

УДК 621.3.077

Завьялов Валерий Михайлович доктор техн. наук, профессор, **Колодяжный Виталий Владимирович** канд. техн. наук, доцент, **Углов Анатолий Викторович** канд. техн. наук, доцент, **Гайдук Светлана Владимировна**, аспирант, **Дубков Евгений Александрович**, аспирант, **Сайдаметов Саид Садыкович** инженер.

Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности, 299000 Российская Федерация, г. Севастополь, ул. Курчатова, 7.

E-mail: VMZavyalov@sevsu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН

***Аннотация:** В статье представлены признаки, характеризующие сложность и новизну основных функциональных систем подземных аппаратов класса «геоход» как объекта проектирования и объекта производства, а также проблемы, с которыми столкнулись разработчики на всех этапах создания экспериментальных и опытных образцов нового класса подземных аппаратов «геоход». Отсутствие специального научного и методологического обеспечения является сдерживающим фактором на пути создания нового класса подземных аппаратов. С учетом особенностей работы, взаимодействия с геосредой проходческих подземных аппаратов класса «геоход» остро возникла необходимость в создании научной специальности, которая будет связана с проектированием и конструированием проходческих подземных аппаратов. Таким образом, по аналогии с авиастроением, сопровождение создания подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой, должно быть возложено на новое научное направление и научную специальность «Создание подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой». Новое научное направление рассматривается как ключевой элемент перспективного технологического уклада освоения подземного пространства на базе опережающего развития и новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике.*

***Ключевые слова:** подземный аппарат, геосреда, геотехника, геоходостроение, промышленный уклад.*

***Информация о статье:** принята 24 марта 2020 г.*

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-3-3-10

Введение.

В части добычи энергоресурсов одно из центральных мест топливно-энергетического комплекса занимают горные машины (ГМ). Повышение их эксплуатационной надёжности является актуальным направлением их совершенствования. Существенная доля отказов ГМ связана с выходом из строя элементов трансмиссии их главных приводов, это подтверждается статистическими исследованиями и результатами моделирования [1]. Так, на элементы трансмиссии угледобывающих комбайнов приходится около 25 % всех отказов [2], а длительность простоев карьерных экскаваторов, вызванных ликвидацией поломок элементов трансмиссии, составляют около 50 - 65 % от общего времени аварийных простоев [3]. Решение проблемы повышения эксплуатационной надёжности механических подсистем электроприводов горных машин в настоящее время имеет два основных направления, а именно:

1. Совершенствование механических преобразователей [4-8].
2. Применение управляемого электропривода, осуществляющего снижение динамических нагрузок в элементах трансмиссии.

Второе направление можно разделить на системы электропривода обеспечивающие демпфирование упругих колебаний в механических подсистемах [9-11] и нелинейные алгоритмы управления упругими напряжениями в элементах трансмиссии без снижения среднего момента на рабочем органе горной машины [12].

При этом второе направление имеет такие достоинства, как возможность применения управляемого электропривода в составе ранее разработанных и находящихся в эксплуатации горных машин без существенных изменений их конструкции, а также позволяет увеличить эксплуатационную надёжность ГМ в тех случаях, когда конструктивные меры полностью исчерпаны. При обеспечении заданной производительности

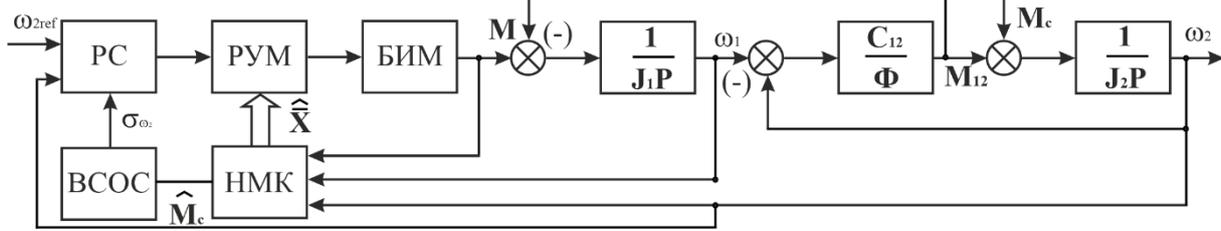


Рис. 1.

РС – регулятор скорости,
 РУМ – регулятор упругого момента,
 БИМ – безынерционный источник момента,
 НМК – наблюдатель механических координат,
 НСОС – вычислитель среднеквадратичного отклонения скорости.

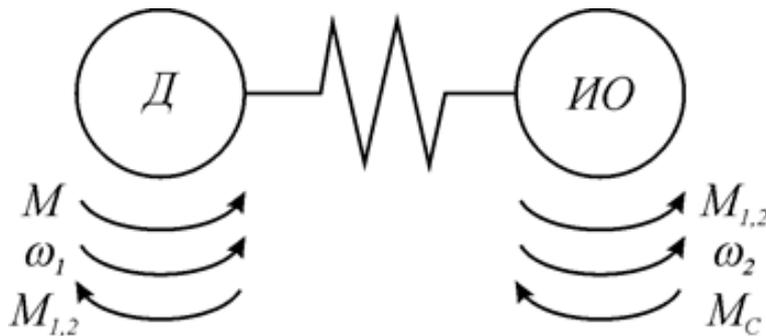


Рис. 2. Расчетная схема двухмассовой системы.

ГМ управляемый электропривод должен поддерживать механическую нагрузку на элементы трансмиссии в допустимом диапазоне, для уменьшения интенсивности накопления усталостных повреждений и исключения аварийных ситуаций.

Регулируемый электропривод, как средство увеличения эксплуатационной надёжности ГМ.

Особенностью работы большинства горных машин является то, что момент сопротивления со стороны исполнительного органа изменяется случайным образом. Он посредством трансмиссии передается на двигатель, и в этом процессе его переменная составляющая формирует циклические механические нагрузки на элементы трансмиссии и металлоконструкций горной машины. Хотя нерегулируемый электропривод и оказывает демпфирующее влияние на механические колебания, наилучших характеристик можно добиться применением регулируемого электропривода, когда идет непосредственное регулирование величин механических напряжений в элементах трансмиссии горной машины.

Рассмотрим вариант такого регулируемого электропривода. За основу возьмем электропривод горной машины, трансмиссию которого можно с достаточной точностью представить двухмассовой расчетной схемой. В качестве основного критерия управления возьмем стабилизацию упругого момента, который пропорционален механическим напряжениям в элементах трансмиссии. В силу физики процессов такой системы, при изменяющемся случайным образом моменте сопротивления, постоянство упругого

момента можно достигнуть путем формирования динамического момента со стороны двигателя, который будет компенсировать переменную составляющую момента сопротивления. Структурная схема такой системы приведена на рисунке 1.

Электрический двигатель представленной системы, совместно с регулятором электромагнитного момента, будем рассматривать как безынерционный источник момента [13]. В таком случае, в качестве объекта управления будем рассматривать двухмассовую механическую систему, представленную на рисунке 2 и описываемую системой уравнений (1):

$$\begin{cases} \dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_1} (M - M_{1,2}); \\ \dot{\omega}_2 = \frac{1}{J_2} (M_{1,2} - M_C); \\ \dot{M}_{1,2} = C_{1,2} (\omega_1 - \omega_2), \end{cases} \quad (1)$$

где ω_1 , ω_2 , J_1 , J_2 – угловые скорости и моменты инерции первой (связанной с ротором двигателя) и второй (связанной с исполнительным органом) масс; M – момент сил прикладываемый к системе (управляющее воздействие); $M_{1,2}$ – упругий момент; M_C – момент сопротивления (возмущающее воздействие); $C_{1,2}$ – коэффициент жесткости упругой связи.

В качестве регулятора упругого момента примем регулятор, представленный уравнением [14]:

$$M = \left(1 + \frac{J_1}{J_2}\right) M_{1,2} - \frac{J_1}{J_2} M_C - \frac{J_1}{T} (\omega_1 - \omega_2) \quad (2)$$

Учитывая постоянное присутствие переменной составляющей, изменяющейся случайным образом нагрузки невозможно получить закон управления двухмассовой системой,

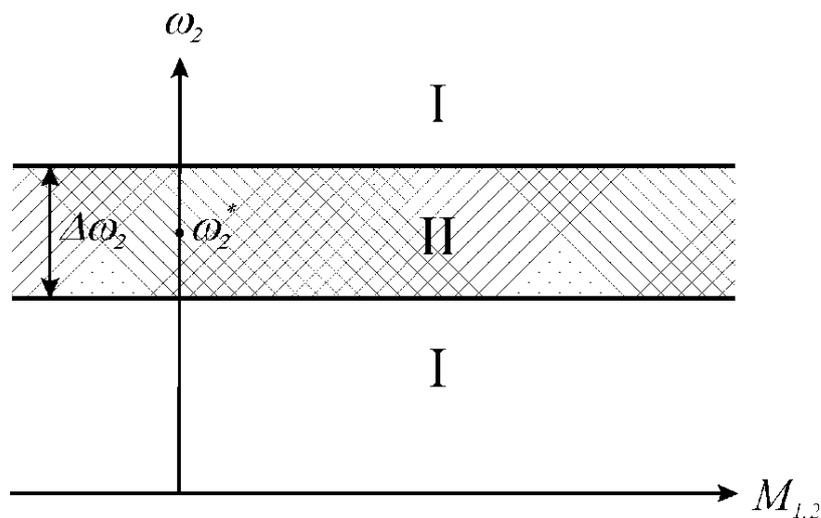


Рисунок 3. Пространство состояний двухмассовой механической системы.

позволяющий одновременно стабилизировать упругий момент и угловую скорость исполнительного органа. В то же время, средняя интегральная производительность ГМ зависит от средней скорости движения исполнительного органа на некотором интервале времени. В связи с этим можно ослабить требования к точности регулирования скорости путем выделения диапазона ее допустимого изменения. Для этого необходимо разделить пространство состояний на две области, как это показано на рисунке 3.

При нахождении изображающей точки в области I нужно изменять величину упругого момента таким образом, чтобы изображающая точка стремилась попасть в область II, а при нахождении в области II необходимо поддерживать упругий момент на заданном уровне, не реагируя на изменения угловой скорости, вызванные изменяющейся нагрузкой. Помимо этого, движение изображающей точки к области II должно осуществляться по достаточно гладкой траектории без периодической составляющей.

Диапазон изменения ω_2 при $M_{1,2} = const$ будет определяться переменной составляющей нагрузки, а значит, будет зависеть от вероятностных свойств момента сопротивления. Поскольку при $M_{1,2} = const$ будет соблюдаться равенство $\omega_1 = \omega_2$, а, следовательно, равенство $\Delta\omega_1 = \Delta\omega_2$, рассмотрим связь ширины области $\Delta\omega_1$, в которой допускается изменение частоты вращения ω_1 , с вероятностными свойствами нагрузки.

Запишем уравнение движения первой массы двухмассовой системы:

$$\dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_1} (M_1 - M_{1,2}). \quad (3)$$

С учетом алгоритма управления упругим моментом (2), это выражение запишется как:

$$\dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_2} (M_{1,2} - M_C) - \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) (\omega_1 - \omega_2) - \frac{J_1}{T_1 T_2 C_{1,2}} (M_{1,2} - M_{1,2}^*).$$

Учитывая, что при стабилизации упругого момента $\omega_1 - \omega_2 = 0$ и $M_{1,2} - M_{1,2}^* = 0$, получим:

$$\dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_2} (M_{1,2} - M_C). \quad (4)$$

Принимая во внимание, что работа ГМ в установившемся режиме должна проходить при условии $M_{1,2} \approx m(M_C)$, где $m(M_C)$ – математическое ожидание момента сопротивления, уравнение (4) примет вид:

$$\dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_n} M_C^{var}, \quad (5)$$

где M_C^{var} – переменная составляющая нагрузки.

Полученное уравнение движения первой массы, при выборе в качестве входного воздействия момента сопротивления, является уравнением интегрирующего звена. Зная спектральную плотность момента сопротивления, можно определить дисперсию выходного сигнала [15], которым в нашем случае является частота вращения первой массы:

$$D_{\omega_1} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{M_C}(\Omega) A^2(\Omega) d\Omega,$$

где D_{ω_1} – дисперсия частоты вращения первой массы; $S_{M_C}(\Omega)$ – спектральная плотность момента сопротивления; $A(\Omega)$ амплитудно-частотная характеристика, которая для (5) будет иметь вид:

$$A(\Omega) = \frac{1}{J_2 \Omega}.$$

Таким образом, дисперсия частоты вращения первой массы будет определяться выражением:

$$D_{\omega_1} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{J_2^2 \Omega^2} S_{M_C}(\Omega) d\Omega.$$

Далее, зная дисперсию частоты вращения первой массы, для нее можно определить плотность распределения вероятности, используя законы распределения. Таким образом, задавшись желаемой вероятностью нахождения частоты вращения в заданной области, можно определить границы этой области. Так, при нормальном законе плотности распределения вероятности при $\Delta\omega_1 = 2\sigma_{\omega_1}$, где $\sigma_{\omega_1} = \sqrt{D_{\omega_1}}$ – среднеквадратичное отклонение частоты вращения от ее математического ожидания, вероятность нахождения частоты вращения в заданной области будет равна $P_{\omega_1} = 0,68$, при $\Delta\omega_1 = 4\sigma_{\omega_1}$ – $P_{\omega_1} = 0,95$, а при

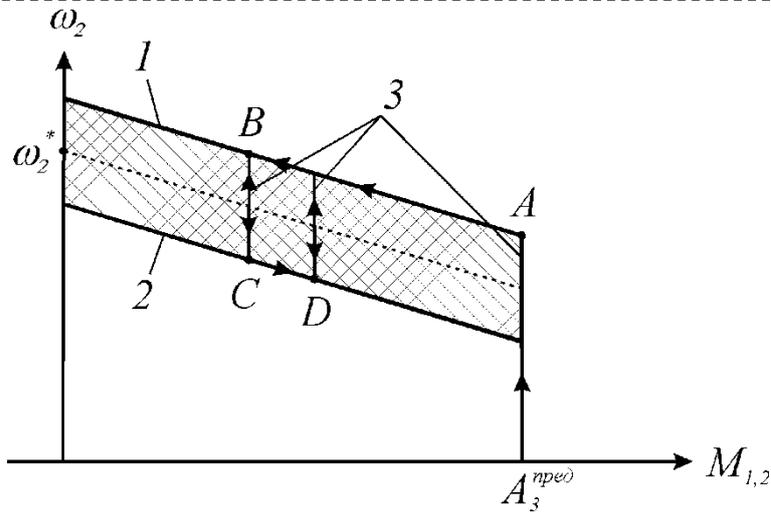


Рис. 4. Пространство состояний исполнительного органа двухмассовой механической системы с адаптивным управлением.

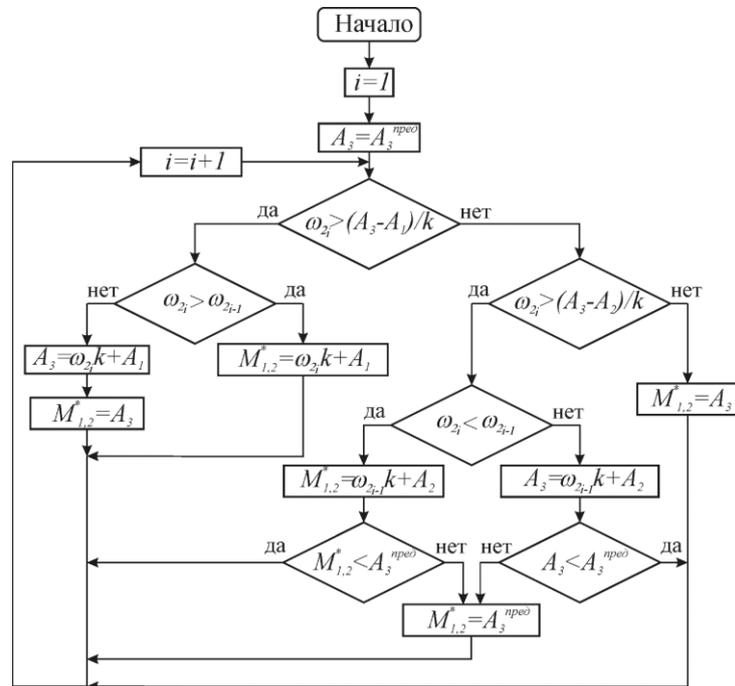


Рис. 5. Алгоритм адаптивного регулятора с переменной структурой.

$\Delta\omega_1 = 6\sigma_{\omega_1} - P_{\omega_1} = 0,997$. По аналогии можно распространить полученный вывод на механические системы с большим числом выделенных масс. Расчет среднеквадратичного отклонения частоты вращения от ее математического ожидания, необходимого для определения границ регулирования скорости ведется в блоке функциональной схемы.

Адаптивный регулятор скорости.

Поставленная выше задача регулирования скорости характеризуется некоторой неоднозначностью, поскольку предусматривает разные требования к поведению регулятора при различных состояниях объекта управления. Для решения данной задачи будем использовать адаптивный регулятор.

Для создания такого адаптивного регулятора скорости воспользуемся естественными свойствами механической системы. При нахождении в области, определяющей допустимое отклонение угловой скорости от заданной, будем поддерживать задание упругого момента постоянным. При этом, из-за изменения момента сопротивления угловая скорость будет изменяться в соответствии с уравнением:

$$\dot{\omega}_2 J_2 = M_{1,2} - M_C. \quad (6)$$

Увеличение угловой скорости в данном случае будет свидетельствовать о том, что $M_{1,2} > M_C$. В случае достижения угловой скоростью верхней границы допустимого диапазона, совместно с дальнейшим ростом ω_2 необходимо уменьшать

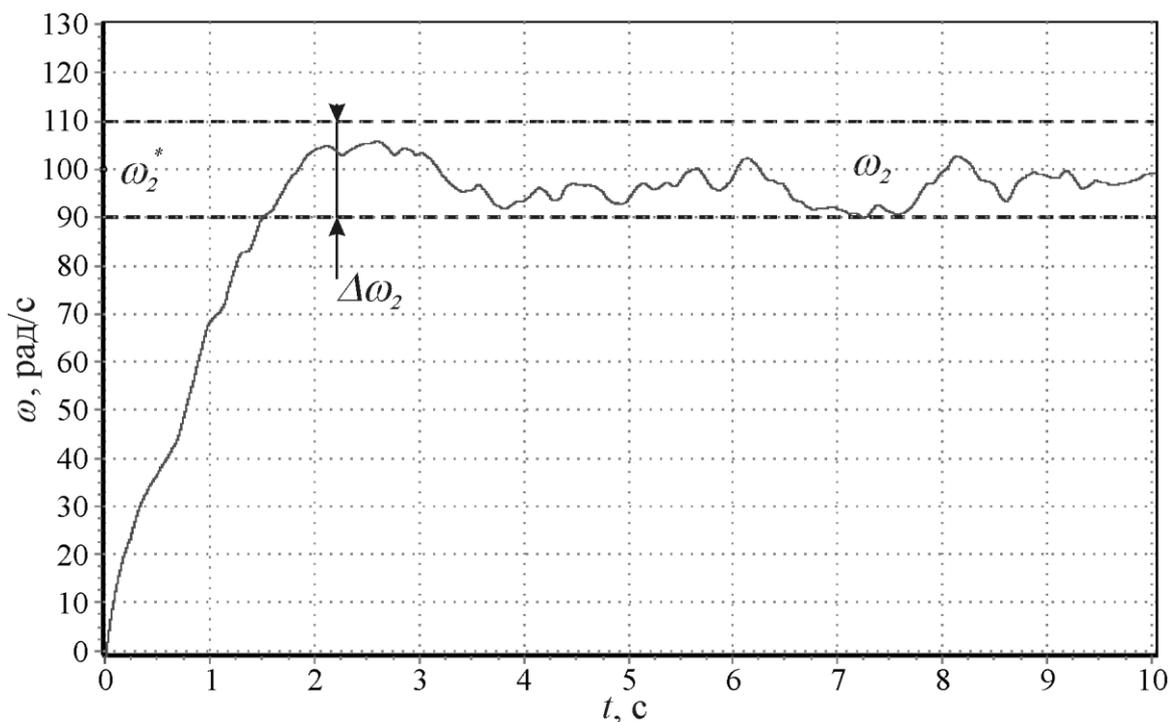


Рисунок 6. Угловая скорость при использовании адаптивного регулятора.

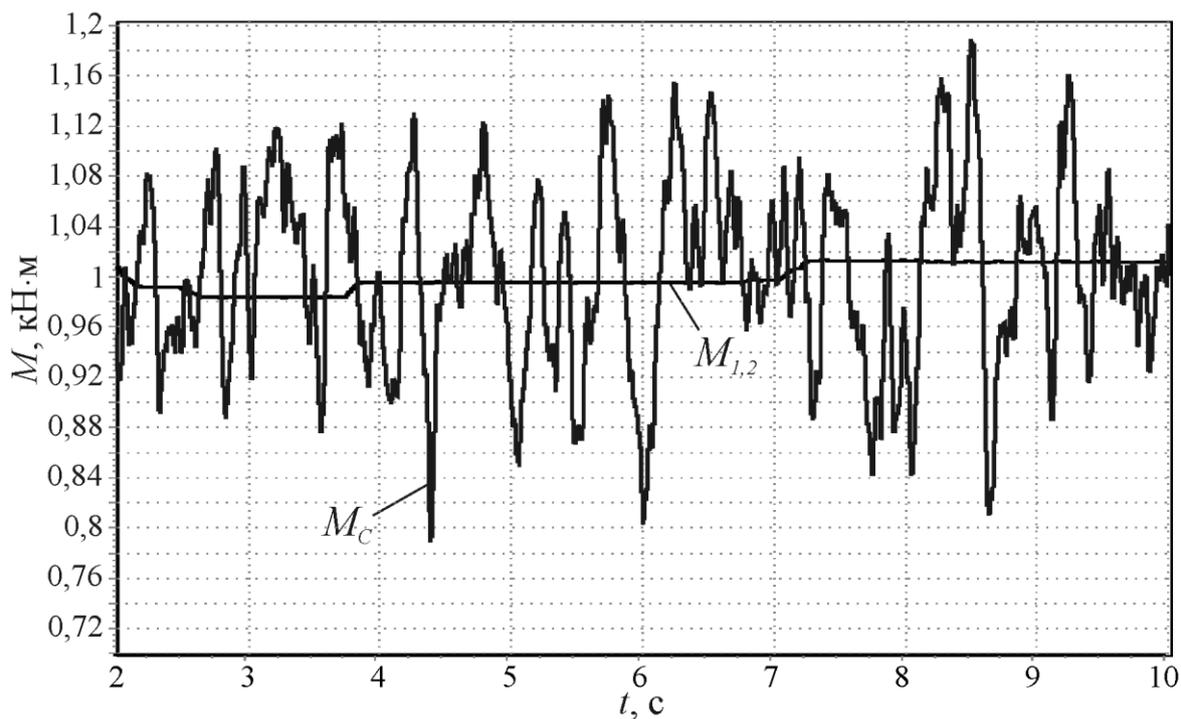


Рисунок 7. Упругий момент и момент сопротивления при использовании адаптивного регулятора.

задание упругого момента, что будет способствовать прекращению ее роста. Этого можно добиться, придав границам заданного диапазона отрицательный наклон, как это показано на рис. 4. Если при достижении верхней границы угловая скорость продолжит расти, и движение в пространстве состояний будет проходить вдоль верхней границы, то $M_{1,2}$ начнет снижаться, и как следствие, препятствовать дальнейшему росту

угловой скорости. При прекращении роста угловой скорости задание упругого момента следует зафиксировать и не менять до тех пор, пока угловая скорость не достигнет какой-либо из границ. Процессы будут протекать аналогичным образом, если угловая скорость будет стремиться выйти за нижнюю границу допустимой области.

Границы механической характеристики, которые будут определять движение системы в

пространстве состояний, в соответствии с рис. 4, описываются следующими зависимостями:

$$M_{1,2}^* = k\omega_2 + A_1; \quad (7)$$

$$M_{1,2}^* = k\omega_2 + A_2; \quad (8)$$

$$M_{1,2}^* = A_3, \quad (9)$$

где уравнению (7) соответствует линия 1, уравнению (8) – линия 2, а (9) – линии 3. В зависимости от состояния механической системы, регулятор скорости будет реализовывать одну из трех указанных функций, причем величина A_3 также будет изменяться в зависимости от состояния системы. Алгоритм работы такого регулятора представлен на рис. 5.

Для достижения максимального углового ускорения при разгоне, в начальный момент времени формируется максимально допустимое значение упругого момента $M_{1,2}^* = A_3^{npeo}$, в результате чего привод ГМ начинает разгоняться.

При достижении ω_2 верхней границы заданной области (точка *A*), структура регулятора переключается таким образом, что в соответствии с функцией (7) обеспечивается дальнейший разгон исполнительного органа вдоль этой границы. Такое движение будет длиться до тех пор, пока угловая скорость увеличивается, т.е. пока упругий момент не станет меньше момента сопротивления.

Как только момент сопротивления превысит значение упругого момента, угловая скорость начнет уменьшаться (точка *B*). Тогда структура регулятора переключится на функцию (9), причем величина A_3 примет текущее значение упругого момента. Далее, движение по отрезку *BC* продолжается до тех пор, пока величина ω_2 не достигнет какой-либо из границ. Например, при достижении ω_2 нижней границы (точка *C*) структура регулятора скорости переключится на функцию (8) и ω_2 будет изменяться вдоль этой границы до тех пор, пока угловая скорость не станет возрастать (точка *D*), после чего структура вновь переключится на функцию (9) с присвоением величине A_3 текущего значения упругого момента.

Результаты работы описанного адаптивного регулятора, полученные методом компьютерного моделирования, представлены на рис. 6, рис. 7. На этих графиках можно увидеть, что угловая скорость исполнительного органа не выходит за границы заданного диапазона. В то же время частота и интенсивность упругого момента гораздо меньше динамики момента сопротивления, что способствует снижению интенсивности накопления усталостных напряжений.

При настройке регулятора следует обращать внимание, что при выборе завышенного значения жесткости характеристики k возможен автоколебательный режим с большой амплитудой колебаний $M_{1,2}$, что противоречит поставленным целям управления, а в случае выбора слишком малого значения k существенно увеличивается чувствительность изменения угловой скорости по отношению к заданному значению, при изменениях среднего значения нагрузки.

Заключение

Таким образом, применяя представленный вариант регулируемого электропривода горной машины можно поддерживать скорость движения рабочего органа горной машины в заданной области, компенсируя переменную составляющую нагрузки динамическим моментом, вызванным изменением скорости элементов механической системы, и тем самым увеличить ресурс механической подсистемы горной машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen, H., Jiao, S., Zhang, K., Mao, J. Mesh stress and fatigue life study of walking mechanism of shearer under practical working conditions // Journal of Mechanical Strength Volume 40, Issue 6, 15 December 2018, Pages 1456-1462.
2. Иванов С. Л. Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов. – СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1999. – 92 с.
3. Семькина И. Ю. Снижение динамических нагрузок в электроприводах карьерных экскаваторов: дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Семькина Ирина Юрьевна, Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2007. – 125 с.
4. Mao, J., Liu, X., Chen, H., Song, Q. Modeling for coal winning machine cutting part in transmission system and its dynamics analysis // Jixie Qiangdu/Journal of Mechanical Strength. 2019. - 41(1), pp. 125-132.
5. Liu, F., Xia, X. Application and development of inertia cone crusher in China // IMPC 2018 - 29th International Mineral Processing Congress 2019. - pp. 372-383.
6. Gao, H., Zhang, Q. Reliability design of relief groove for torque shaft of shearer // Advances in Mechanical Engineering Open Access Volume 12, Issue 1, 2020. DOI: 10.1177/1687814019900590
7. Zhao, L., Li, M., Zhang, P. Reliability analysis and optimization design of the Shearer's torque shaft // Journal of Mechanical Strength, 39 (3), 2017. - pp. 585-591. Cited 2 times.
8. Meng, D., Zhang, H., Huang, T. A concurrent reliability optimization procedure in the earlier design phases of complex engineering systems under epistemic uncertainties // Advances in Mechanical Engineering, 8 (10), 2016. - pp. 1-8. Cited 23 times.
9. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. – М.: Энергия, 1971. – 320 с.
10. Ломакин М. С. Автоматизированная система ограничения динамических нагрузок в рабочем оборудовании и электроприводах копающих механизмов одноковшовых экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 1. – С. 55-56.
11. Шиянов А. И. Асинхронный электропривод с упругой нагрузкой и адаптивным регулятором / А. И. Шиянов, В. А. Медведев, С. В. Морозов // Электричество. – 2001. – № 2. – С. 47-49.

12. Завьялов В.М. Снижение динамических нагрузок в трансмиссиях горных машин. Кемерово. Из-во Куз ГТУ. 2008, 172 с.

13. Завьялов В.М. Семькина И.Ю. Использование безынерционного источника момента в системах управления электроприводов со сложными механическими подсистемами // Электротехника, электромеханика и электротехнологии ЭЭЭ-2007: материалы третьей научно-технической конференции с международным участием / под ред. В.В. Панкратова. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2007. – С. 69-72.

14. Завьялов В.М., Подавление упругих колебаний в горных машинах с двухмассовой расчетной схемой // Вестн. КузГТУ, 2005. - №6 – С.67-69.

15. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5 т. – 2-е изд. перераб. и доп. / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – Т.2. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. – 640 с.

Valery M. Zavyalov Dr. Sc. in Engineering, Professor, **Vitaliy V. Kolodyazhny** C. Sc. in Engineering, Associate professor, **Anatoly V. Uglov** C. Sc. in Engineering, Associate professor, **Svetlana V. Gaiduk**, graduate student, **Evgeny A. Dubkov**, graduate student, **Said S. Saidametov** engineer.

Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, 299000 Russian Federation, Sevastopol, ul. Kurchatova, 7

APPLICATION OF CONTROLLED ELECTRIC DRIVES TO INCREASE RELIABILITY OF MINING MACHINES

Abstract: Ensuring the efficient operation of mining machines in the context of a global decline in the quality of the mineral resource base acquires increasing importance affecting the interests of all operations of the technological cycle of obtaining marketable products from a mining and processing enterprise. One of the features of the operation of most mining machines is that the moment of resistance from the side of the executive body changes randomly. The considered option of the controlled electric drive of the mining machine will allow rising the specified life of the mechanical subsystem, maintaining the speed of the working body of the mining machinery in a given area, compensating for the variable component of the load with a dynamic moment, thereby increasing its operational reliability. Due to the fact that the task of speed regulation is ambiguous, an adaptive control algorithm is used to solve it.

Keywords: mining machines, reliability, failures, transmission elements, controlled electric drive, fatigue damage, elastic stresses, two-mass design, elastic moment, inertialess torque source, adaptive regulator.

Article info: received March 24, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-3-3-10

REFERENCES

1. Chen, H., Jiao, S., Zhang, K., Mao, J. Mesh stress and fatigue life study of walking mechanism of shearer under practical working conditions // Journal of Mechanical Strength Volume 40, Issue 6, 15 December 2018, Pages 1456-1462.

2. Ivanov S. L. Increase in the resource of transmissions of mining machines based on an assessment of the energy loading of their elements. - SPb.: St. Petersburg Mountain Institute, 1999. - 92 p.

3. Semykina I. Yu. Reducing dynamic loads in electric drives of mining excavators: dis. Cand. tech. Sciences: 05.09.03 / Semykina Irina Yurevna, Kuzbass. state tech. un-t - Kemerovo, 2007. -- 125 p.

4. Mao, J., Liu, X., Chen, H., Song, Q. Modeling for coal winning machine cutting part in transmission system and its dynamics analysis // Jixie Qiangdu/Journal of Mechanical Strength. 2019. - 41(1), pp. 125-132.

5. Liu, F., Xia, X. Application and development of inertia cone crusher in China // IMPC 2018 - 29th International Mineral Processing Congress 2019. - pp. 372-383.

6. Gao, H., Zhang, Q. Reliability design of relief groove for torque shaft of shearer // Advances in Mechanical Engineering Open Access Volume 12, Issue 1, 2020. DOI: 10.1177/1687814019900590

7. Zhao, L., Li, M., Zhang, P. Reliability analysis and optimization design of the Shearer's torque shaft // Journal of Mechanical Strength, 39 (3), 2017. - pp. 585-591. Cited 2 times.

8. Meng, D., Zhang, H., Huang, T. A concurrent reliability optimization procedure in the earlier design phases of complex engineering systems under epistemic uncertainties // Advances in Mechanical Engineering, 8 (10), 2016. - pp. 1-8. Cited 23 times.

9. Klyuchev V. I. Limitation of the dynamic loads of the electric drive. - М.: Energy, 1971. - 320 p.

10. Lomakin MS. An automated system for limiting dynamic loads in working equipment and electric drives for digging mechanisms of bucket excavators // Mining Equipment and Electromechanics. - 2007. - No. 1. - S. 55-56.

11. Shiyarov A. I. Asynchronous electric drive with elastic load and adaptive controller / A. I. Shiyarov, V. A. Medvedev, S. V. Morozov // Electricity. - 2001. - No. 2. - S. 47-49.

12. Zavyalov V.M. Decrease in dynamic loads in transmissions of mining machines. Kemerovo. Because of the Kuz GTU. 2008, 172 p.

13. Zavyalov V.M. Semykina I.Yu. The use of an inertialess source of torque in control systems for electric drives with complex mechanical subsystems // Electrical Engineering,

Electromechanics and Electrical Technologies EEE-2007: Materials of the Third Scientific and Technical Conference with International Participation / Ed. V.V. Pankratova. - Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2007.- C. 69-72.

14. Zavyalov VM, Suppression of elastic vibrations in mining machines with a two-mass design scheme // Tomsk State University Journal. KuzGTU, 2005. - No. 6 - P.67-69.

15. Methods of the classical and modern theory of automatic control: a textbook in 5 vols. - 2nd ed. reslave. and add. / Ed. K. A. Pupkova, N. D. Egupova. - M.: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2004.- T.2. Statistical dynamics and identification of automatic control systems. - 640 s.

Библиографическое описание статьи

Завьялов В.М., Колодяжный В.В., Углов А.В., Гайдук С.В., аспирант, Дубков Е.А., Сайдаметов С.С. Применение регулируемого электропривода для повышения эксплуатационной надёжности горных машин // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 3 (148). – С. 3-10.

Reference to article

Zavyalov V.M., Kolodyazhny V.V., Uglov A.V., Gaiduk S.V., Dubkov E.A., Saidametov S.S. Application of controlled electric drives to increase reliability of mining machines. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.3 (148), pp. 3-10.