

УДК 621.85

С.И. Худорожков, Ю.В. Галышев

ДИНАМИКА РЕКУПЕРАТИВНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО БЕССТУПЕНЧАТОГО ПРИВОДА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

S.I. Hoodorozhkov, Yu.V. Galyshev

DYNAMICS OF THE RECUPERATIVE MECHANICAL STEPLESS VEHICLE'S DRIVE

В статье представлены результаты теоретического исследования рабочих процессов в механической бесступенчатой передаче транспортного средства с рекуперацией энергии торможения и маховичным накопителем энергии.

БЕССТУПЕНЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА. РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ ТОРМОЖЕНИЯ. МАХОВИЧНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ. ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО.

The results of a theoretical study operation in the mechanical stepless vehicle drive with the recuperation of braking energy and flywheel energy storage has been represented.

STEPLESS TRANSMISSION. RECUPERATION OF BRAKING ENERGY. FLYWHEEL ENERGY STORAGE. VEHICLE.

Для городских условий эксплуатации наличие у транспортных средств бесступенчатого регулирования скорости движения в сочетании с системой рекуперативного торможения позволит существенно расширить их эффективность. Для реализации рекуперативного механического бесступенчатого привода необходимы две основные составляющие — эффективные накопители энергии и саморегулируемые механические бесступенчатые передачи с широким диапазоном изменения передаточного отношения.

Наиболее подходит в качестве накопителя энергии для механической рекуперативной системы маховик, поскольку форма энергии при трансформации не меняется, КПД механического привода маховика — максимально возможный, а сам привод — простой и надежный.

Существующие механические бесступенчатые передачи, как правило, — фрикционного типа: клиноременные, дисковые и шаровые. Данные вариаторы относятся к категории бесступенчатых передач типа CVT (continuously variable transmission). Их основные недостатки: малый диапазон трансформации момента (2–4), необходимость применения автоматического сцепле-

ния для трогания с места и отсутствие саморегулирования передаточного отношения при изменении нагрузки. По этим причинам включение таких передач в систему рекуперативного движения транспортных средств нецелесообразно.

Механические CVT на основе использования муфт свободного хода (МСХ), представленные фирмой Zero-Max Drives (США), относятся к категории вариаторов Adjustable-speed drive (ASD). Это бесступенчатые передачи типа Infinitely Variable Transmission (IVT), у которых возможность непрерывного изменения передаточных отношений реализуется, в отличие от CVT, не в ограниченном, а в «бесконечно» широком диапазоне скоростей вращения выходного вала, включая «стоповый» режим.

Основной принцип управления вариатора ASD — бесступенчатое регулирование скорости выходного вала за счет изменения амплитуды колебаний четырех или более роликовых МСХ, поочередно вращающих выходной вал. Вариатор отличается высоким КПД ($\eta > 0,92$), простотой конструкции, регулировок и обслуживания, а также дешевизной в сравнении с другими типами. Основным недостатком является отсут-

ствие саморегулирования передаточного отношения в зависимости от внешней нагрузки.

Для устранения этого недостатка и использования ASD вариатора в рекуперативных приводах передача дополняется упругими звеньями, например торсионным валом, что позволяет при постоянной амплитуде колебаний ведущего звена МСХ осуществлять автоматическую трансформацию момента за счет изменения угла закрутки торсиона, обеспечивая автоматическое увеличение вращающего момента (уменьшение частоты вращения ведомого вала) при росте нагрузки и, наоборот, плавное снижение вращающего момента (увеличение частоты вращения выходного вала) при снижении нагрузки [1–3].

На рис. 1 представлена принципиальная кинематическая схема рекуперативной механической системы, состоящей из двух одинаковых маховиков, соединенных двумя одинаковыми, но противоположно направленными кинематическими цепями [4, 5].

В каждой цепи имеется муфта включения, шарнирно-рычажный четырехзвенник, МСХ, торсионный вал и передача с постоянным передаточным отношением. Такая кинематическая цепь обладает свойствами трансформатора вращающего момента.

Рассмотрим процесс обмена энергии между маховиками при включении муфты F_1 . В начальный момент времени маховик J_1 имеет угловую скорость $\omega_{01} = \omega_{\max}$, а маховик J_2 — $\omega_{02} = \omega_{\min}$. Маховик J_1 тормозится, а маховик J_2 разгоняется. В конце торможения — разгона должно быть $\omega_1 = \omega_{\min}$, а $\omega_2 = \omega_{\max}$. Тогда при выключении муфты F_1 и включении муфты F_2 процесс в точности повторится, но в обратном направлении. В работе [4] применительно к данной кинематической схеме получены соотношения

$$\begin{cases} \omega_{\max} = \varphi_0 i_{\max} I_{p\text{ вх}} I_{p\text{ вых}} \omega_{\min}; \\ \omega_{\min} = \varphi_0 i_{\min} I_{p\text{ вх}} I_{p\text{ вых}} \omega_{\max}. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь i_{\min} и i_{\max} — минимальное и максимальное значения передаточного отношения, которое может изменяться за счет закрутки торсионного вала от 0 при неподвижном выходном вале (стоповый режим) до 1 при отсутствии на нем нагрузки; φ_0 — амплитуда колебаний ведущего звена МСХ; $I_{p\text{ вх}}$, $I_{p\text{ вых}}$ — постоянные передаточные отношения каждой кинематической цепи. На основании (1) имеем

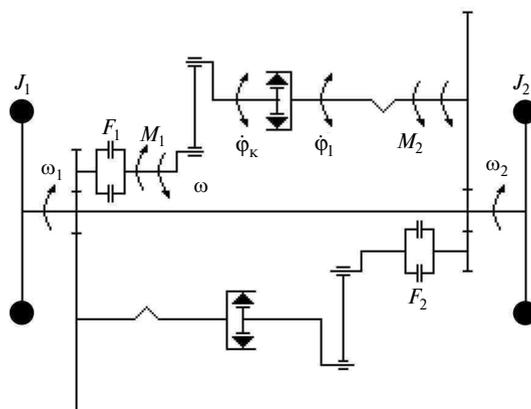


Рис. 1. Рекуперативная механическая система

$$\frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} = \varphi_0 i_{\max} I_{p\text{ вх}} I_{p\text{ вых}} = \frac{1}{\varphi_0 i_{\min} I_{p\text{ вх}} I_{p\text{ вых}}},$$

или

$$\varphi_0^2 I_{p\text{ вх}}^2 I_{p\text{ вых}}^2 i_{\max} i_{\min} = 1. \quad (2)$$

Зависимость (2) является выражением кругового передаточного отношения контура, когда включены обе муфты (F_1 и F_2). На самом деле каждый раз включается только одна из них. Если задать величину φ_0 (конструктивный параметр), а также величины i_{\max} и i_{\min} , то зависимость (2) позволит определить требуемые значения $I_{p\text{ вх}}$, $I_{p\text{ вых}}$ и величину диапазона изменения угловых скоростей маховиков.

Таким образом, зависимость (2) устанавливает связь величины выбранного диапазона D изменения передаточного отношения i

$$D = \sqrt{D_i} = \sqrt{i_{\max} / i_{\min}}, \quad (3)$$

с величиной φ_0 и постоянными передаточными отношениями согласующих редукторов $I_{p\text{ вх}}$, $I_{p\text{ вых}}$. Это позволяет провести кинематический расчет рекуперативного привода (подобрать передаточные отношения на входе и выходе ИВТ передачи с МСХ). Пример построения графиков изменения угловых скоростей маховиков при включении муфт F_1 и F_2 выполнен в работе [5] на основе рассмотрения рекуперативной системы велосипеда массой 260 кг, оснащенного маховиком массой 10 кг и рекуперативным механическим бесступенчатым приводом (см. рис. 1).

Теоретическое исследование внутренней динамики рабочих процессов рекуперативной механической бесступенчатой передачи целе-

сообразно начать с рассмотрения простейшей трехмассовой модели (с упругостью на выходе МСХ), представленной на рис. 2 (общий случай с внешним входным моментом M_d). При этом модель на рис. 2, а соответствует периоду рабочего хода передачи (совместное движение ведущих и ведомых частей передачи), а рис. 2, б, в — периоду холостого хода (ведомая и ведомая подсистемы движутся независимо).

При построении математической модели необходимо иметь ввиду, что в задачах динамики с нелинейной функцией положения, к каким относится данная передача, целесообразно применять особую форму уравнений Лагранжа с «лишними» координатами.

Выполним построение уравнений движения для модели передачи в период рабочего хода (рис. 2, а) относительно вторых производных обобщенных координат.

Уравнения Лагранжа с «лишними» координатами имеют вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_j} + \frac{\partial V}{\partial \varphi_j} = Q_j + \sum_{i=1}^n \lambda_i h_{ij}. \quad (4)$$

Здесь λ_i — множитель Лагранжа, h_{ij} — коэффициент при множителе Лагранжа.

Выбираем обобщенные координаты, где $\varphi_2 = F(\varphi_1)$.

Здесь $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ — угловые координаты перемещений соответствующих масс; $F(\varphi_1)$ — функция положения.

Тогда кинетическая энергия через обобщенные скорости выражается следующими соотношениями:

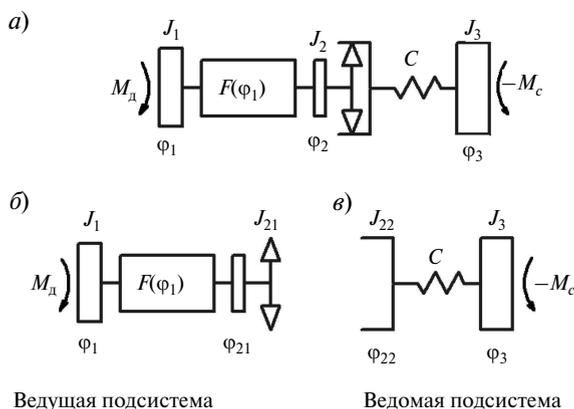


Рис. 2. Трехмассовая модель механической бесступенчатой передачи на этапах рабочего (а) и холостого (б, в) хода

$$T = \frac{1}{2} [J_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + J_3 \dot{\varphi}_3^2]; \quad (6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} = J_1 \dot{\varphi}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} = J_2 \dot{\varphi}_2; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} = J_3 \dot{\varphi}_3;$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) = J_1 \ddot{\varphi}_1; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) = J_2 \ddot{\varphi}_2;$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} \right) = J_3 \ddot{\varphi}_3;$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} = 0;$$

Потенциальная энергия через обобщенные координаты, включая «лишние», соответствует выражениям

$$V = \frac{1}{2} [c(\varphi_2 - \varphi_3)^2] =$$

$$= \frac{1}{2} [c(\varphi_2^2 - 2\varphi_2\varphi_3 + \varphi_3^2)^2];$$

$$\frac{\partial V}{\partial \varphi_1} = 0; \quad \frac{\partial V}{\partial \varphi_2} = c\varphi_2 - c\varphi_3; \quad \frac{\partial V}{\partial \varphi_3} = c\varphi_3 - c\varphi_2. \quad (7)$$

Уравнение, связывающее «лишнюю» координату с независимой обобщенной координатой, имеет вид

$$\varphi_2 = F(\varphi_1). \quad (8)$$

Продифференцируем последнее уравнение по времени и запишем в следующем виде:

$$\dot{\varphi}_2 = F'(\varphi_1)\dot{\varphi}_1; \quad \ddot{\varphi}_2 = F''(\varphi_1)\dot{\varphi}_1^2 + F'(\varphi_1)\ddot{\varphi}_1.$$

Тогда

$$F'(\varphi_1)\dot{\varphi}_1 - \varphi_2 = 0. \quad (9)$$

Здесь $F'(\varphi_1) = \frac{dF}{d\varphi_1}$ — передаточная функция.

Уравнение связи имеет вид

$$h_1 \dot{\varphi}_1 + h_2 \dot{\varphi}_2 + h_3 \dot{\varphi}_3 + h = 0; \quad (10)$$

Сопоставляя (9) с (10), запишем: $h_1 = F'(\varphi_1)$; $h_3 = -1$. Остальные коэффициенты равны нулю.

Определим обобщенные силы. Составляя выражение суммы работ непотенциальных сил на возможных перемещениях и группируя члены при δq_i , получаем

$$Q_i = \sum_1^3 M_i h_i; \quad Q_1 = M_d; \quad Q_2 = -M_c; \quad Q_3 = -M_c. \quad (11)$$

В итоге система дифференциальных уравнений имеет вид

$$\begin{cases} J_1 \dot{\varphi}_1 = M_d + \lambda F'(\varphi_1); \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 = -c(\varphi_2 - \varphi_3) - \lambda; \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 = c(\varphi_2 - \varphi_3) - M_c. \end{cases} \quad (12)$$

Используем второе уравнение для определения множителя Лагранжа λ :

$$\lambda = -J_2 \ddot{\varphi}_2 - c(\varphi_2 - \varphi_3).$$

С учетом того, что

$$\dot{\varphi}_2 = F'(\varphi_1) \dot{\varphi}_1; \quad \ddot{\varphi}_2 = F''(\varphi_1) \dot{\varphi}_1^2 + F'(\varphi_1) \ddot{\varphi}_1,$$

получим

$$\lambda = -c(\varphi_2 - \varphi_3) - J_2 [F''(\varphi_1) \dot{\varphi}_1^2 + F'(\varphi_1) \ddot{\varphi}_1]. \quad (13)$$

Тогда, подставляя λ в систему (12), получим

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_1 = \{M_d + F'(\varphi_1)[-C_1(\varphi_2 - \varphi_3) - J_2 \dot{\varphi}_1^2 F''(\varphi_1)]\} / \\ / (J_1 + J_2 F'(\varphi_1)^2); \\ \ddot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_1^2 F''(\varphi_1) + \ddot{\varphi}_1 F'(\varphi_1); \\ \ddot{\varphi}_3 = [C_1(\varphi_2 - \varphi_3) - M_c] / J_3. \end{cases} \quad (14)$$

Здесь $F(\varphi_1) = \varphi_0(1 - \cos \varphi_1)$; $F'(\varphi_1) = \varphi_0 \sin(\varphi_1)$; $F''(\varphi_1) = \varphi_0 \cos(\varphi_1)$ — соответственно функция положения (передаточное отношение), ее первая (передаточная функция) и вторая производные; M_d и M_c — приведенные моменты двигателя и сопротивления; C — приведенные коэффициенты угловой жесткости; $J_1 - J_3$ — приведенные моменты инерции масс.

На этапе холостого хода система распадается на две независимые подсистемы, динамические модели которых изображены на рис. 2, б, в.

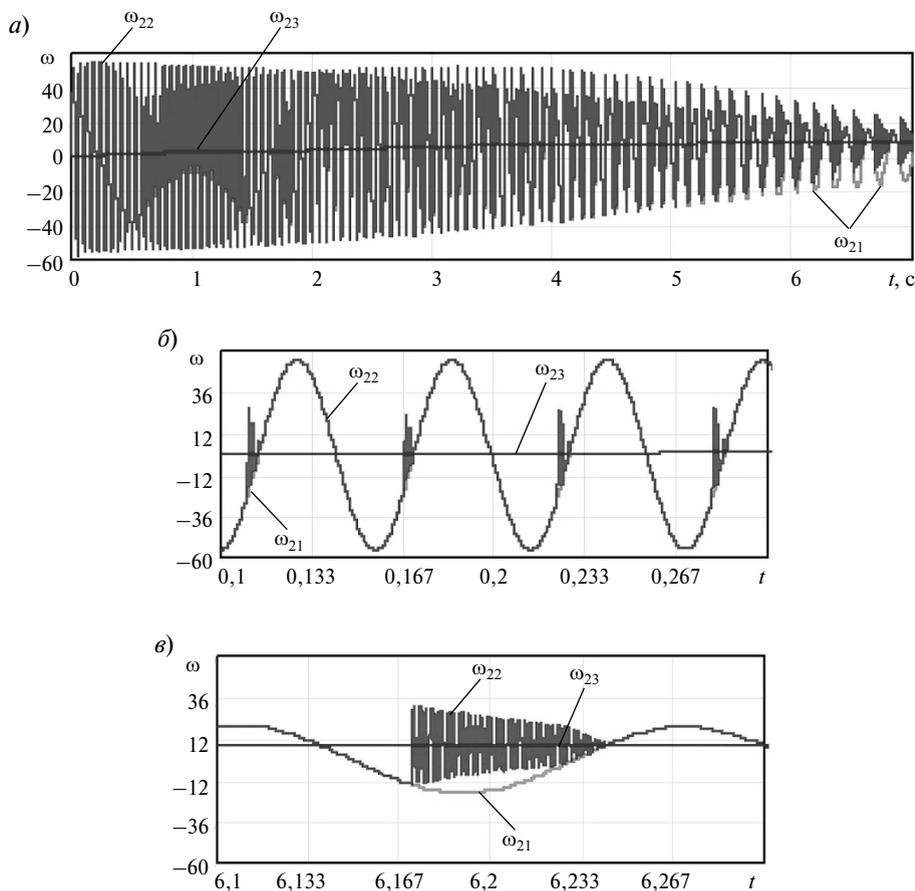


Рис. 3. Графики изменения приведенных угловых скоростей звеньев передачи $\omega_{21}, \omega_{22}, \omega_{23}$, рад/сек, за время разгона t , с: а — за весь период рекуперативного разгона велосипеда; б — в начальный период; в — в конечный период

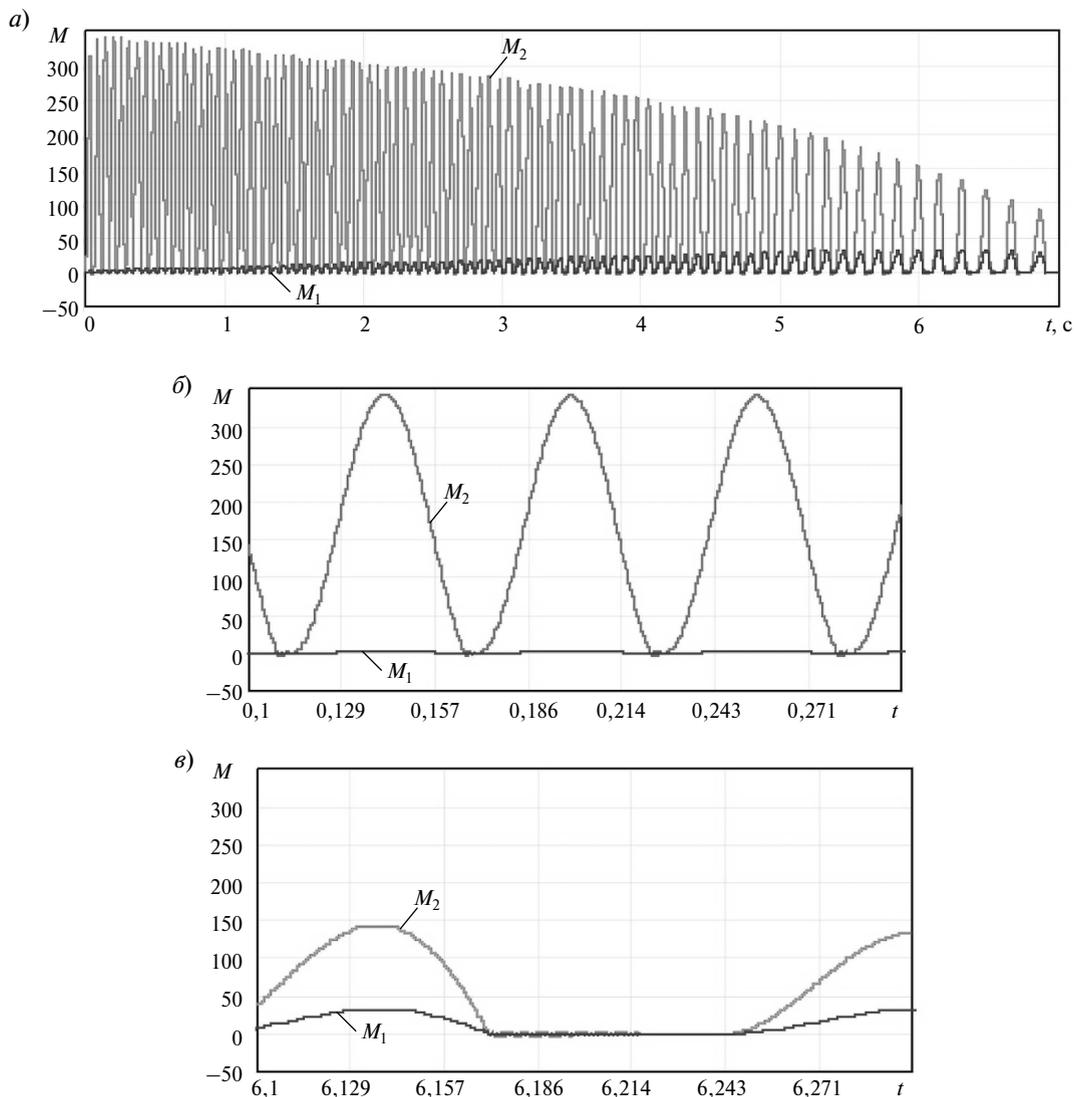


Рис. 4. Графики изменения момента, Н·м, на входном M_1 и выходном M_2 валах передачи за время t , с: *a* — за весь период рекуперативного разгона велосипеда; *б* — в начальный период разгона; *в* — в конечный период разгона

Уравнения, описывающие поведение ведущей подсистемы в период холостого хода относительно производных второго порядка, имеют вид

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_1 = \left\{ M_d + F'(\varphi_1) \left[-J_{21} \dot{\varphi}_1^2 F''(\varphi) \right] \right\} / \left(J_1 + J_{21} F'(\varphi_1)^2 \right); \\ \ddot{\varphi}_{21} = \dot{\varphi}_1^2 F''(\varphi_1) + \ddot{\varphi}_1 F'(\varphi_1), \end{cases} \quad (15)$$

а уравнения, описывающие поведение ведомой подсистемы, — вид

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_{22} = -C_1(\varphi_{22} - \varphi_3) / J_{22}; \\ \ddot{\varphi}_3 = [C_1(\varphi_{22} - \varphi_3) - M_c] / J_3. \end{cases} \quad (16)$$

Здесь J_{21}, J_{22} — моменты инерции массы 2, приведенные соответственно к ведущему и ведомому звеньям МСХ; φ_{21} и φ_{22} — координаты масс с моментами инерции J_{21} и J_{22} .

Для решения полученных нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих работу бесступенчатой передачи как механической системы с переменной структурой, воспользуемся одним из численных методов. При этом

значения инерционно-упругих коэффициентов для схемы на рис. 4 примем на основе приведения инерционно-упругих звеньев велосипеда [4] без учета потерь на трение в цепном приводе и в МСХ.

Условия движения велосипеда: разгон с нулевой начальной скорости (приведенная к выходному валу угловая скорость велосипеда $\omega_{впр} = 0$); $f = 0,012$ — коэффициент сопротивления движению; приведенный движущий момент $M_d = 0$ (разгон маховиком); приведенный к выходному валу момент сопротивления при рекуперативном разгоне $M_{с пр} = 16,37$ Нм; момент инерции маховика, приведенный к входному валу бесступенчатой передачи, $J_{М пр} = 0,646$ кг·м²; максимальная приведенная к входному валу угловая скорость вращения маховика $\omega_{М пр max} = 111,7$ рад/с; момент инерции велосипеда, приведенный к выходному валу бесступенчатой передачи, $J_{в пр} = 74,3$ кг·м².

На рис. 3 представлены фрагменты рабочих процессов в механической бесступенчатой передаче велосипеда, рассчитанные на основе численного метода решения системы уравнений (14)–(16). Графики построены для приведенных угловых скоростей инерционных масс J_{21} , J_{22} , J_3 на этапах рабочего и холостого ходов МСХ за весь период рекуперативного разгона велосипеда (а), в начальный (б) и конечный (в) периоды разгона.

Из графиков следует, что в начале разгона имеет место максимальная амплитуда приведенной угловой скорости маховика ω_{21} (55 рад/сек) и минимальная фаза холостого хода, порядка 0,005 сек. В конце разгона амплитуда приведенной угловой скорости маховика снижается до 25 рад/сек, а фаза холостого хода увеличи-

вается до 0,05 сек. Этому соответствует увеличение линейной скорости велосипеда с нуля до 17 км/ч и снижение частоты вращения маховика с 2030 до 500 об/мин [5].

Характер изменения крутящего момента на входе и выходе бесступенчатой передачи представлен на рис. 4.

Анализ графиков показывает, что с увеличением скорости от 0 до 17 км/ч происходит автоматическое уменьшение максимального крутящего момента на выходном валу с 345 до 90 Н·м. Коэффициент трансформации момента в передаче изменяется с ростом скорости выходного вала практически с 30 (трогание с места) до 3,6 при максимальной скорости. Период цикла рабочего процесса передачи при этом увеличивается с 0,057 до 0,2 с.

Максимальные значения линейного ускорения при разгоне возникают в начальный период и не превышают 2 м/с², снижаясь до 0,3 м/с² в конце разгона.

Динамические процессы в бесступенчатой передаче при рекуперативном торможении в силу симметричности контуров аналогичны процессу рекуперативного разгона; соответственно, и рабочие процессы подобны, изображенным на рис. 3 и 4.

Полученные результаты теоретического исследования динамики рабочих процессов в рекуперативной механической бесступенчатой передаче позволяют сделать вывод об эффективности разработанной математической модели и методов ее исследования. Выполненные расчеты подтверждают эффективность данного направления технического развития в области механических бесступенчатых трансмиссий транспортных средств с рекуперацией энергии торможения [6–9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Благонравов, А.А.** Динамика механической бесступенчатой передачи [Текст] / А.А. Благонравов, С.И. Худорожков // Проблемы машиностроения и надежности машин.— 2002.— № 6.— С. 19–24.
2. **Благонравов, А.А.** Динамическая характеристика саморегулируемой механической бесступенчатой передачи [Текст] / А.А. Благонравов, С.И. Худорожков // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Редукторостроение России: состояние, проблемы, перспективы».— СПб.: ЦЦП ОАО «Светоч», 2003.— С. 192–194.
3. **Благонравов, А.А.** Внешняя характеристика многопоточной бесступенчатой передачи с упругими звеньями [Текст] / А.А. Благонравов, С.И. Худорожков // Трансмиссии и приводные агрегаты колесных и гусеничных машин: Сб. тр. кафедры колесных и гусеничных машин СПбГПУ.— СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2012.— С. 105–112.
4. **Благонравов, А.А.** Использование дорезонансных колебаний для трансформации механической энергии [Текст] / А.А. Благонравов // Восьмой Всероссийский съезд по теоретической и прикладной

механике: Аннотации докладов.— Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001.— С. 103–104.

5. **Худорожков, С.И.** Рекуперативный механический бесступенчатый привод для велосипедов [Текст] / С.И. Худорожков // Одиннадцатая международная научно-практ. конф. «Прогрессивные технологии в транспортных системах».— Оренбург, 2013.— С. 549–561.

6. **Худорожков, С.И.** Эффективность применения рекуперативного торможения на транспортных средствах [Текст] / С.И. Худорожков // Интеграл.— 2004.— № 4.— С. 48–49.

7. **Худорожков, С.И.** Сохранение кинетической

энергии при торможении наземных транспортных средств [Текст] / С.И. Худорожков // Вестник Курганского гос. ун-та. Серия: Технические науки.— 2005, Вып. 2.— С. 190–194.

8. **Патент РФ на изобретение №2261385.** Рекуперативная механическая саморегулируемая бесступенчатая передача с маховичным накопителем энергии [Текст] / Худорожков С.И.— Зарегистрирован в Гос. реестре изобретений РФ 27.09.2005.

9. **Патент РФ на изобретение №2252351.** Механическая саморегулируемая бесступенчатая передача [Текст] / Худорожков С.И.— Зарегистрирован в Гос. реестре изобретений РФ 20.05.2005.

REFERENCES

1. **Blagonravov A.A., Khudorozhkov S.I.** Dinamika mekhanicheskoi besstupenchatoi peredachi // Problemy mashinostroyeniia i nadezhnosti mashin.— 2002.— № 6.— С. 19–24.

2. **Blagonravov A.A., Khudorozhkov S.I.** Dinamicheskaiia kharakteristika samoreguliruemoi mekhanicheskoi besstupenchatoi peredachi [Tekst] // Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Reduktorostroyenie Rossii: sostoianie, problemy, perspektivy». — SPb.:TsTsP OAO «Svetoch», 2003.— S. 192–194. (rus.)

3. **Blagonravov A.A., Khudorozhkov S.I.** Vneshniaia kharakteristika mnogopotочноi besstupenchatoi peredachi s uprugimi zven'iami // Sbornik trudov kafedry koleznykh i gusenichnykh mashin SPbGPU «Transmissii i privodnye agregaty koleznykh i gusenichnykh mashin».— SPb.: SPbGPU, 2012.— S. 105–112. (rus.)

4. **Blagonravov A.A.** Ispol'zovanie dorezonansnykh kolebaniy dlia transformatsii mekhanicheskoi energii // Vos'moi Vserossiiskii s'ezd po teoreticheskoi i prikladnoi mekhanike. Annotatsii dokladov.— Ekaterinburg: UrO RAN, 2001.— С. 103–104. (rus.)

5. **Khudorozhkov S.I.** Rekupeativnyi mekhanicheskii besstupenchatyi privod dlia velomobilei [Tekst] // Odinnadtsataia mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia «Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh».— Orenburg, 2013.— S. 549–561. (rus.)

6. **Khudorozhkov S.I.** Effektivnost' primeneniia rekupeativnogo tormozheniia na transportnykh sredstvakh [Tekst] // Integral.— 2004. № 4.— С. 48–49. (rus.)

7. **Khudorozhkov S.I.** Sokhranenie kineticheskoi energii pri tormozhenii nazemnykh transportnykh sredstv [Tekst] // Vestnik Kurganskogo gos. un-ta. Seriia «Tekhnicheskii nauki».— 2005. Vyp. 2.— С. 190–194. (rus.)

8. **Patent RF na izobretenie №2261385.** Rekupeativnaia mekhanicheskaiia samoreguliruemaia besstupenchatataia peredacha s makhovichnym nakopitelem energii [Tekst] / Khudorozhkov S.I.— Zaregistririrovan v Gos. reestre izobretenii RF. 27.09.2005. (rus.)

9. **Patent RF na izobretenie №2252351.** Mekhanicheskaiia samoreguliruemaia besstupenchatataia peredacha [Tekst] / Khudorozhkov S.I.— Zaregistririrovan v Gos. reestre izobretenii RF. 20.05.2005. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ /AUTHORS

ХУДОРОЖКОВ Сергей Иванович — доктор технических наук профессор кафедры двигателей, автомобилей и гусеничных машин Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: xcu-55@mail.ru.

HOODOROZHKOV Sergey I. — St.-Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnicheskaya Str. 29, St.-Petersburg, Russia; e-mail: xcu-55@mail.ru

ГАЛЫШЕВ Юрий Витальевич — доктор технических наук заведующий кафедрой двигателей, автомобилей и гусеничных машин Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: galyshev57@yandex.ru.

GALYSHEV Yuriy V. — St.-Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnicheskaya Str. 29, St.-Petersburg, Russia; e-mail: galyshev57@yandex.ru