

Научная статья
УДК 62.523

Н.В. Юрасова
*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Российская Федерация*

**Анализ нелинейностей аксиально-поршневого насоса
системы автоматического управления с электрической
обратной связью для двухзвенной гусеничной машины**

Аннотация. Проведен анализ нелинейностей аксиально-поршневого насоса гидравлической системы поворотного сцепного устройства двухзвенной гусеничной машины с целью определения их влияния на динамику поворотов. Анализ научной литературы позволил построить расчетную схему и модель для численных экспериментов и исследования нелинейностей системы автоматического управления с электрической обратной связью и учета этих нелинейностей при работе машины с учетом эксплуатационных показателей.

Ключевые слова. Двухзвенные гусеничные машины, поворотное устройство, аксиально-поршневой насос, нелинейность, модель.

Информация о статье. Дата поступления: 19 декабря 2022 г.

Original article

N.V. Yurasova
*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation*

**Analysis of the Nonlinearities of an Axial Piston Pump
of an Automatic Control System With Electric Feedback
for a Two-Link Tracked Vehicle**

Abstract. The analysis of the nonlinearities of the axial piston pump of the hydraulic system of the rotary coupling device of a two-link tracked vehicle is carried out in order to determine their influence on the dynamics of turns. The analysis of the scientific literature allowed us to build a model to consider the nonlinearities of the automatic control system with electrical feedback taking into account these nonlinearities when operating the machine with certain operational indicators.

Keywords. Two-link tracked vehicles, rotary device, axial piston pump, nonlinearity, model.

Article info. Received 19 December, 2022.

Двухзвенные гусеничные машины являются одним из видов транспортных средств, используемых для прохождения в тяжелых климатических условиях, обладающие высокими эксплуатационными ресурсами и надежностью. Управление поворотами двухзвенной гусеничной машины осуществляется с помощью руля, расположенного в кабине. Для осуществления поворотов машины с уче-

том особенностей рельефа местности требуется большая точность поворота руля и высоко квалифицированность механика-водителя. Это обуславливает актуальность вопроса учета нелинейностей системы для объекта управления в реальных условиях.

Особенностью управления двухзвенными гусеничными машинами является то, что при повороте осуществляется изменение углового положения переднего и заднего звеньев относительно друг друга. Изменение положения звеньев происходит с помощью поворотного-цепного устройства (ПСУ). Конструкция поворотного-цепного устройства позволяет независимо поворачиваться звеньям машины в горизонтальной, вертикальной и продольно-вертикальной плоскостях. Руль управления машины механически связан с золотником, питающим жидкостью рабочие силовые цилиндры, под действием которых совершается поворот звеньев относительно друг друга.

Для управления поворотным-цепным устройством двухзвенной гусеничной машины служит гидравлическая система принудительного складывания или блокирования звеньев в вертикальной плоскости, а также выполняет функцию демпфирующего элемента подвески при движении машины посредством гидроцилиндров вертикального угла складывания.

Гидравлическая система рулевого управления двухзвенных гусеничных машин состоит из двух объемных приводов: силового и привода обратной связи. Силовой привод содержит в конструкции аксиально-поршневый насос (АПН). Поворот заднего звена машины происходит с помощью силовых цилиндров, которые питаются аксиально-поршневым насосом. Напор и направление жидкости АПН управляется электродвигателем постоянного тока через редуктор. Электродвигатель питается от усиливающего устройства. Обратная связь организовывается посредством преобразователя перемещения механически связанного с поворотным-цепным устройством [1; 2]. Схема управления рулевого привода поворотами двухзвенной гусеничной машины с электрической обратной связью представлена на рис. 1.

Для осуществления поворотов машины с учетом особенностей рельефа местности проведем анализ особенностей конструкции рулевого управления.

1. Нелинейность «ограничение хода» штока аксиально-поршневого насоса.

Нелинейность «ограничение хода» штока АПН представляет собой ограничение хода по положению штока насоса. Конструктивная особенность аксиально-поршневого насоса заключается в том, что координата положения штока насоса может иметь значения только в диапазоне от $-l_{пр.}$ до $+l_{пр.}$ ($l_{пр.}$ — длина хода штока аксиально-поршневого насоса).

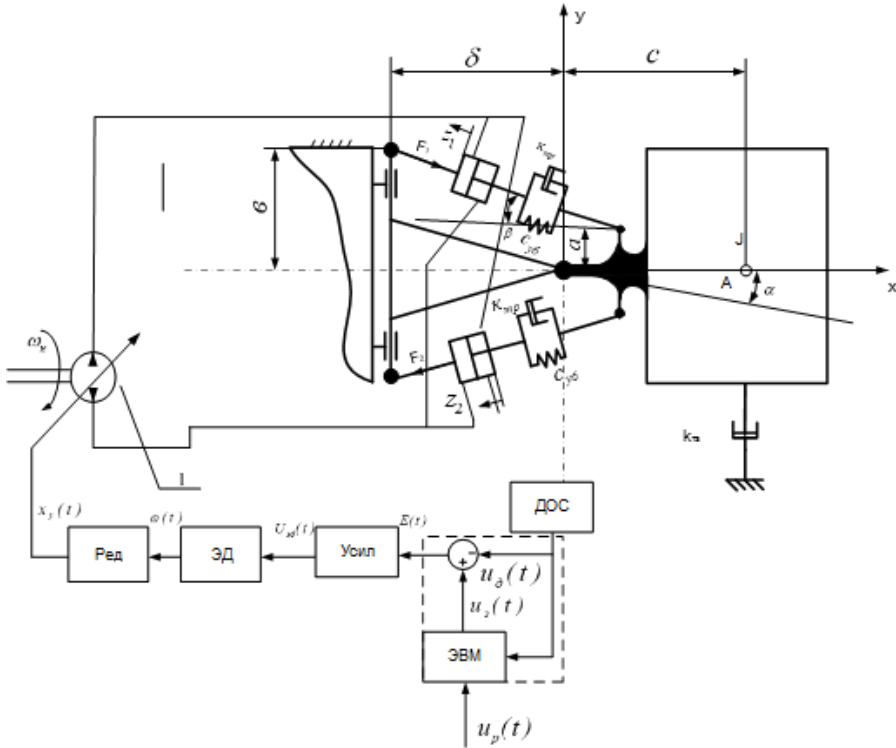


Рис. 1. Схема управления

Нелинейность «ограничение хода» можно учесть с помощью алгоритмического определения скорости движения штока и введения некоторого коэффициента «с». Уравнение нелинейности «ограничение хода» имеет следующий вид

$$m_y \frac{dx_y^2}{dt^2} + \kappa_{\text{пру}} \frac{dx_y}{dt} = F_y(p_{y1} - p_{y2}) \cdot c$$

$$v_y = \begin{cases} v_y, & \text{если } (-l_{\text{пр}} \leq x_y \leq l_{\text{пр}}); \\ v_y, & \text{если } (x_y \geq l_{\text{пр}}) \text{ и } (v_y < 0); \\ v_y, & \text{если } (x_y \leq -l_{\text{пр}}) \text{ и } (v_y > 0); \\ 0, & \text{в иных случаях.} \end{cases}$$

$$c = \begin{cases} 1, & \text{если } (-l_{\text{пр}} \leq x_y \leq l_{\text{пр}}); \\ 1, & \text{если } (x_y \geq l_{\text{пр}}) \text{ и } (p_{y1} < p_{y2}); \\ 1, & \text{если } (x_y \leq -l_{\text{пр}}) \text{ и } (p_{y1} > p_{y2}); \\ 0, & \text{в иных случаях.} \end{cases}, \quad (1)$$

где t – время; m – масса; $\kappa_{\text{тр}}$ – коэффициент трения; x_y – величина перемещения; F – сила; p – давление.

Данные условные переходы ограничивают координату штока АПН в предельных значениях, и скорость штока «обнуляется» при достижении штоком этих значений за счет коэффициента «с». При изменении знака параметра движения штока, увеличение значения его скорости начинается с нуля.

2. Нелинейность подачи плунжерной пары аксиально-поршневого насоса.

Учитывая конструкцию шайбы АПН [3–5], уравнение подачи плунжерной пары насоса для уравнения баланса расходов нагнетательной силовой линии имеет следующий вид

$$Q_{ki} = \omega \cdot \frac{\pi d^2 R_p}{4} \operatorname{tg} \beta \cdot Q_{\text{шп}i}$$

$$Q_{\text{шп}i} = \begin{cases} \sin(\omega t - k\alpha), & \text{если } (\lambda < \omega t - k\alpha < \\ < (180 - \lambda)) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (2)$$

где Q – объем жидкости; R – радиус; ω – угловая скорость; α , β – углы; d – диаметр; i – номер, зависящий от параметров АПН.

Результаты анализа нелинейностей аксиально-поршневого насоса представлены на рис. 2–6. Учет нелинейности типа «ограничение хода» приводит к уменьшению коэффициента передачи относительно линейной системы. Очевидно, что это вызвано ограничением хода штока АПН. Учет нелинейной подачи АПН резко ухудшает быстродействие и снижают коэффициент передачи всего рулевого механизма.

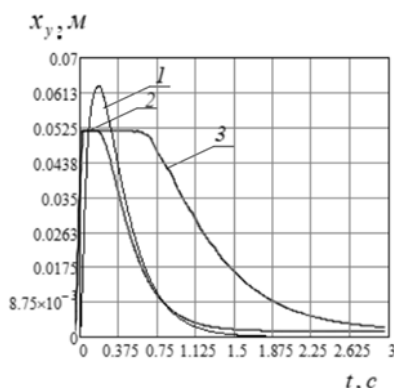


Рис. 2. Положение штока шайбы насоса АПН: 1 – для линейной системы; 2 – для модели с учетом нелинейности «ограничение хода»; 3 – для модели с учетом нелинейного распределения подач плунжерных пар АПН

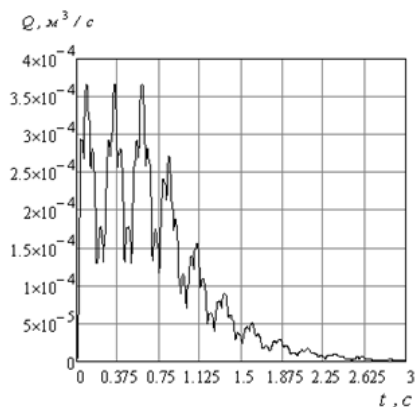


Рис. 3. Кривые подачи насоса при параметрах АПН: $z = 4$, $d = 0,02$ м

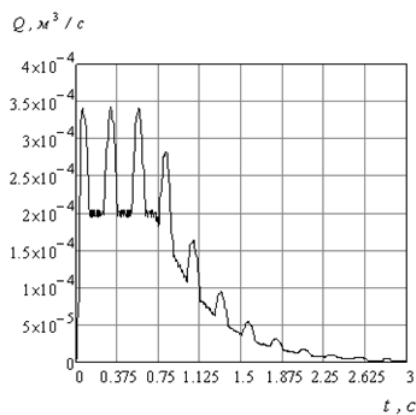


Рис. 4. Кривые подачи насоса при параметрах АПН: $z = 5$, $d = 0,02$ м

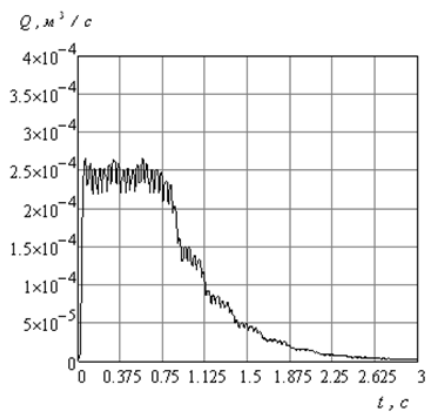


Рис. 5. Кривые подачи насоса при параметрах АПН: $z = 6$, $d = 0,02$ м

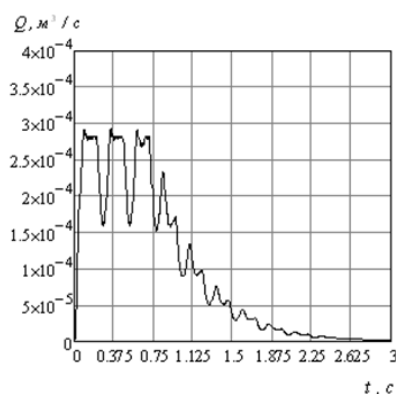


Рис. 6. Кривые подачи насоса при параметрах АПН: $z = 7$, $d = 0,02$ м

Нелинейности аксиально-поршневого насоса оказывают влияние на качество процессов в гидравлической части системы при повороте машины, вызывая колебания. Колебания системы происходят с частотой 10 Гц, которые вызывают вибрацию устройств системы. Таким образом, численные эксперименты и исследования показали, что результаты, выдаваемые моделью, являются адекватными исследуемому объекту, а разработанную методику исследований системы управления эффективной.

Список использованной литературы

1. Мунасыпов Р.А. Моделирование рулевого механизма двухзвенного гусеничного транспортера «Витязь», как нелинейного объекта управления / Р.А. Мунасыпов, Н.В. Юрасова, М.Ю. Некрасова. — EDN SRDEDY // Инновационное и цифровое машиностроение : материалы Всерос. науч.-техн. конф. — Уфа, 2021. — С. 186–191.
2. Юрасова Н.В. Исследование нелинейностей системы управления рулевого привода двухзвенного гусеничного транспортера «Витязь» с электрической обратной связью / Н.В. Юрасова. — EDN MKOZUK // Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации : материалы второй Всерос. науч.-практ. конф., Белебей, 21 апр. 2021. — Самара, 2021. — С. 85–87.
3. Прокофьев В.Н. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод / В.Н. Прокофьев. — Москва : Машиностроение, 1969. — 496 с.
4. Математическое моделирование рулевого механизма двухзвенного транспортера «Витязь» с гидравлической обратной связью / А.И. Ильин, Т.Р. Сайфеев, В.А. Целищев [и др.]. — EDN QISVUB // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2013. — Т. 17, № 1 (54). — С. 73–78.
5. Сравнительный анализ нелинейностей математической модели рулевого механизма двухзвенного транспортера «Витязь» с гидравлической обратной связью / И.А. Ильин, А.М. Пугин, Т.Р. Сайфеев [и др.]. — EDN RKNPZT // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2013. — Т. 17, № 4 (57). — С. 61–69.

References

1. Munasypov R.A., Yurasova N.V., Nekrasova M.Y. Simulation of the Steering Mechanism of the Two-link Tracked «Vityaz» Transporter as a Nonlinear Control Object. *Innovative and digital engineering. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conferences*. Ufa, 2021, pp. 186–191. (In Russian). EDN: SRDEDY.
2. Yurasova N.V. Investigation of the nonlinearities of the control system of the steering drive of the two-link caterpillar carrier "Vityaz" with electrical feedback. *Modern Science: Actual Problems, Achievements and Innovations. Materials of the Second All-Russian Scientific and Practical Conference, Belebey, April 21, 2021*. Samara, 2021, pp. 85–87. (In Russian). EDN: MKOZUK.
3. Prokofev V.N. *Axial-piston adjustable hydraulic drive*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1969. 496 p.
4. Ilyin A.I., Sayfiev T.R., Khusnutdinov D.Z., Tselishchev V.A., Yarullin V.A. Mathematical Modeling Steering Gear Two-Tier Transporter "Vityaz" with Hydraulic Feedback. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta = Ufa State Aviation Technical University*, 2013, vol. 17, no. 1, pp. 73–78. (In Russian). EDN: QISVUB.
5. Ilin A.I., Pugin A.M., Saifeev T.R., Khusnutdinov D.Z., Celishev V.A., Yarullin C.A. Comparative Analysis of Nonlinear Mathematical Models Steering Feeds Machines with Two Links "Vityaz" with Hydraulic Feedback. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta = Ufa State Aviation Technical University*, 2013, vol. 17, no. 4, pp. 61–69. (In Russian). EDN: RKNPZT.

Информация об авторе

Юрасова Наталья Владимировна — старший преподаватель, кафедра теории и технологии механообработки, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: elan_ugatu@mail.ru.

Information about the Author

Natalia V. Yurasova — Senior Lecturer, Department of Theory and Technology of Machining, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation, e-mail: elan_ugatu@mail.ru.

Для цитирования

Юрасова Н.В. Анализ нелинейностей аксиально-поршневого насоса системы автоматического управления с электрической обратной связью для двухзвенной гусеничной машины / Н.В. Юрасова. — DOI 10.17150/2713-1734.2022.4(4).295-301 // *System Analysis & Mathematical Modeling*. — 2022. — Т. 4, № 4. — С. 295–301.

For Citation

Yurasova N.V. Analysis of the Nonlinearities of an Axial Piston Pump of an Automatic Control System With Electric Feedback for a Two-Link Tracked Vehicle. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2022, vol. 4, no. 4, pp. 295–301. (In Russian). DOI: 10.17150/2713-1734.2022.4(4).295-301.