УДК 622.046

ОПТИМАЛЬНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ДВИЖЕНИЯ РЕДУКТОРА

Манглиева Ж.Х. – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра технологии машинастроения НГГИ; Норов Г.М – ассистент, кафедра высшей математики и информационной технологии **Ибрагимов А.Д. –** магистр 1 курса, кафедра общей химии, Томский государственный университет, г. Томск; **Мустафоев И.Г. –** студент, кафедра горное дело НГГИ, г.Навои, Республика Узбекистан**.**

Аннотация: Составлены уравнения для определения коэффициентов функции Ляпунова, которая решает вопрос оптимальной стабилизации стационарных движений регулятора скорости. Получен явный вид управляющей силы, которая реализует условную связь. Рассмотрен вопрос влияния упругостипромежуточного колеса (учет упругости осуществляется с помощью дискретной модели качения, то есть в рамках классической механики) на устойчивость стационарного движения регулятора и получены условия, при выполнении которых имеет место устойчивость по первому приближению.

Ключевые слова: неидеальные связи; комбинирование связей; силы трения; силы связей; возможные перемещения; устойчивость, фрикционных регулятор, стационарное движения.

Abstract: Equations are written to determine the coefficients of the Lyapunov function, which solves the problem of optimal stabilization of stationary motions of the speed controller. An explicit form of the control force is obtained, which implements the conditional connection. The question of the influence of the elasticity of the intermediate wheel (taking into account the elasticity is carried out using a discrete rolling model, that is, within the framework of classical mechanics) on the stability of the stationary motion of the regulator is considered and conditions are obtained under which stability in the first approximation takes place.

Keywords: imperfect bonds; combination of bonds; friction forces; bond forces; possible displacements; stability, friction regulator, stationary motion.

Введение. Пусть имеется система, положение которой определяется координатами $x_1, x_2, \ldots, x_n$.

Пусть на такую систему наложены совместимые связи

$$f_\alpha(x_1, x_2, \ldots, x_n) = 0 \quad \alpha = 1, \ldots, a,$$

$$\varphi_\beta(x_1, x_2, \ldots, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \ldots \dot{x}_n, t) = 0 \quad \beta = 1, 2, \ldots, b$$

Если ввести обобщенные координаты $q_1, q_2, \ldots, q_k \, (k = n - a)$, то многообразие допустимых состояний можно представить в виде

$$x_i = a_i(q_1, q_2, \ldots, q_k),$$

$$\dot{x}_i = b_i(q_1, q_2, \ldots, q_k, p_1, p_2, \ldots p_s, t) \quad s = n - a - b, \qquad (1)$$

где $p_1, p_2, \ldots p_s$ - независимые скоростные параметры.

Для параметрическиосвобожденной системы можем написать

$$x_i = a_i'(Q_1, Q_2, \ldots, Q_{k'}, t),$$

$$\dot{x}_i = b_i'(Q_1, Q_2, \ldots, Q_k, P_1, P_2, \ldots P_{s'}, t),$$

где $Q_k -$ Лагранжевы координаты, $P_S -$ независимые скоростные параметры.

Причем, согласно определению

$$k' > k, \quad s' > s,$$

так как для освобожденной системы должны быть допустимы все состояния неосвобожденной системы. Поэтому для любой системы значений $q_1', q_2', \ldots, q_k', \ p_1', p_2', \ldots p_s'$ в любой момент времени существует система значений $Q_1', Q_2', \ldots, Q_{k'}' \ , P_1', P_2', \ldots P_{s'}'$, при которых выполняются равенства [1-4]

$$a_i(q_1', q_2', \ldots, q_k') = a_i'(Q_1', Q_2', \ldots, Q_{k'}', t),$$

$$b_i(q_1', q_2', \ldots, q_k', p_1', p_2', \ldots p_s', t) = b_i'(Q_1', Q_2', \ldots, Q_k', P_1', P_2', \ldots P_{s'}', t).$$

Следуя алгоритму освобождения, изложенному выше, для условной связи будем иметь

$$\omega_2 = \omega_2^0 + \zeta, \qquad (2)$$

$$\dot{\zeta} = \xi,$$

где ζ - параметр, представляющий отклонение от условной связи.

Соответственно пассивные связи также преобразуются, и будут иметь вид

$$R \cdot \omega_1 = \rho(\omega_2^0 + \zeta),$$

$$r\omega = \rho(\omega_2^0 + \zeta),$$

что соответствует определению параметрического освобождения.

Для составления дифференциальных уравнений движения регулятора воспользуемся уравнениями в форме Аппеля.

Энергия ускорений регулятора

$$S=\frac{1}{2}(J_1\dot{\omega}_1^2+J\dot{\omega}^2+m\ddot{\rho}^2+J_2\dot{\omega}_2^2),$$

с учетом уравнений связей имеет следующий вид

$$S'=\frac{1}{2}(\frac{J_1}{R^2}+\frac{J}{r^2})(\dot{\zeta}\rho+(\zeta+\omega_2^0)\dot{\rho})^2+\frac{1}{2}m\ddot{\rho}^2+\frac{1}{2}J_2\dot{\zeta}^2). \quad (3)$$

Обобщенные силы, соответствующие переменным ζ, ρ, будут следующими

$$\delta A_\rho=-(F_{11}+F_{22})\delta\rho+(u+u_1)\delta\rho=(-(F_{11}+F_{22})+u+u_1)\delta\rho=Q'_\rho\delta\rho,$$

$$\delta A_\zeta=M_2\delta\varphi_2+M_1\delta\varphi_1=(M_2+\frac{\rho}{R}M_1)\delta\xi=Q'_\xi\delta\xi.$$

Таким образом, уравнения Аппеля для данной задачи

$$\frac{\partial S'}{\partial\dot{\zeta}}=Q'_\xi,$$

$$\frac{\partial S'}{\partial\ddot{\rho}}=Q'_\rho,$$

в явной форме можно записать следующим образом

$$\left(n\rho_0^2+J_2\right)\dot{\zeta}+n\left(\zeta+\omega_2^0\right)\dot{\rho}\rho=M_2+\frac{\rho}{R}\cdot M_1,$$

$$m\ddot{\rho}=F_1+F_2+u+u_1, \quad (4)$$

где $n=\frac{J_1}{R^2}+\frac{J}{r^2}$, u_1-отклонение управляющей силы от программного значения.

Учитывая, что $\rho=\rho_0+\rho'$, имеем

$$(n\rho^2+J_2)\dot{\zeta}+n(\zeta+\omega_2^0)(\rho_0+\rho')\dot{\rho}=M_2+\frac{\rho}{R}M_1,$$

$$m\ddot{\rho}=-(F_{11}+F_{22})+u+u_1. \quad (5)$$

Система уравнений (5) представляет собой уравнения параметрическиосвобожденной системы в окрестности многообразия, определяемого условной связью, с учетом неточного выполнения условной связи.

Рассмотрим вопрос оптимальной стабилизации программного движения редуктора в окрестности многообразия, определяемого условной связью. Как известно [5-9], такая задача сводится к определению функции Ляпунова (если система управляема) в виде квадратичной формы, имеющей бесконечный малый высший предел.

Так как уравнения движения (5) представляют собой неавтономную систему, то функция Ляпунова также будет зависеть от времени.

Разлагая правые части системы уравнений (5) в окрестности $\rho=\rho(t), \quad \zeta=0$ в ряд получим уравнения первого приближения

$$(n\rho_0^2+J_3)\dot{\zeta}+n\dot{\rho}_0\rho_0\zeta+n\rho_0\omega_2^0\dot{\rho}'+$$
$$+n\omega_2^0\rho_0\rho'=\frac{M_1}{R}\rho' \quad (6)$$
$$m\ddot{\rho}'=u_1.$$

В нормальной форме эти уравнения примут вид

$$(n\rho_0^2+J_3)\dot{\zeta}=-n\dot{\rho}_0\rho_0\zeta-n\rho_0\omega_2^0 z+$$
$$+(\frac{M_1}{R}-n\omega_2^0\dot{\rho}_0)\rho', \quad (7)$$
$$\dot{\rho}'=z,$$
$$m\dot{z}=u_1.$$

В рассматриваемом случае важную роль играет матрица W, построенная следующим образом [1-4]

$$W(t)=\{L_1(t),\ldots,L_n(t)\}. \quad (8)$$

Здесь $L_k(t)$-матрицы, определяемые рекуррентными соотношениями

$$L_1(t)=\begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix}, \ldots.,$$

$$L_{i+1}(t)=\frac{dL_i(t)}{dt}-P(t)\cdot L_i(t). \quad (9)$$

Для компонентов матрицы W имеем

$$\dot{L}_1(t)=\begin{pmatrix}0\\0\\0\end{pmatrix}$$

DOI: 10.24412/2181-1431-2022-1-51-55

$$L_2(t) = -\begin{pmatrix} -n\cdot\rho_0\cdot\dot{\rho}_0 & S_1 & -n\cdot\omega_2^0\cdot\rho_0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n\cdot\omega_2^0\cdot\rho_0 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$L_2(t) = \begin{pmatrix} n\cdot\omega_2^0\cdot\dot{\rho}_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},\ L_3(t) = \dot{L}_2(t) - P\cdot L_2(t),$$

$$P\cdot L_2 = \begin{pmatrix} -n\cdot\rho_0\cdot\dot{\rho}_0 & S_1 & -n\cdot\omega_2^0\cdot\rho_0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix} n\cdot\omega_2^0\cdot\rho_0 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -n^2\cdot\rho_0^2\cdot\omega_2^0\cdot\dot{\rho}_0 - S_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$L_3(t) = \begin{pmatrix} n\cdot\omega_2^0\cdot\dot{\rho}_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n^2\cdot\rho_0^2\cdot\omega_2^0\cdot\dot{\rho}_0 + S_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{\rho}_0\cdot n\cdot\omega_2^0(1+n\cdot\rho_0^2) + S_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{\mu_1}{r} + n^2\cdot\omega_2^0\cdot\rho_0^2\cdot\dot{\rho}_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$W = \begin{pmatrix} 0 & n\cdot\omega_2^0\cdot\dot{\rho}_0 & \dfrac{\mu_1}{r}\cdot n^2\cdot\omega_2^0\cdot\rho_0^2\cdot\dot{\rho}_0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \qquad (10)$$

Ранг матрицы W равен порядку системы, так как $w = \rho_0{}^2\dot{\rho}_0\omega_2^0 \neq 0$. Значит, система управляема [10-14] по первому приближению. Следовательно, данная задача имеет решение.

В качестве критерия оптимальности возьмём интеграл

$$I = \int_0^\infty (\zeta^2 + \rho'^2 + z^2 + u_1^2)dt. \qquad (11)$$

Тогда, уравнения в нормальной форме (2) примут следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{\xi} = \dfrac{1}{(n\rho_c^2 + J^2)}(-n\rho_0\cdot n\dot{\rho}_0\xi - n\omega_2^0\cdot\rho_0 z + S_1\rho'), \\ \dot{\rho}' = z, \\ m\dot{z} = u_1. \end{cases} \qquad (12)$$

$$n_1 = \frac{n}{\omega\cdot\rho_0^2 + J^2},\ S'_1 = \frac{\dfrac{M_1}{R} - n\omega_2^0\dot{\rho}_0}{n\rho_0^2 + J_2}.$$

Для решения задачи оптимальной стабилизации необходимо построить функцию Ляпунова [3].

Согласно теории функцию Ляпунова будем искать в виде:

$$V = C_{11}\xi^2 + C_{22}\cdot z^2 + C_{33}\rho'^2 + 2C_{12}\cdot\xi\cdot z + C_{23}\rho' z. \qquad (13)$$

Составим функцию Беллмана

$$B[V,t,\xi,z,\rho',u] = \dot{C}_{11}\xi^2 + \dot{C}_{22}z^2 + C_{33}\rho'^2 + 2C_{12}\xi\cdot z + 2C_{13}\xi z + \dot{C}_{23}\rho' z +$$

$$+(2C_{11}\xi + 2C_{12}\rho' + 2C_{13}z)\cdot(-n_1\rho\rho_0\xi - n_1\omega_2^0\cdot\rho z + S'\rho') + (2C_{22}z) + 2C_{13}\xi + 2C_{23}\rho')\cdot$$

$$\cdot U_1 + (2C_{33}\rho' + 2C_{12}\xi + 2C_{23}z)\cdot z + \xi^2 + z^2 + \rho'^2 + u_1^2,$$

$$\frac{dB}{dU_1} = 2u_1 + 2C_{22}z + 2C_{13}\xi + 2C_{23}\rho' = 0.$$

Далее составим уравнения для определения коэффициентов функции Ляпунова [15-17]

DOI: 10.24412/2181-1431-2022-1-51-55

$$\begin{cases} \dot{C}_{11} = 2\cdot C_{11}\cdot n_1\cdot \rho\cdot \dot{\rho}_0 + C_{13}^2 - 1, \\ C_{22} = 2\cdot C_{13}\cdot n_1\cdot \omega_2^0\cdot \rho_0 + C_{22}^2 - 2\cdot C_{23} - 1, \\ \dot{C}_{33} = -2\cdot C_{12}\cdot S' + C_{23}^2 - 1, \\ \dot{C}_{13} = u_1\cdot \omega_2^0\cdot \rho_0\cdot C_{11} + C_{13}\cdot u_1\cdot \rho_0\cdot \dot{\rho}_0 + 2\cdot C_{13}\cdot C_{22} - 2\cdot C_{12}, \\ \dot{C}_{12} = -C_{11}\cdot S' + C_{12}\cdot u_1\cdot \rho_0\cdot \dot{\rho}_0 + 2\cdot C_{13}\cdot C_{23}, \\ \dot{C}_{23} = u_1\cdot \omega_2^0\cdot \rho_0\cdot C_{12} - S'\cdot C_{13} + 2\cdot C_{22}\cdot C_{23}, \end{cases} \quad (14)$$

где $n_1 = \dfrac{n}{n\rho_0^2 + J_2}$,

с начальными условиями

$$c_{ij}(0) = 0.$$

Искомое оптимальное управление u_1 находится по формуле

$$u_1 = -(c_{33}z + c_{13}\zeta + c_{23}\rho'). \quad (15)$$

Таким образом, если удастся найти частное решение уравнения (1), то вопрос стабилизации движений в окрестности состояний, допускаемой условной связью, решается вышеизложенным алгоритмом [18,19].

Следуя алгоритму освобождения от условных связей, рассмотрен вопрос оптимальной стабилизации программного движения регулятора скорости в окрестности многообразия, определяемого условной связью. Аналитические выкладки показали, что система управляема, и можно построить функцию Ляпунова, которая решает вопрос оптимальной стабилизации [20-25].

Заключения. Получены следующие основные результаты:

1. Получены дифференциальные уравнения регулятора скорости как параметрическиосвобожденной системы в окрестности многообразия, определяемого условной связью. Показано, что система управляемая по первому приближению.
2. Составлены уравнения для определения коэффициентов функции Ляпунова, которая решает вопрос оптимальной стабилизации программных движений регулятора скорости.

Литературы

1. Манглиева Ж.Х. и др «American journal of economics and business management» Optimal stabilization of partial movements of the frictional speed controller in case of imprecise fulfillment of the conditional connectionVol. 3, No.5, November-December 2020

2. Манглиева Ж.Х., Сидиков М.Н. Регуляторларда дастурли характни амалга оширишда Пуанкаренинг кичик параметр усули // Илмий – теник ва ишлаб чикариш журнали «Узбекистон Кончилик хабарномаси». – Навои, 2013 . – №3. – С. 123 – 125.

3. Манглиева Ж.Х., Бекназаров Ж.Х. Фан ва таълим-тарбияда янги педагогик технологиянинг урни // “Современные материалы техника и технологии в машиностроении” илмий маколалар туплами Андижон 2016 , 264-268 б

4. Манглиева Ж.Х., Аъзамова Н.Б. Анализ потери тепла в газовых плавильных печах // “Современные материалы техника и технологии в машиностроении” илмий маколалар туплами Андижон 2016 , 130-134 б

5. Манглиева Ж.Х., Эшбоева З. Техник механикани ўқитишда педагогик дастурий воситалар яратиш технологияси ва ундан фойдаланиш методикаси // Илмий-услубий журнали “Касб-хунар таълими”. -Тошкент, 2016.-№6 -34-36

6. Манглиева Ж.Х., Кодирова Г. Анализ условий устойчивости стационарного движения редуктора // Журнал “Молодой учёный”.- г. Казан, 2017.- №22 (156) -57-59

7. Манглиева Ж.Х., Коршунова Н.А., Кулатова Г. Оптимизации движения точки переменной массы в гравитационных полях // Сборник статей и международной научно-практической конференции «OPENINNOVATION».г. Пенза, 2017.-№1-57-60

8. Манглиева Ж.Х., Сидиков М.Н., Хусенова Ф.Х. Икки роторли компасда шартли богланишларни амалга ошириш ва уни стабиллаш масаласи // Илмий – теник ва ишлаб чикариш журнали «Узбекистон Кончилик хабарномаси». – Навои, 2018 . – №1. – С. 40 – 42.

9. Манглиева Ж.Х., Хусенова Ф., Салимжонов Х., Ибрагимов А.Д. Исследование движения механических систем с неидеальными связями путем использования расширенного метода комбинирования связей // Научно-теоретический журнал Вопросы науки и образования № 24 (36), 2018 Москва 2018 С. 19 – 22.

10. Манглиева Ж.Х., С.Дж. Базарова, Ф.Х. Байчаев. Пути повышения научно-теоретического уровня обучения // Интеллектуальная культура Беларуси: методологический капитал философии и контуры транс дисциплинарного синтеза знания Москва 2018

11. Манглиева Ж.Х., Бекназаров, А.Д. Ибрагимов А.Д. Механика фанини ўқитишда илмий-тадқиқот натижаларини қўллаш ва инновацион интеграцияни ривожлантириш. // Yosh olimlar axborotnomasi (2) №3-4 (12) 2018 Илмий журнал с. 72-74

12. Манглиева Ж.Х., С.Дж. Базарова, Ф.Х. Байчаев. Организация учебного процесса на

DOI: 10.24412/2181-1431-2022-1-51-55

основе интеграции обучения с производством // Научно-теоретический журнал Вопросы науки и образования №11(23),Москва 2018
13.Манглиева Ж.Х., Орипов З.Б., Ибрагимов А.Д., Рамазонов Д.Х. Оптимальная стабилизация программного движения регулятора скорости // Internationalscientificreview 2018. № 1 (40) russian impact factor 0,25 lii international correspondence scientific and practical conference «international scientific review of the problems and prospects of modern science and education» (paris. france. december 17-18, 2018) с. 23 – 27.
14.Манглиева Ж.Х., Обитов Н.М., Орипов З.Б. Ибрагимов А.Д. Дифференциальные уравнения движения систем с геометрическими неидеальными связями при использовании расширенного метода комбинирования связей // Научный журнал Интернаука № 36(118) Октябрь 2019 г.
15.Манглиева Ж.Х., Мамадалиева Н.А., Ибрагимов А.Д., Курбонов Ю.Ш. Оптимальная стабилизация частных движений фрикционного регулятора скорости при выполнении условной связи // Интернаука Научный журнал № 47(129) Декабрь 2019 г. Часть 1 Москва С. 77 – 80.
16.Манглиева Ж.Х., Мамадалиева Н.А Ибрагимов А.Д. Распространения расширенного метода комбинирования связей на неголономные системы // Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari", mavzuidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani materiallari 27-28 november, 2019. navoi, uzbekistan с.608-610
17.Манглиева Ж.Х., Орипов З.Б. Ибрагимов А.Д. Оптимальная стабилизация частных движений фрикционного регулятора скорости при выполнении условной связи // Сборник статей XXX Международной научно-практической конференции «worldscience: problemsandinnovations», Состоявшейся 30 марта 2019 г. В г. Пенза
18.Манглиева Ж.Х., Коршунова Н.А., Рузматов М. Ибрагимов А.Д. Integrals for Intermediate Thrust Arcs in a Field of Two Fixed Centers // Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 12, Special Issue-07, 2020
19.Манглиева Ж.Х., Норов Г.М., Ибрагимов А.Д. Optimal stabilization of partial movements of the frictional speed controller in case of imprecise fulfillment of the conditional connection // American journal of economics and business management ISSN: 2576-5973 Vol. 3, No.5, November-December 2020
20.Манглиева Ж.Х., Норов Г.М., Ибрагимов А.Д. Применение методов аналитической механики при оптимизации траекторий на активных участках в гравитационных полях // Н Российский импакт-фактор: 1,84 научно-методический журнал Наука, техника и образование 2020. № 3 (67) Москва С 5-9
21.Коршунова Н.А., Манглиева Ж.Х., Ибрагимов А.Д., Курбонов Ю.Ш. Кенгайтирилган комбинайиялашган боғланишлар усулини куллаб аналитик динамикани баъзи масаллларини ечиш // ФарПИ Илмий-техника журнали Илмий – техника журнали 2020. № 5 Том 24 Фаргона С 145-150
22.Коршуова Н.А., Рузматов М., Манглиева Ж.Х., Ибрагимов А.Д. Аналитические решения для участков малой тяги в центральном ньютоновском поле //Journal of Advances in Engineering Technology Sept, 2020 Vol.1 (1), Sept, 2020
23.Манглиева Ж.Х., Ибрагимов А.Д. Дифференциальные уравнения движения систем с геометрическими неидеальными связями при использовании расширенного метода комбинирования связей //Инновация:иқтисод ва фан, иктисодий илмий амалий журнал 2021 й, 2-сон, 48-51 бет
24.Тоиров М.Ш. Разработка и внедрениересурсосберегающей конструкции виброгрохочения инертных материалов // Central asian journal of theoretical & applied sciences. – 2021. – т. 2. – №. 5, с.208-218
25.Тоиров М.Ш. Реконструкция турбо компрессор атк540 //xlvii international correspondence scientific and practical conference" European research: innovation in science, education and technology". – 2018, с. 34-38

DOI: 10.24412/2181-1431-2022-1-51-55