатическая сила; F<sub>пр</sub> – сила от жесткости нагрузки; x1, x2 – перемещение робота и тележки соответственно; v – скорость робота; Спр – упругое звено с люфтом

нение органа регулирования подачи соответствует максимальной производительности насоса, а следовательно, и максимальной скорости вращения гидромотора, то есть изменяя угол органа регулирования подачи, можно управлять скоростью робота. Для этого можно использовать сложный механизм управления, меняющий наклон [1], но дешевле использовать ступенчатое переключение. Эту процедуру выполняет орган регулирования подачи. У насоса четыре положения органа: нейтральное, первое, второе, третье.

**Уравнения динамики гидросистемы и механической части транспортного робота**

Транспортный робот с тележкой рассматривается как двухмассовая система (рис. 3), где тележка связана с роботом через упругую связь, что отражается на характеристиках движения робота в целом. Математическая модель двухмассовой системы представляет собой уравнение движения этих масс (1) и их связь через упругое звено с люфтом:

$$\sum_{j=1}^n F_j = 0: F_{гс} = F_{тр} + F_{ин} + F_{пр}, \quad (1)$$

где  $F_{гс} = p \cdot f$  – гидростатическая сила;  $F_{тр} = \kappa_{тр} \cdot v$  – сила трения;  $F_{ин} = m \cdot dv/dt$  – сила инерции;  $F_{пр} = c_{пр} \cdot x$  – сила от жесткости нагрузки.

Модель двухмассовой системы приведена на рис. 3.

Модель гидропередачи «насос-мотор» [2] описывается уравнением неразрывности потоков в напорной гидрوليнии:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^N Q_i = 0: Q_H = Q_{ГМ} + Q_{УТ} + Q_{СЖ}, \\ Q_H = \frac{\omega_H \cdot V_H}{2\pi} \cdot r_H, \\ Q_{ГМ} = \frac{\omega_{ГМ} \cdot V_{ГМ}}{2\pi} \cdot r_{ГМ}, \\ Q_{УТ} = K_{УТ} \cdot P, \\ Q_{СЖ} = \frac{V}{E(P)} \cdot \frac{dP}{dt}, \\ Q_3 = Q_{Н0} \cdot k, \end{cases} \quad (2)$$

где  $Q_H$  – подача насоса;  $Q_{ГМ}$  – расход, идущий на ги-

дромотор;  $Q_{УТ}$  – расход утечки;  $Q_{СЖ}$  – расход сжимаемости;  $\omega_{ГМ}, \omega_H$  – угловые скорости вращения валов гидромотора и насоса соответственно;  $V_H, V_{ГМ}$  – характерные объемы насоса и гидромотора соответственно;  $r_H, r_{ГМ}$  – относительные параметры регулирования;  $P$  – давление;  $K_{УТ}$  – коэффициент расхода утечки;  $E$  – модуль упругости жидкости;  $V$  – величина объема;  $k$  – коэффициент пропорциональности (соответствует углу отклонения органа регулирования подачи);  $Q_{Н0}$  – величина начального значения подачи насоса;  $Q_3$  – заданная величина подачи насоса, вырабатываемая микроконтроллером устройства управления гидропередачей.

**Имитационная модель системы управления гидропередачей транспортного робота**

На основе уравнений динамики разработана имитационная модель системы управления скоростью движения транспортного робота, реализованная средствами Matlab/Simulink с использованием пакета Stateflow. Имитационная модель системы управления гидропередачей имеет вид, показанный на рис. 4.

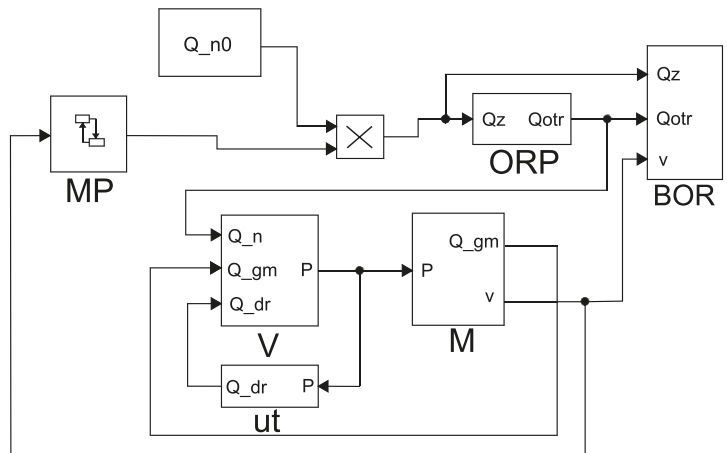


Рис. 4. Имитационная модель системы управления гидропередачей

В состав имитационной модели системы входят следующие блоки: MP – устройство автоматического управления гидропередачей: осуществляет выработку логического сигнала в зависимости от скорости движения робота на механизм управления положением органа регулирования подачи насоса; V – объемная часть: отражает уравнение расходов (2);  $Q_{n0}$  – блок насоса: генерирует постоянную подачу;  $Q_z$  – величина подачи насоса, заданная в микроконтроллере;  $Q_{otr}$  – отработанное значение подачи насоса; ORP – блок органа регулирования подачи насоса; BOR – блок отображения результатов моделирования (заданное и отработанное значения подачи насоса, скорость движения робота); M – механическая часть: включает гидромотор, нагрузку (робот с тележкой) и отражает уравнение (1); ut – блок расхода утечки.

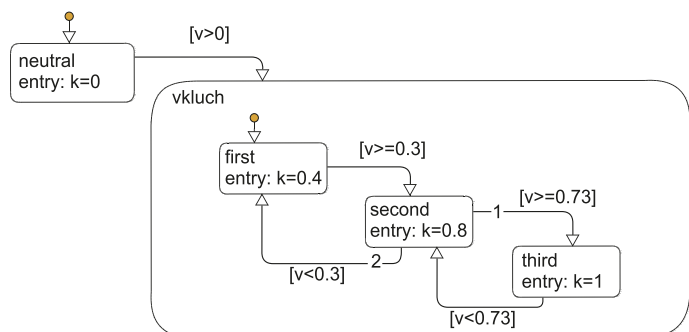


Рис. 5. Stateflow-алгоритм автоматической коррекции параметров исполнительской части транспортного робота

**Алгоритм работы устройства автоматического управления гидропередачей транспортного робота**

Рассмотрим блок МР подробнее, так как эта часть модели представляется нам наиболее важной. В модели для управления гидропередачей в зависимости от скорости робота предлагается использовать SF-программирование [3].

Алгоритм переключения положений органа регулирования подачи насоса реализуется следующим образом. В состав Stateflow-алгоритма формирования сигналов управления, поступающих на механизм управления насосом (рис. 5), входят два блока состояния. Первое состояние — neutral соответствует нейтральному положению органа (режим холостого хода), второе — vkluch соответствует включению в работу (режим движения), то есть когда орган регулирования подачи начинает отклоняться.

В начальный момент времени, когда скорость робота равна 0 (неподвижное состояние), орган находится в нейтральном положении. Когда скорость становится больше 0 (этап разгона), происходит переход из нейтрального состояния во включенное, где орган занимает первое положение по умолчанию. Включенное состояние содержит три подсостояния (первое, второе, третье положения), которые последовательно связаны между собой переходами. В переходах прописываются соответствующие условия, при выполнении которых переключение становится возможным. При достижении определенного значения скорости робота (v), поступающего с измерительной системы, орган регулирования подачи насоса поворачивается на некоторый угол пропорциональный коэффициенту k. Все условия, переменные, которые имеют отношение к алгоритму, создаются и изменяются при помощи Stateflow-проводника. Каждое положение органа регулирования подачи соответствует его отклонению на определенный угол. На выходе логического блока масштабируется в зависимости от угла наклона органа.

**Результаты моделирования**

Результаты имитационного моделирования процесса функционирования устройства автоматического управления гидропередачей транспортного робота при движении по участку пути с нелинейным законом распределения нагрузки представлены на рис. 6.

Проанализируем полученные результаты. Когда скорость движения робота отлична от нуля, происходит переключение гидропередачи на первое положение (режим трогания с места). Далее, по мере увеличения скорости с целью улучшения характеристик разгона происходит переключение во второе и третье положения. Изменение параметров сопротивления движению, приводящих к снижению скорости, способствует переключению положений с третьего на второе и т.д., благодаря заложенному алгоритму в устройстве автоматического управления гидропе-

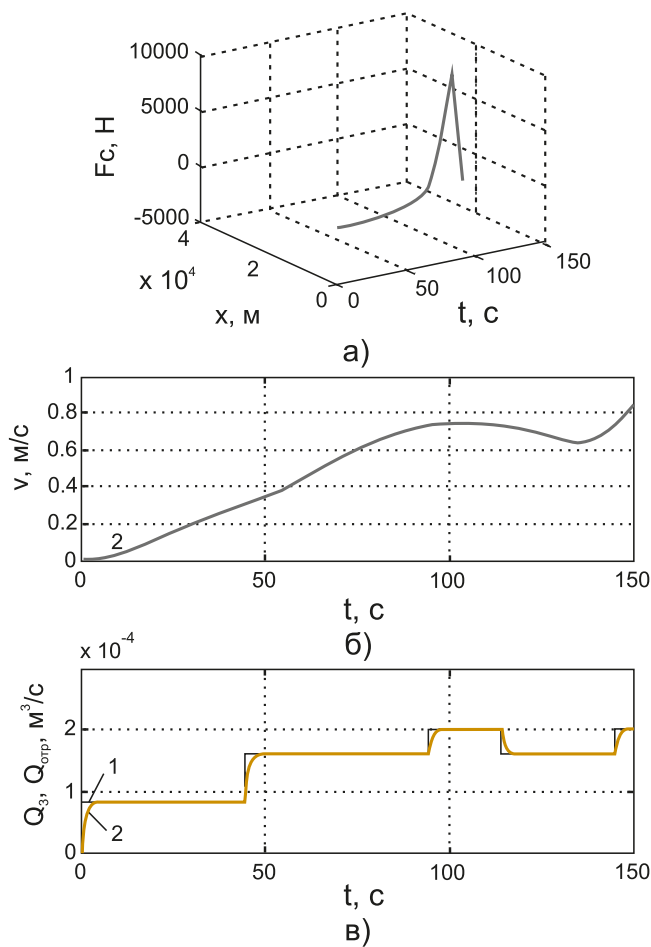


Рис. 6. Результаты имитационного моделирования процесса функционирования устройства автоматического управления гидропередачей транспортного робота при движении по участку пути с нелинейным законом распределения нагрузки:  
 а) характеристика пути движения робота (нелинейный закон распределения нагрузки отображает влияние таких факторов, как изменение веса системы робот-тележка, неравномерность поверхности, по которой движется робот и др.), где Fc – сила сопротивления движению робота, x – перемещение робота, t – время движения;  
 б) процесс изменения во времени скорости движения робота при отработки заданного маршрута;  
 в) процесс функционирования устройства автоматического управления гидропередачей робота при отработке маршрута, где кривая 1 соответствует программному изменению подачи насоса Q<sub>з</sub>, кривая 2 – процессу отработки органом регулирования подачи насоса Q<sub>OTP</sub>.

редачей. Это позволяет рационально распределять энергию силовой части гидросистемы и улучшить скоростные характеристики транспортного робота, что в свою очередь положительно отразится на эффективности процесса транспортировки грузов на предприятии.

#### Заключение

Таким образом, благодаря разработанному алгоритму, базирующемуся на обратной связи по скорости движения, в системе осуществляется автоматический режим переключения гидropередачи привода ведущих колес транспортного робота в условиях нелинейности характеристик движения за счет ступенчатого регулирования подачи насоса. Предложенная имитационная модель транспортного робота позволяет исследовать как процесс функционирования системы управления гидropередачей, так и характеристики

движения при различных условиях транспортировки грузов. Достоинством описанного алгоритма работы устройства, созданного на базе Stateflow-платформы программного комплекса MATLAB, является возможность его генерации в С-код. Это позволяет решить задачу программирования микроконтроллера для устройства управления транспортным роботом.

#### Список литературы

1. Власов А.И. Разработка математической модели гидropривода механизма подъема рабочего оборудования экскаватора // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2007. №38.
2. Дарит Я.А. Имитационные модели гидropередач // Вестник машиностроения. 2004. №5.
3. Рогачев Г.Н. Stateflow 5. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/stateflow/book1>.

*Егорова Ольга Александровна – инженер-конструктор ОАО «СКБ ПА»,  
Дарит Яков Адольфович – д-р техн. наук, проф.,  
Кузнецова Светлана Владимировна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Приборостроение»  
Ковровской государственной технологической академии им. В.А. Дегтярева.  
Контактный телефон 8-920-931-19-84.  
E-mail: Olgau108@mail.ru*

#### «Газпром добыча Астрахань» создает интеллектуальное месторождение с использованием передовых технологий

ООО «Газпром добыча Астрахань» внедрило технологии Emerson для сбора данных от интеллектуальных устройств на Астраханском газоконденсатном месторождении. Использование программного приложения AMS Device Manager компании Emerson обеспечивает повышенные меры безопасности ведения ТП, снижение эксплуатационных затрат и позволяет повысить качество и увеличить выработку товарной продукции за счет снижения простоев технологического оборудования.

Астраханский газохимический комплекс, расположенный в 70 км от Астрахани, – большое уникальное предприятие. Содержание в пластовой смеси свыше 28% сероводорода, пластовая температура 110 °С и давление более 600 атм. на глубине 4000 м требуют высокой степени автоматизации всех уровней ТП и обеспечения высокой степени надежности систем и оборудования. Поэтому ООО «Газпром добыча Астрахань» анонсировало развитие Астраханского газоконденсатного месторождения как месторождения интеллектуального типа. В рамках развития концепции интеллектуального месторождения на объекте применена система диагностики интеллектуального КИП на базе ПО AMS Device Manager от Emerson.

На Астраханском промысле насчитывается более 6000 интеллектуальных приборов – оборудования нового поколения, способного по

стандартному аналоговому каналу предоставлять дополнительную информацию о техническом состоянии прибора. Информация, поступающая от системы диагностики, сочетается с сигналами основных измерений и поступает в промышленную базу данных с соответствующими метками достоверности. Это позволяет не только осуществлять качественный контроль над месторождением, но и принимать превентивные меры, направленные на поддержание бесперебойной работы оборудования, и использовать с высокой степенью безопасности актуальные данные в системах автоматического регулирования ТП, применяемых на месторождении.

Примененный подход позволяет на основе анализа информации о работе оборудования принимать управленческие решения, направленные на повышение надежности и качества эксплуатации газового месторождения, что подтверждает актуальность и экономическую эффективность применения системы диагностики. Учитывая положительный опыт применения полевых средств контроля и ПО AMS Device Manager, применение диагностических систем и приборов компании Emerson предусматривается как обязательный элемент программно-аппаратных средств для полевого уровня при реконструкции систем автоматизации Астраханского промысла.

[Http://www.emersonprocess.ru](http://www.emersonprocess.ru)