

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО
ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА СТРЕЛЫ
С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДЕМПФИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ
НА ЛЕСНЫХ ГИДРОМАНИПУЛЯТОРАХ**

Полумиско А.А., Путятин П.А.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**ON THE ISSUE OF USING AN ENERGY-SAVING HYDRAULIC DRIVE
BOOM LIFTING MECHANISM WITH AN ELECTROMAGNETIC
DAMPING DEVICE ON FOREST HYDRAULIC MANIPULATORS**

Polumisko A.A., Putyatin P.A.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

Аннотация: Рассмотрены конструкции энергосберегающих гидроприводов механизмов подъема стрелы лесных манипуляторов с интеграцией электромагнитных демпфирующих устройств. Проанализированы существующие технические решения, включая модели с гидроаккумуляторами и пневматическими компонентами. Рассматриваются перспективы применения электромагнитных демпферов в лесной технике.

Abstract: The designs of energy-efficient hydraulic drives for the boom lifting mechanisms of forestry manipulators with integrated electromagnetic damping devices are examined. Existing technical solutions are analyzed, including models with hydraulic accumulators and pneumatic components. The prospects for the application of electromagnetic dampers in forestry machinery are discussed.

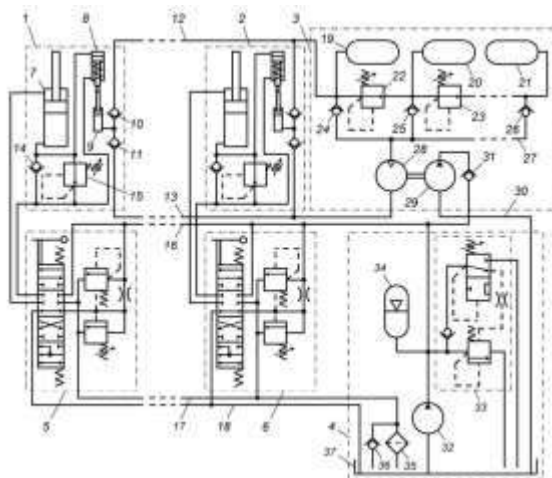
Ключевые слова: гидропривод, демпфер, манипулятор, лесная техника, колебания, энергосбережение, гидроаккумулятор.

Keywords: hydraulic drive, damper, manipulator, forestry machinery, vibrations, energy saving, hydraulic accumulator.

В настоящее время учеными различных вузов продолжают поисковые исследования новых конструкций энергосберегающих гидроприводов для повышения эффективности работы лесной техники.

В частности, коллектив авторов (М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, Д.Ю. Дручинин, В.П. Попиков и А.В. Конюхов [1]) предложили энергосберегающий гидропривод для механизма подъема стрелы лесного манипулятора (рис. 1.). В конструкции используются гидробак 1, насос 2, распределитель 3 и гидроцилиндры 4, которые снижают энергозатраты при подъеме стрелы 5 и восстанавливают энергию при ее опускании. Важной особенностью является гидроакку-

Исследование [2] авторов В.И. Посметьева, В.О. Никонова, В.В. Посметьева посвящено применению пневматической энергосберегающей системы в гидроприводе манипулятора лесовозного автомобиля (рис.2). Авторы разработали систему для накопления и преобразования энергии сжатого воздуха, которая используется в процессе погрузки и разгрузки лесоматериалов. С помощью имитационного моделирования авторы оценили эффективность этой системы и оптимизировали внутренний диаметр пневмоцилиндров 9, что улучшает КПД. Исследования показали, что увеличение диаметра цилиндров повышает эффективность, однако это также приводит к большему сопротивлению механической системы.



129

В работе [3] Е.В. Сидоров и Р.И. Тюкавнин предложили конструкцию пассивного электромагнитного демпфера (рис. 3) для поглощения колебаний без внешнего питания и систем управления. Узел выполнен как алюминиевый «стакан»-ротор 3 на валу 1 с единственной степенью свободы (вращение), внутри которого жестко установлен цилиндрический магнитопровод 4 из мягкого магнитного материала; выборки в нем служат опорами подшипников 2 для свободного торца ротора.

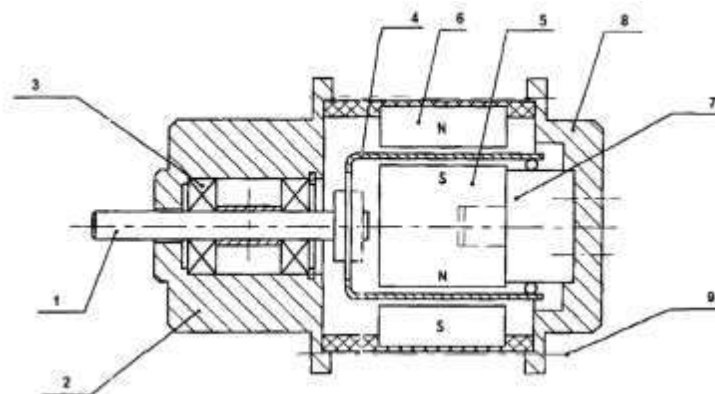
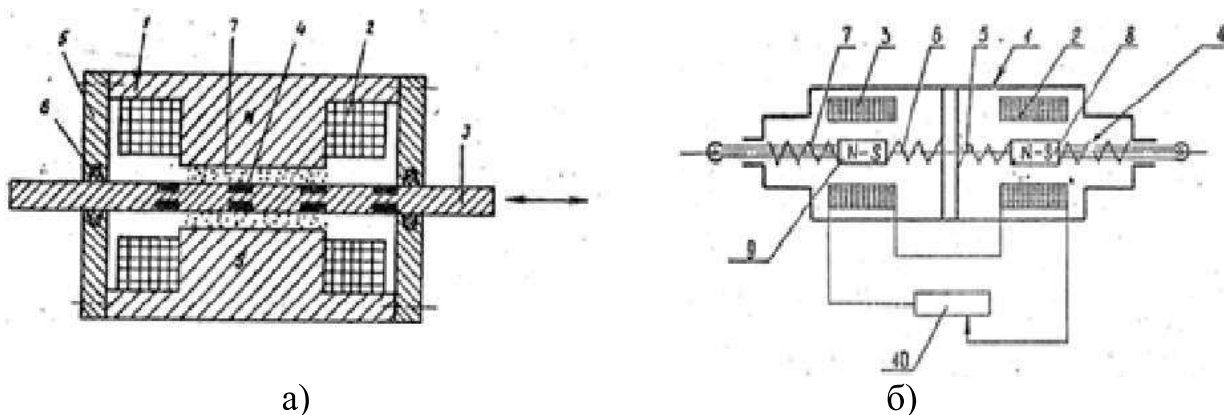


Рисунок 3 – Электромагнитный демпфер по патенту RU2287729C1 [3]

Снаружи расположен многополюсный статор: магнитопровод с закрепленными на внутренней поверхности высокоэнергетическими постоянными магнитами (NdFeB) 5. Торможение создается взаимодействием вихревых токов, индуцируемых в алюминиевом роторе, и поля статора; итоговый тормозной момент растет с угловой скоростью, что обеспечивает энерго-поглощение без активных приводов. Авторы дают рекомендуемые геометрические соотношения для настройки поля: толщина магнита $h = (0,15 \dots 0,3)r$ и длина наружной дуги $B = (0,5 \dots 0,8)2\pi r/n$, где r – внутренний радиус магнитопровода, n – число магнитов; отклонение за пределы этих интервалов заметно ухудшает магнитный поток. Указаны ориентиры по материалам (NdFeB с $B_r \geq 1,1$ Тл). Патент фиксирует компоновку и параметрические требования, позволяющие получить отсутствие колебательных процессов и гидравлических параметров.

Конструкция электромагнитного демпфера была спроектирована И.Х. Хайруллиным, В.С. Сыромятниковым, Н.К. Потапчуком, Ю.В. Афанасьевым и В.Н. Кузьминым [4]. В его состав входит электромагнит 1 с катушкой 2 возбуждения и подвижный активный элемент 3 (рис. 4, а). Ключевым элементом является ферропорошок 7. Он размещается в пазах 4 между активным элементом и ферромагнитным сердечником и при колебательных перемещениях создает сопротивление, зависящее от индукции магнитного поля. В процессе движения ферропорошок выполняет роль вязкоупругой среды, преобразуя кинетическую энергию в тепловую и обеспечивая эффективное демпфирование.



а) по патенту № 627273 [4]; б) по патенту SU1774099A1 [5]
Рисунок 4 – Электромагнитный демпфер

Конструкция может быть адаптирована для применения в гидроприводах лесных манипуляторов, где необходимо снижение динамических нагрузок при работе стрелы.

В работе [5] П.П. Стрельцов и М.В. Дорош предложили электромагнитный демпфер, выполненный в виде двух электромагнитных гасителей (рис. 4, б), каждый из которых содержит корпус 1 с электрической обмоткой 2, 3 и подвижный магнитный якорь 8, 9. Основной и дополнительный гасители расположены встречно и связаны друг с другом упругой связью 4-7, а их обмотки соединены электрически последовательно. При колебательных смещениях возникает дополнительная ЭДС, создающая магнитное поле в обмотке второго гасителя и повышающая эффективность поглощения энергии.

Такое конструктивное решение обеспечивает расширение диапазона регулирования и улучшает устойчивость демпфирования. Авторы отмечают, что применение подобного устройства позволяет значительно повысить эффективность подавления инерционных колебаний.

Коллектив авторов (Ю.Н. Журавлев, П.В. Киселев, А.Г. Хростицкий) предложил [6] электромагнитный демпфер для гашения поступательных колебаний узлов машин (рис. 5). Конструкция включает основную и дополнительную обоймы 3, 4 с электрическими обмотками 1, 2, установленные на цилиндрическом стержне 5. Внутри обойм выполнены группы канавок 6-9 в виде пучков стержней 10, равномерно расположенных по окружности; канавки дополнительной обоймы смещены относительно канавок основной, что повышает эффективность взаимодействия.

При осевом смещении стержня в зазорах индуцируются токи, формирующие силы сопротивления, преобразующие энергию колебаний. Дополнительно применяется система автоматического управления током обмоток, которая с помощью интегрально-дифференциального звена 12 и усилителей 14, 15 регулирует сигналы датчиков 11. Это позволяет изменять жёсткость и коэффициент демпфирования в широком диапазоне.

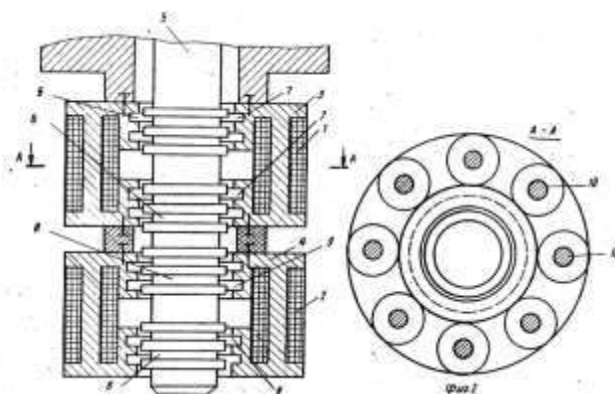


Рисунок 5 – Электромагнитный демпфер по патенту № 846883 [6]

Проанализировав существующие решения, представленные в [1–6], стало очевидно, что, несмотря на эффективность предлагаемых конструкций, сохраняется потребность в более комплексном подходе к снижению энергопотерь и колебательных процессов в гидроприводах лесных манипуляторов. Это послужило основой для разработки нового устройства – энергосберегающего гидропривода механизма подъема стрелы лесного манипулятора с демпфирующим устройством. Предложенная конструкция включает: основной гидроцилиндр подъема стрелы; параллельно подключённый гидроцилиндр рекуперации энергии, обеспечивающий частичный возврат энергии при опускании стрелы; автономный гидроаккумулятор, не связанный напрямую с насосом, что позволяет производить подзарядку за счёт специального трубопровода и обратных клапанов; и электромагнитное демпфирующее устройство, в котором сочетаются постоянные магниты и катушки с регулируемым током, позволяющие адаптивно изменять силу сопротивления в зависимости от условий работы.

Между напорной и сливной гидролиниями гидроцилиндра установлены регулируемые дроссели и демпфирующее устройство, которое стабилизирует поток рабочей жидкости и снижает амплитуду пульсаций давления. Это особенно актуально в переходных режимах, таких как резкий подъем или остановка стрелы, когда традиционные системы подвержены возникновению вредных вибраций и пиковых нагрузок.

Разработанная система способствует не только снижению энергозатрат и повышению плавности работы манипулятора, но и увеличивает ресурс всей гидросистемы. В условиях лесной промышленности, где оборудование подвергается значительным динамическим воздействиям и работает в сложной рельефной среде, подобное решение обеспечивает устойчивость и безопасность при выполнении погрузочно-разгрузочных операций.

Список литературы

1. Патент № 2774481 С1 Российская Федерация, МПК В66С 13/42. Энергосберегающий гидропривод механизма подъема стрелы лесного манипулятора: № 2021139125 : заявл. 27.12.2021: опубл. 21.06.2022 / М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, Д.Ю. Дручинин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова».

2. Посметьев В.И. Имитационное моделирование работы пневматического энергосберегающего гидропривода манипулятора лесовозного автомобиля / В.И. Посметьев, В.О. Никонов, В.В. Посметьев // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. – Воронеж: ВГАУ, 2020. – С. 145-149.

3. Патент № 2287729 С1 Российская Федерация, МПК F16F 6/00. Электромагнитный демпфер № 2005112133/11 : заявл. 22.04.2005 : опубл. 20.11.2006 / Е.В. Сидоров, Р.И. Тюкавин.

4. Авторское свидетельство № 627273 А1 СССР, МПК F16F 6/00. Электромагнитный демпфер: № 2369849: заявл. 01.06.1976 : опубл. 05.10.1978 / И.Х. Хайруллин, В.С. Сыромятников, Н.К. Потапчук [и др.]; заявитель Уфимский авиационный институт имени Орджоникидзе.

5. Авторское свидетельство № 1774099 А1 СССР, МПК F16F 6/00. Электромагнитный демпфер: № 4756095: заявл. 01.11.1989: опубл. 07.11.1992 / П.П. Стрельцов, М.В. Дорош.

6. Авторское свидетельство № 846883 А1 СССР, МПК F16F 6/00. Электромагнитный демпфер: № 2832387: заявл. 19.10.197 : опубл. 15.07.1981 / Ю.Н. Журавлев, П.В. Киселев, А.Г. Хростицкий ; заявитель Псковский филиал ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина.

References

1. Patent № 2774481 C1 Russian Federation, IPC B66C 13/42. Energy-saving hydraulic drive for the boom lifting mechanism of a forestry manipulator: № 2021139125: declared 27.12.2021: published 21.06.2022 / M.V. Drapaluk, P.I. Popikov, D.Yu. Druchinin [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov».

2. Posmetev V.I. Simulation modeling of the operation of a pneumatic energy-saving hydraulic drive of a timber truck manipulator / V.I. Posmetev, V.O. Nikonov, V.V. Posmetev // Energy efficiency and energy saving in modern production and society. – Voronezh: VSAU, 2020. – pp. 145–149.

3. Patent № 2287729 C1 Russian Federation, IPC F16F 6/00. Electromagnetic damper: № 2005112133/11: declared 22.04.2005: published 20.11.2006 / E.V. Sidorov, R.I. Tyukavin.

4. Author's certificate № 627273 А1 USSR, IPC F16F 6/00. Electromagnetic damper: № 2369849: declared 01.06.1976: published 05.10.1978 / I.Kh. Khairullin, V.S. Syromyatnikov, N.K. Potapchuk [et al.]; applicant Ufa Aviation Institute named after Ordzhonikidze.

5. Author's certificate № 1774099 А1 USSR, IPC F16F 6/00. Electromagnetic damper: № 4756095: declared 01.11.1989: published 07.11.1992 / P.P. Streltsov, M.V. Dorosh.

6. Author's certificate № 846883 А1 USSR, IPC F16F 6/00. Electromagnetic damper: № 2832387: declared 19.10.1979: published 15.07.1981 / Yu.N. Zhuravlev, P.V. Kiselev, A.G. Khrostitsky; applicant Pskov branch of the Leningrad polytechnic institute named after M.I. Kalinin.