

DOI: 10.58168/E-SESTTI2025_386-389

УДК 630:62-91

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ДЕМПИРУЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА ГИДРОПРИВОДА ЛЕСНОГО МАНИПУЛЯТОРА**
MATHEMATICAL MODEL OF THE MAGNETIC DAMPING DEVICE OF THE
HYDRAULIC DRIVE OF THE FORESTRY MANIPULATOR

Полумиско А.А., преподаватель СПО, аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Сидоров А.А., преподаватель, к.т.н. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Попиков П.И., профессор, д.т.н. ФГБОУ ВО «Воронежский Государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Polumisko A.A., teacher of secondary vocational education, postgraduate student Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Sidorov A.A., lecturer, PhD in Engineering Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Popikov P.I., professor, Doctor of Engineering Sciences Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Аннотация: Анализ научных и технических источников подтверждает, что проблема снижения динамических нагрузок и повышения надежности лесотранспортных машин остается актуальной для лесозаготовительной отрасли. В рамках исследования был предложен усовершенствованный грузоподъемный механизм гидроманипулятора, включающий в свою конструкцию демпфирующее устройство, предназначенное для уменьшения ударных нагрузок в процессе работы. Разработана математическая модель движения плунжера магнитного демпфера, позволяющая описать его динамику в системе гидропривода. Внедрение данной технологии способствует повышению надежности гидравлических систем лесных манипуляторов и снижению энергетических затрат, что делает эксплуатацию техники более эффективной.

Abstract: An analysis of scientific and technical sources confirms that the problem of reducing dynamic loads and increasing the reliability of forestry machines remains relevant for the logging industry. As part of the study, an improved lifting mechanism of a hydraulic manipulator was proposed, which includes a damping device in its design, designed to reduce impact loads during operation. A mathematical model of the movement of the magnetic damper plunger has been developed, allowing us to describe its dynamics in the hydraulic drive system. The introduction of this technology helps to increase the reliability of hydraulic systems of forestry manipulators and reduce energy costs, which makes the operation of equipment more efficient.

Ключевые слова: магнитный демпфер; гидропривод; динамические нагрузки; гидроманипулятор; математическая модель.

Keywords: magnetic damper; hydraulic drive; dynamic loads; hydraulic manipulator; mathematical model.

Эффективность лесозаготовительных процессов во многом зависит от технического состояния и надежности оборудования, используемого при выполнении погрузочно-разгрузочных операций. Важной задачей является минимизация перегрузок в гидравлических системах, возникающих при резких изменениях режимов работы, что приводит к преждевременному износу узлов и снижению ресурса машин. Особенно актуальна эта проблема для манипуляторных механизмов, в конструкции которых предусмотрены гидроцилиндры, подверженные ударным нагрузкам при работе с древесиной.

Одним из методов повышения плавности работы грузоподъемных устройств является использование демпфирующих механизмов, способных компенсировать резкие изменения давления в системе. Перспективным решением в данной области является внедрение магнитных демпферов, обеспечивающих контролируемое гашение колебаний за счет взаимодействия магнитных полей. Подобные устройства могут не только снижать динамические нагрузки, но и уменьшать потребление энергии, особенно при манипуляциях с малогабаритными грузами.

Нами предложен усовершенствованный грузоподъемный механизм гидроманипулятора, включающий в свою конструкцию демпфирующее устройство, предназначенное для уменьшения ударных нагрузок в процессе работы [1]. При всплеске давления в гидролиниях гидроцилиндра подъема стрелы, содержащие гибкие рукава высокого давления часть рабочей жидкости, равная объему деформации упругих элементов гидропривода, поступает через регулируемый дроссель 1 в магнитное демпфирующее устройство 3, перемещая подвижный поршень 6, например, влево, при этом между одноименными полюсами N подвижного поршня 6 и неподвижной перегородки 8 возникает упругая отталкивающая сила, гасящая всплеск давления, и рабочая жидкость вытесняется через дроссельное отверстие 9 в полость между неподвижной перегородкой 8 и подвижным поршнем 7. При всплеске давления в противоположной гидролинии часть рабочей жидкости, равная объему деформации упругих элементов гидропривода, поступает через регулируемый дроссель 2 в магнитное демпфирующее устройство 3, перемещая подвижный поршень 7 вправо, при этом между одноименными полюсами S подвижного поршня 7 и неподвижной перегородки 8 возникает упругая отталкивающая сила, гасящая всплеск давления, и рабочая жидкость вытесняется через дроссельное отверстие 9 в полость между неподвижной перегородкой 8 и подвижным поршнем 6. Составлена расчетная схема магнитного демпфирующего устройства гидропривода грузоподъемного механизма автосортиментовоза (рисунок 1). Уравнение движения магнитного плунжера имеет вид [2-4]:

$$m_A \frac{d^2 x_A}{dt^2} = pA_n - \frac{B_r^2 A}{2\mu_0} \left(\frac{1}{(x_A + L)^2} - \frac{1}{x_A^2} \right) - k_A \frac{dx_A}{dt} \quad (1)$$

где m_d – масса плунжера демпфера, кг; p – давление рабочей жидкости, Па; $A_n = \frac{\pi d_n^2}{4}$ – площадь поршня демпфера, м²; B_r – остаточная индукция магнита, Тл; $A = \frac{\pi D^2}{4}$ – площадь торца магнита, м²; D – диаметр магнита, м; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, $\frac{Н}{А \cdot м}$; x_d – текущее расстояние между магнитами (ход поршня), м; L – длина магнита, м; k_d – коэффициент трения плунжера демпфера, $\frac{Н \cdot с}{м}$.

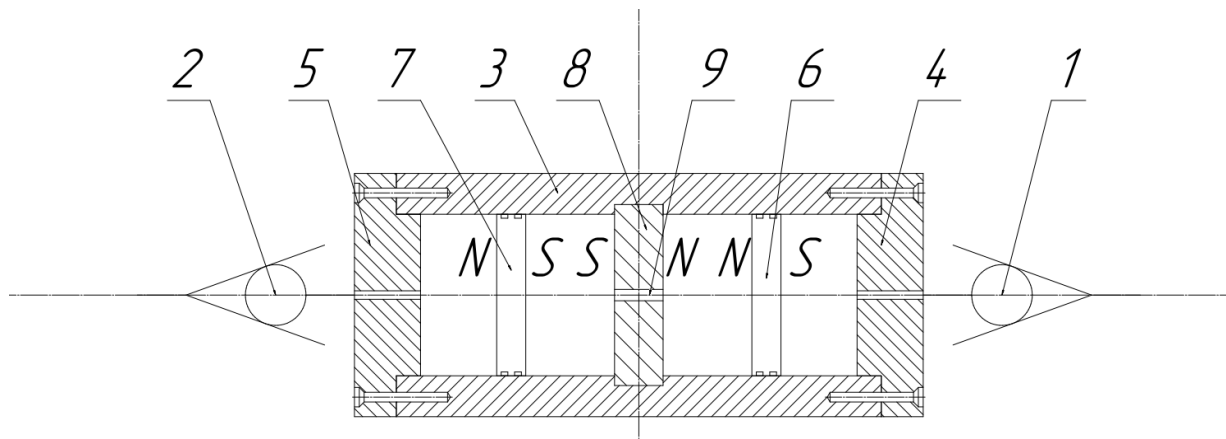


Рисунок 1 – Расчетная схема магнитного демпфирующего устройства в гидроприводе механизма подъема стрелы.

Для составления дифференциального уравнения (1) используется теория приближенного метода оценки силы взаимодействия между двумя соосными цилиндрическими магнитами основывается на анализе их магнитного поля и магнитной энергии. Основная идея заключается в том, что два магнита взаимодействуют за счёт градиента магнитного поля и стремятся уменьшить свою потенциальную энергию [3].

Использование данной модели позволяет оптимизировать конструкцию магнитного демпфера, выбирая соответствующие параметры магнитов, оценивать динамику работы устройства и определять граничные условия для управления его работой, а также повышать эффективность демпфирования в гидравлических системах манипуляторов.

Список литературы

1. Патент № 230802 U1 Российская Федерация, МПК В66С 13/42. Гидропривод механизма подъема стрелы лесного манипулятора с магнитным демпфирующим устройством: № 2024127518 : заявл. 18.09.2024: опубл. 19.12.2024 / А.А. Сидоров, П.И. Попиков, Е.В. Поздняков, И.Д. Евсиков, А.А. Полумиско, П.А. Пуятин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".
2. Ячиков, И.М., Ширяев, В.И. Определение динамических параметров постоянного магнита при его удержании в импульсном магнитном поле / И.М. Ячиков, В.И. Ширяев //

Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 111–122. – DOI: 10.14529/ctcr200312.

3. Саранин, В.А. Экспериментальное исследование движения магнитного диполя по проводящей поверхности / В.А. Саранин // Вестник Пермского университета. Физика. – 2017. – № 3 (37). – С. 48–53. – DOI: 10.17072/1994-3598-2017-3-48-53.

4. Исмагилов Ф. Р., Саттаров Р. Р. Электромагнитные процессы в электромеханических демпфирующих элементах // Электричество. 2008. №10. С. 47–52.

References

1. Patent No. 230802 U1 Russian Federation, IPC B66C 13/42. Hydraulic drive of the boom lifting mechanism of a forestry manipulator with a magnetic damping device: No. 2024127518: declared 18.09.2024: published 19.12.2024 / A.A. Sidorov, P.I. Popikov, E.V. Pozdnyakov, I.D. Evsikov, A.A. Polumisko, P.A. Putyatin; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov".

2. Yachikov, I.M., Shiryaev, V.I. Determination of the dynamic parameters of a permanent magnet when it is held in a pulsed magnetic field / I.M. Yachikov, V.I. Shiryaev // Bulletin of SUSU. Series "Computer technologies, control, radio electronics". - 2020. - Vol. 20, No. 3. - P. 111-122. - DOI: 10.14529/ctcr200312.

3. Saranin, V.A. Experimental study of the motion of a magnetic dipole along a conducting surface / V.A. Saranin // Bulletin of Perm University. Physics. - 2017. - No. 3 (37). - P. 48-53. - DOI: 10.17072/1994-3598-2017-3-48-53.

4. Ismagilov F.R., Sattarov R.R. Electromagnetic processes in electromechanical damping elements // Electricity. 2008. No. 10. P. 47–52.

Примечание. Работа выполнена при поддержке внутреннего гранта ВГЛТУ, руководитель преподаватель СПО, аспирант Полумиско А.А. «Выявление закономерностей режимов работы магнитного демпфирующего устройства гидропривода лесного манипулятора».