

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИЙ МАГНИТНЫХ ДЕМПФИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Полумиско Александр Алексеевич

*аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин,
преподаватель СПО кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ
E-mail: alex-polumisko@mail.ru*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DESIGN FEATURES AND RESEARCH OF MAGNETIC DAMPING DEVICES OF TECHNOLOGICAL MACHINES

Polumisko Alexander Alexeevich

*Post-graduate student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design,
lecturer of the Department of General and Applied Physics, Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

Аннотация. В работе проведен обзор магнитных демпфирующих устройств для технологических машин, рассмотрены магнитоэлектрические и электромагнитные демпферы. Сравнительный анализ выявил наиболее эффективные конструкции, включая гидравлические и самовозбуждающиеся демпферы.

Abstract. The article reviews magnetic damping devices for technological machines, focusing on magnetorheological and electromagnetic dampers. A comparative analysis identified the most effective designs, including hydraulic and self-exciting dampers.

Ключевые слова: демпфирующие устройства, системный анализ; многокритериальный метод сравнения; магнитные демпферы; конструктивная схема; технологические машины.

Keywords: damping devices, systems analysis, multicriteria comparison method, magnetic dampers, design scheme, technological machines.

Современные технологии управления колебаниями и вибрациями в различных отраслях промышленности, таких как машиностроение, используют магнитоэлектрические и магнитоэлектрические демпферы с различными наполнителями. Эти устройства применяются для гашения вибраций и колебаний, повышения стабильности систем и обеспечения их надёжности в экстремальных условиях эксплуатации.

При принятии решения о выборе оптимальной конструктивной схемы демпфера важно провести сравнение по величине колебаний давления, гасимых демпфером, его габаритам и надёжности, а также учесть размеры и массу поршня. Поэтому проблему придется решать в рамках системного комплексного подхода. Необходимо понимать, что выбор является поиском компромиссного решения с учетом ситуации применения манипулятора в сложных условиях. [6].

Целью данной работы является на примере сравнительного анализа новейших конструктивных схем магнитных демпфирующих устройств продемонстрировать возможности применения методов многокритериального анализа при выборе оптимального варианта в рамках системного подхода.

На первом этапе комплексных методов поддержки систем принятия решения необходимо определиться с возможными вариантами конструктивных схем

демпфирующих устройств. На настоящий момент нет единого мнения о том, какие демпферы наиболее эффективны в машиностроении. Будут рассмотрены некоторые виды магнитных демпферов, которые используются и показывают высокую эффективность в работе технологических машин. Первый из них самовозбуждающийся магнитожидкостный электромеханический демпфер. Его основными элементами являются: ферромагнитный корпус (1), торцовая ферромагнитная верхняя крышка (2), торцовая ферромагнитная нижняя крышка (3), ферромагнитная перегородка (4), магнитная жидкость (5), соленоидная якорная катушка (6), шток (7), уплотнительные кольца (8), кольцевой зазор (9), катушка управления (10), немагнитный цилиндрический кожух (11), кольцевые полюса (12), кольцевой постоянный магнит (13), провода (14), управляющее устройство (15), внешний источник питания (16) (рис 1).

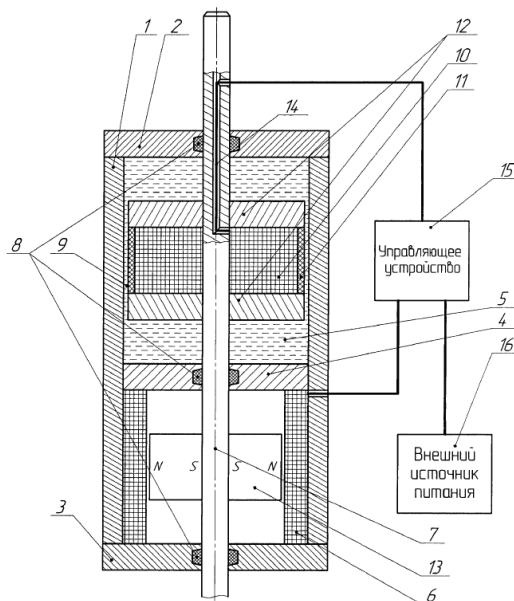


Рисунок 1. Самовозбуждающийся магнитожидкостный электромеханический демпфер по патенту RU205731U1 [1]

Данное изобретение создано для расширения рабочего диапазона гашения колебаний с возможностью его автоматического регулирования и, как следствие, увеличения эффективности демпфирования.

В патенте RU2343491C2 [2] рассмотрена конструктивная схема, содержащая: пару магнитных полюсов (1), электропроводящий элемент (ротор) (2), силовые линии магнитного поля (линии магнитной индукции) (3), силовые линии краевых магнитных потоков рассеяния (4), выступы электропроводящего элемента (А), направление вращения электропроводящего элемента (В) (рис 2). Указанные элементы установлены с возможностью их относительного перемещения. Отличие данной демпфирующей системы состоит в том, что электропроводящий элемент выполнен, по крайней мере, с одним выступом, выступающим за габариты магнитных полюсов так, что он максимально приближен, по меньшей мере, к одному магнитному полюсу и пронизывается по высоте его краевыми магнитными потоками, при этом площадь выступа в любом сечении, перпендикулярном направлению перемещения, выбрана из условия обеспечения минимально возможного электрического сопротивления для индуцируемых в электропроводящем элементе вихревых токов.

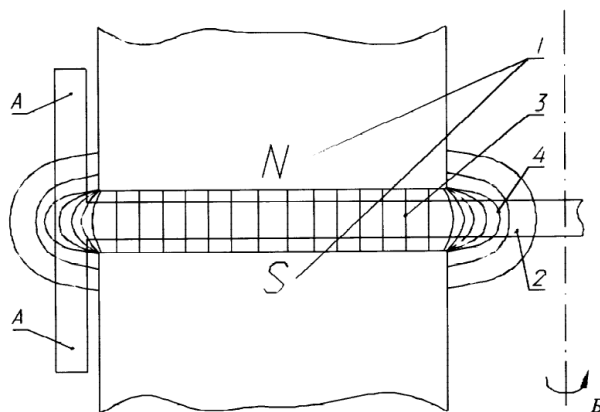


Рисунок 2. Магнитоиндукционный демпфер по патенту RU2343491C2 [2]

Важно отметить, что использование данной конструкции обеспечивает уменьшение массогабаритных характеристик, увеличение коэффициента демпфирования и повышение жёсткости электропроводящего элемента.

Адаптивное устройство-демпфер по патенту RU185576U1 является осевым демпфером с пассивным регулятором магнитной силы (рис. 3), выполняющим функцию магнитной опоры. Осевой демпфер состоит из двух упругих частей (1), (2), выполненных из резины, вращающейся вал (3), вогнутый конус (4), выпуклый конус (5), жесткий подшипник (6), магнитные вставки (7), (8) (постоянные магниты цилиндрической формы), четыре кольцевые канавки (9), металлические стаканы с отверстиями (10), (11). Данная конструкция выполнена с возможностью демпфирования осевых колебаний быстровращающихся валов в виде осевого демпфера с пассивным регулятором, выполняющего функцию магнитной опоры. В упругой части с выпуклым конусом установлены выступающие над контактирующей поверхностью магнитные вставки, образующие concentрические ряды с расположением магнитных вставок в шахматном порядке для обеспечения ступенчатого взаимодействия с магнитными вставками, утопленными в соответствующих кольцевых канавках упругой части с вогнутым конусом, причем магнитные вставки в упругих частях установлены с расположением одноименных полюсов навстречу друг другу.

Представленное демпфирующее устройство позволяет упростить конструкцию за счет пассивного регулирования управлением устройства и в расширении арсенала технических средств для гашения колебаний в быстровращающихся роторах.

Электростатический демпфер (рис 4) по патенту RU2656232C1 состоит из: герметичный корпус (1), вал (2), подвижный элемент (3), металлические электроды (4), зазор между электродами и поверхностью подвижного элемента (5), диэлектрическая среда (6), два управляющих винта (7), шестерня (8), внешняя шестерня (9), передний щит (10), задний щит (11), основание ротора (12), пружина (13). Данная конструкция работает по следующему принципу.

На металлические электроды подают напряжение, создают тормозящее электрическое поле, которым связывают вращающийся в диэлектрической жидкостной среде подвижный элемент структурированными в электрическом поле мелкодисперсными частицами диэлектрической жидкостной среды, увеличивая ее вязкость.

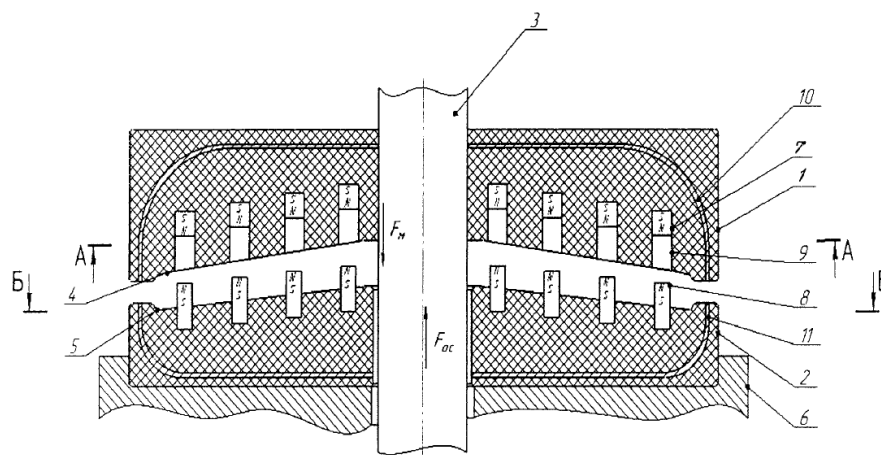


Рисунок 3. Общий вид адаптивного устройства-демпфера по патенту RU185576U1 [3]

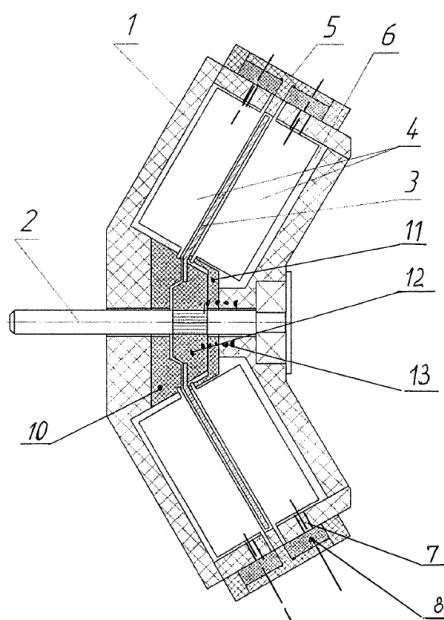


Рисунок 4. Электростатический демпфер по патенту RU2656232C1[4]

При низком значении напряженности поля повышают вязкость диэлектрической жидкостной среды подачей высокого напряжения на электроды, тем самым усиливают электрическое поле, воздействующее на диэлектрическую жидкостную среду, изменяют ее вязкость и затормаживают демпфер, в котором в качестве подвижного элемента использован конусообразный подвижный элемент из проводящего материала, помещенный в герметичный диэлектрический корпус, заполненный диэлектрической жидкостной средой и оснащенный системой для регулирования угла наклона электродов относительно нормали к поверхности подвижного элемента и величины воздушного зазора между электродами и поверхностью подвижного элемента. В результате повышается степень управляемости демпфирующие свойства.

Гидравлический демпфер (рис. 5) по патенту RU2551866C1 содержит следующие конструктивные элементы: рабочий цилиндр (1), шлицевыми стержни (2) и (3), упорные выступы (4) и (5), половины поршня (6) и (7), дроссельные каналы (8) и (9), каналы Г-образной формы (10) и (11), пластины (12), тела качения (13), кожух (14), магнитное кольцо (15), монтажный кронштейн на кожухе (16), монтажный кронштейн на рабочем цилиндре (17), рабочая жидкость (18), винтовые пружины сжатия (19). Основное отличие данной

демпфирующей системы состоит в том, что она содержит рабочий цилиндр, связанный с кожухом через тела качения.

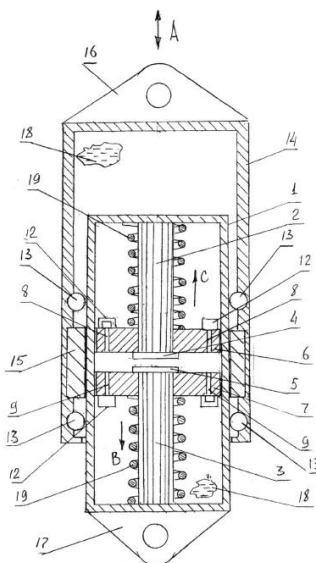


Рисунок 5. Гидравлический демпфер по патенту RU2551866C1 [5]

Поршень выполнен из магнитного материала. Магнитное кольцо, жестко закрепленное на кожухе, контактирует через воздушный зазор с поршнем. Внутри рабочего цилиндра соосно установлены два шлицевых стержня, выполненных из упругого материала. Шлицевые стержни взаимосвязаны с ответными шлицами половин поршня. Каждая из половин поршня подпружинена относительно рабочего цилиндра и снабжена вертикально расположенными дроссельными каналами. Каналы переходят на наружных поверхностях в каналы Г-образной формы. Выходные отверстия каналов примыкают с зазором к пластинам. Пластины жестко закреплены на половинах поршня. Таким образом достигается изменение демпфирующих характеристик в зависимости от микро и макропрофиля земной поверхности.

Сравнение описанных выше конструкций демпфирующих устройств осуществлялось многокритериальным методом сравнения альтернатив Саати. В качестве параметров сравнения были выбраны: востребованность в различных отраслях промышленности, массогабаритность и функциональные возможности.

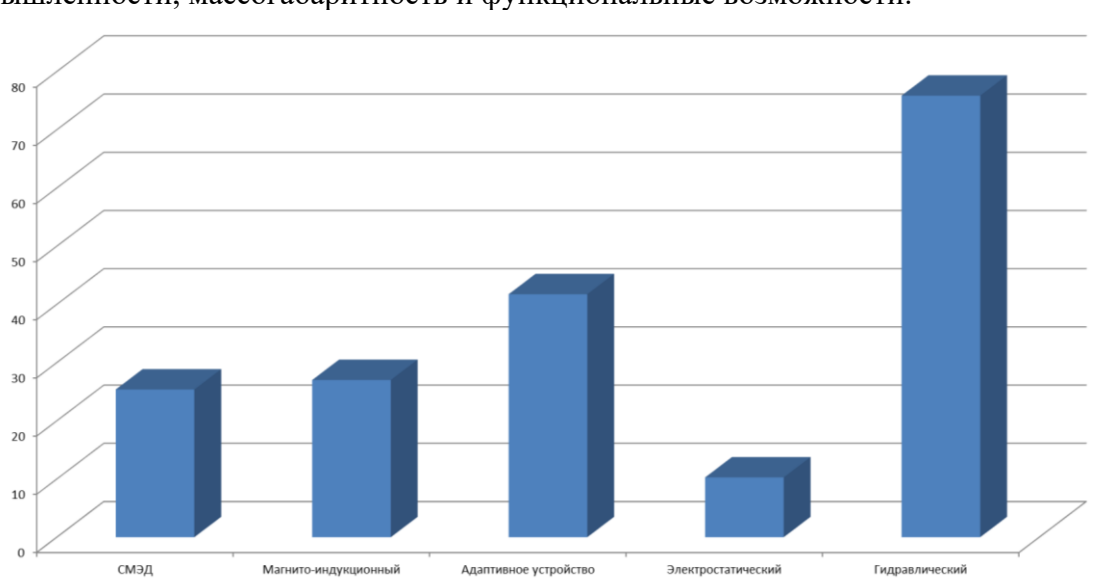


Рисунок 6. Результаты сравнения магнитных демпфирующих устройств с помощью многокритериального метода

Сравнение этих параметров проводилось вербально на основании большого количества информационных источников. Поэтому коэффициенты их сравнительной значимости b_{ij} определялись по прогрессивной шкале отношений (3:5:7) [7]. Причем самым значимым был выбран такой критерий как востребованность, затем массогабаритность и функциональные возможности. По выбранным коэффициентам рассчитывался вектор матрицы сравнения ρ_i по формуле [8-10]:

$$\rho_i = \sqrt[k]{\prod_{l=1}^k b_{il}}, \quad (1)$$

где k – количество системно обоснованных критериев соответственно (в данном случае $k = 3$). Затем на основании собранной информации о конструктивных схемах демпфирующих устройств с учетом последних разработок по прогрессивной шкале формировались коэффициенты попарного сравнения альтернатив a_{ij} по каждому критерию отдельно [8-10]. По последним составлялась матрица:

$$\omega_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{m=1}^n a_{ijm}}, \quad (2)$$

где n – число сравниваемых магнитных демпфирующих устройств (в данном случае $n = 5$), где i – порядковый номер критерия сравнения, j – порядковый номер демпфера. Для нормировки использовалось соотношение:

$$\omega_{ijn} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{j=1}^n \omega_{ij}}, \quad (3)$$

Анализ осуществлялся по индикатору сравнения для каждого демпфера

$$\Omega_j = \sum_i \rho_i \omega_{ijn}. \quad (4)$$

В результате сравнения выяснилось (рис. 6), что для выбранных критериев наиболее перспективной является схема с гидроприводом (*гидравлический демпфер по патенту RU2551866C1*).

В заключение хотелось бы отметить, что применение многокритериального метода сравнения конструктивной схемы в технологиях поиска решения является удобным обоснованием выбора в условиях комплексного анализа.

Список литературы

1. Патент № 205731 U1 РФ. Самовозбуждающийся магнитожидкостный электромеханический демпфер: № 2021112961: заявл. 04.05.2021: опубл. 30.07.2021 / С.А. Нестеров, И.С. Егоров, Н.А. Морозов.
2. Патент № 2343491 C2 РФ. Магнитоиндукционный демпфер: № 2006137399/09: заявл. 23.10.2006: опубл. 10.01.2009 / С.В. Колесников, В.П. Нохрин, В.Г. Собянин, А.В. Санников, П.Ф. Сивогризов.
3. Патент № 185576 U1 РФ. Адаптивное устройство-демпфер: № 2018122318: заявл. 18.06.2018: опубл. 11.12.2018 / Э.А. Петровский, Е.А. Кожухов, К.А. Башмур.
4. Патент № 2656232 C1 РФ. Электростатический демпфер: № 2017125672: заявл. 17.07.2017: опубл. 04.06.2018 / Ф.Р. Исмагилов, Р.Ф. Алетдинов, Т.А. Волкова, Р.Р. Калимуллин, А.А. Маликов.

5. Патент № 2551866 C1 РФ. Гидравлический демпфер: № 2014132544/11: заявл. 06.08.2014: опубл. 27.05.2015 / Е.В. Сливинский, В.И. Киселёв, С.Ю. Радин, Д.Н. Климов, Д.С. Кровцов.
6. Теоретические основы системного анализа / В.И. Новосельцев, Б.В. Тарасов, В.К. Голиков, Б.Е. Демин ; под ред. В.И. Новосельцева. – М.: Майор, 2006. – 592 с. – ISBN 5-98551-022-0.
7. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.
8. Системный подход к проблеме обоснования модернизации лесозаготовительных машин / П.И. Попиков, Н.Ю. Евсикова, Н.С. Камалова, В.С. Полянин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – № 2, ч. 2 (13-2). – С. 296-300.
9. Кузнецов Д.С. Применение метода анализа иерархий для обоснования выбора наиболее эффективного корчевателя / Д.С. Кузнецов, Е.В. Поздняков, Н.Ю. Евсикова // Воронежский научно-технический вестник. – 2020. – Т. 1, № 1 (26). – С. 91-95.
10. Оценка эффективности механизмов корчевательных машин методом сравнения альтернатив Саати / И.М. Бартенев, Е.В. Поздняков, А.К. Поздняков, М.В. Шавков // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 1, № 1 (23). – С. 91-95.

References

1. Patent No. 205731 U1 RF. Self-excited magneto-fluid electromechanical damper: No. 2021112961: avv. 04.05.2021: published 30.07.2021 / S.A. Nesterov, I.S. Egorov, N.A. Morozov.
2. Patent No. 2343491 C2 RF. Magnetoinduction damper: No. 2006137399/09: avt. 23.10.2006: published 10.01.2009 / S.V. Kolesnikov, V.P. Nokhrin, V.G. Sobyenin, A.V. Sannikov, P.F. Sivogrivov.
3. Patent No. 185576 U1 RF. Adaptive damping device: No. 2018122318: avt. 18.06.2018: published 11.12.2018 / E.A. Petrovsky, E.A. Kozhukhov, K.A. Bashmur.
4. Patent No. 2656232 C1 RF. Electrostatic damper: No. 2017125672: avv. 17.07.2017: published 04.06.2018 / F.R. Ismagilov, R.F. Aletdinov, T.A. Volkova, R.R. Kalimullin, A.A. Malikov.
5. Patent No. 2551866 C1 RF. Hydraulic damper: No. 2014132544/11: avv. 06.08.2014: published 27.05.2015 / E.V. Slivinsky, V.I. Kiselev, S.Y. Radin, D.N. Klimov, D.S. Krovtsov.
6. Theoretical bases of system analysis / V.I. Novoseltsev, B.V. Tarasov, V.K. Golikov, B.E. Demin; edited by V.I. Novoseltsev. M.: Major, 2006. 592 p. ISBN 5-98551-022-0.
7. Saati, T. Decision Making. The method of hierarchy analysis / T. Saati; transl. from English by R.G. Vachnadze. Moscow: Radio and Communication, 1993. 278 p.
8. System approach to the problem of justifying the modernization of forest machines / P.I. Popikov, N.Y. Evsikova, N.S. Kamalova, V.S. Polyanin // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. - 2015. - № 2, part 2 (13-2). - P. 296-300.
9. Kuznetsov, D.S. Application of the method of hierarchy analysis to justify the choice of the most effective uprooter / D.S. Kuznetsov, E.V. Pozdnyakov, N.Y. Evsikova // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. - 2020. - Vol. 1, № 1 (26). - P. 91-95.
10. Evaluation of the effectiveness of the mechanisms of the uprooting machines by the method of Saaty alternatives comparison / I.M. Bartenev, E.V. Pozdnyakov, A.K. Pozdnyakov, M.V. Shavkov // Voronezh Scientific and Technical Journal. - 2018. - Vol. 1, № 1 (23). - P. 91-95.