

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНЕТАРНОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В.А. Гринин

valiksevada@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Выполнен сравнительный анализ планетарных коробок передач (ПКП) при изменении схемы управления, а также методика получения рациональных передаточных чисел. Изменение в схеме управления и соответствующее уменьшение числа передач позволили получить преимущество в скоростных параметрах ПКП, улучшить тягово-динамические свойства передачи. Более того, отказавшись от управления одним из тормозов, удалось упростить управление, уменьшить массогабаритные показатели механизма. По результатам вычислений и получения зависимостей выбрана наиболее рациональная схема управления ПКП, кроме того, определены требования, предъявляемые к полученной шестиступенчатой ПКП.

Ключевые слова

Трансмиссия, планетарная коробка передач, кинематическая схема, управление, скоростная характеристика, передаточное число, прогрессия, момент, угловая скорость, коэффициент полезного действия

Поступила в редакцию 26.01.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Введение. При разработке трансмиссий невозможно обойтись без предварительного исследования ее узлов и агрегатов. Один из способов исследования — сравнительный анализ конструкций, кинематических схем, способов управления по зависимостям и расчетным данным, что дает возможность оценить работу механизмов и агрегатов в целом.

В рамках настоящей работы были получены скоростная характеристика коробки передач, а также зависимости относительных угловых скоростей и моментов от номера передачи.

Объект исследования. Объектом данного исследования служит один из агрегатов трансмиссии — коробка передач. Большинство автоматических коробок передач колесных машин, а также большинство коробок передач гусеничных машин построены с использованием планетарных механизмов. Планетарные передачи по сравнению с цилиндрическими передачами обеспечивают меньшую нагруженность зубьев, разгруженность центральных валов и подшипниковых опор от радиальных сил, большее число передач при меньших габаритах [1–3].

В качестве объекта исследования выбрана синтезированная на кафедре СМ9 МГТУ им. Н.Э. Баумана кинематическая схема планетарной коробки передач (ПКП) (рис. 1). Эту схему предлагается использовать для проектирования автоматической коробки передач автомобилей массой до 2000 кг.

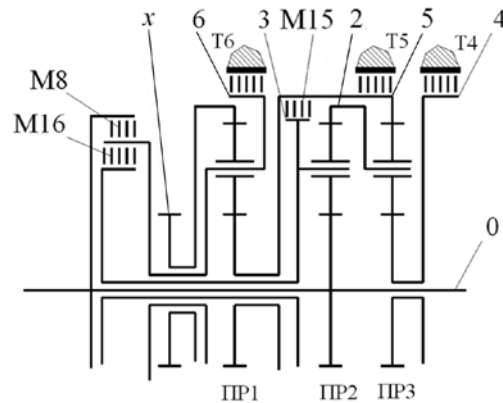


Рис. 1. Кинематическая схема исследуемой планетарной коробки передач:
 0, 2, 3, 4, 5, 6, x — звенья ПКП; T4, T5, T6 — тормоза; M8, M15, M16 — блокировочные муфты;
 ПР1 — первый планетарный ряд; ПР2 — второй планетарный ряд; ПР3 — третий планетарный ряд

Данная схема обладает четырьмя степенями свободы, что на сегодняшний день наиболее рационально по сравнению с используемыми до недавнего времени трехступенными ПКП.

Предложенная схема позволяет реализовать семь передач переднего хода и одну заднего хода. Как видно на рис. 1, кинематическая схема включает в себя три планетарных ряда (ПР) и шесть фрикционных элементов управления (три тормоза T4, T5 и T6 и три блокировочные муфты M8, M15 и M16). Передаточные отношения, которые можно реализовать с помощью этой кинематической схемы, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Передаточные отношения семиступенчатой коробки передач i_{0x} и показатель прогрессии q

Параметр	Передача							Задний ход (ЗХ)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
i_{0x}	4,500	2,509	1,715	1,189	1,000	0,858	0,715	-4,303
q	—	1,794	1,463	1,443	1,189	1,166	1,199	—

Схема включения элементов управления на передачах показана в табл. 2.

Таблица 2

Схема включения элементов управления семиступенчатой ПКП

Передача	T4	T5	T6	M8	M15	M16
I	X		X			X
II	X	X				X

Передача	T4	T5	T6	M8	M15	M16
III	X				X	X
IV	X			X		X
V				X	X	X
VI	X			X	X	
VII	X	X		X		
ЗХ	X		X		X	

X — элемент управления включен.

Все три планетарных ряда имеют одинаковый конструктивный параметр, равный 2,509.

Сравнительный анализ планетарных коробок передач. Разработчики ПКП стремятся максимально уменьшить осевые и радиальные размеры путем применения наиболее рациональных компоновочных решений [1, 4–6] и по возможности снизить потери мощности.

Как известно, немалую долю в общие потери мощности ПКП вносят фрикционные элементы управления, не используемые на включенной передаче. Это обстоятельство привело к тому, что разработчики ПКП стремятся уменьшить число таких фрикционных элементов управления.

Анализируя схему включения элементов управления (см. табл. 2), можно заметить, что четвертый тормоз T4 находится в выключенном состоянии только на одной пятой передаче, а на всех остальных передачах он включен. Это обстоятельство позволяет рассмотреть вариант отказа от использования этого тормоза в качестве управляемого элемента и сделать его неуправляемым, т. е. постоянно включенным (рис. 2). В этом случае теряется одна передача с передаточным отношением 1,0, но несколько упрощаются конструкции как самой ПКП, так и ее системы управления.

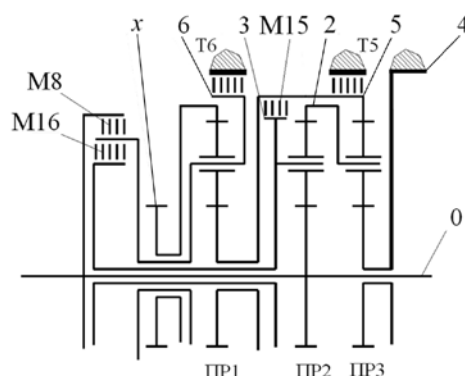


Рис. 2. Кинематическая схема ПКП с неуправляемым тормозом T4

В качестве одной из оценочных характеристик кинематической схемы любой коробки передач транспортного средства используется скоростная характеристика, которая строится в координатах $\omega_x = f(\omega_0)$. Здесь ω_0 — угловая скорость ведущего звена коробки передач, а ω_x — угловая скорость ведомого звена.

В коробках передач современных легковых автомобилей для разбивки передаточных отношений по ступеням стремятся использовать геометрическую прогрессию, но с непостоянным значением знаменателя прогрессии. С увеличением номера передачи знаменатель должен постоянно уменьшаться [7]. Такой способ разбивки передаточных отношений по передачам приводит к тому, что скоростная характеристика этой коробки передач по своему виду приближается к параболе. Используя это обстоятельство, выполним сравнительную оценку разбивки передаточных отношений по ступеням как для семискоростной, так и для шестискоростной ПКП (рис. 3).

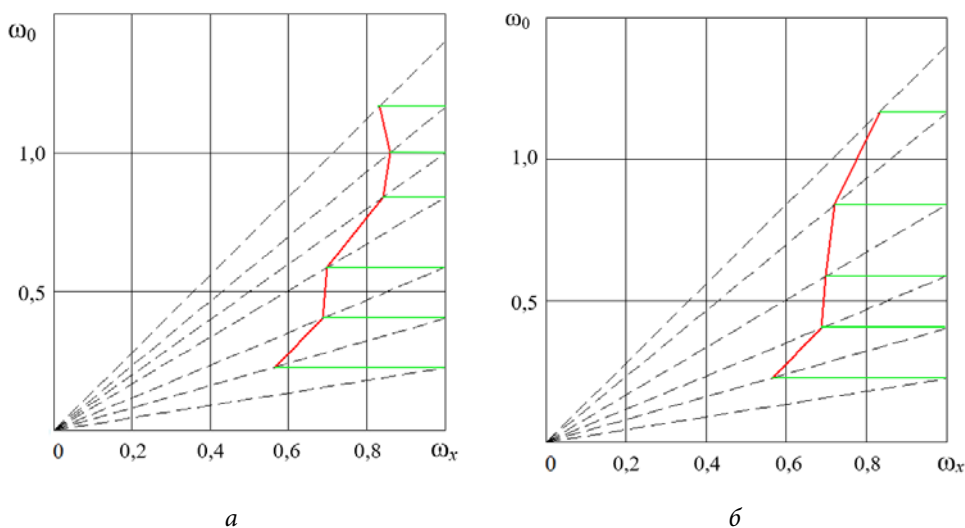


Рис. 3. Скоростные характеристики:
a — семискоростной ПКП; *б* — шестискоростной ПКП

Как видно на рис. 3, скоростные характеристики обеих ПКП далеки от предпочтительной. Поэтому сначала для шестискоростной коробки передач подберем значения передаточных отношений такими, чтобы ее скоростная характеристика была хотя бы приблизительно похожа на параболу. Полученные передаточные числа и скоростная характеристика шестискоростной ПКП представлены в табл. 3 и на рис. 4 соответственно.

Для обеспечения значений передаточных отношений ПКП, представленных в табл. 3, необходимо провести коррекцию внутренних передаточных отношений планетарных рядов.

Передаточные отношения шестиступенчатой коробки передач i_{0x} и показатель прогрессии q

Параметр	Передача					
	I	II	III	IV	V	VI
i_{0x}	4,8	2,607	1,638	1,175	0,909	0,735
q	—	1,920	1,582	1,436	1,284	1,174

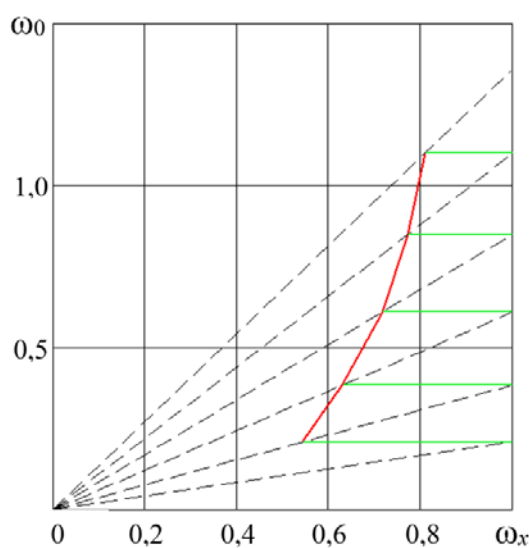


Рис. 4. Скоростная характеристика шестиступенчатой ПКП

Расчет внутренних передаточных чисел шестискоростной ПКП проводится по программе, разработанной на кафедре СМ9 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Цель расчета — максимальное приближение передаточных отношений коробки передач к тем, которые представлены в табл. 3. Результат этого расчета представлен в табл. 6 и 7.

Уточненные передаточные отношения шестиступенчатой коробки передач i_{0x} и показатель прогрессии q

Параметр	Передача					
	I	II	III	IV	V	VI
i_{0x}	4,426	2,487	1,710	1,191	0,857	0,714
q	—	1,782	1,457	1,439	1,390	1,200

Полученные внутренние передаточные числа планетарных рядов

Планетарный ряд		Конструктивный параметр
Обозначение	Кинематические звенья ряда	
ПР1	56x	-2,484
ПР2	032	-2,500
ПР3	425	-2,495

Скоростная характеристика ПКП, построенная по определенным передаточным отношениям, представлена на рис. 5.

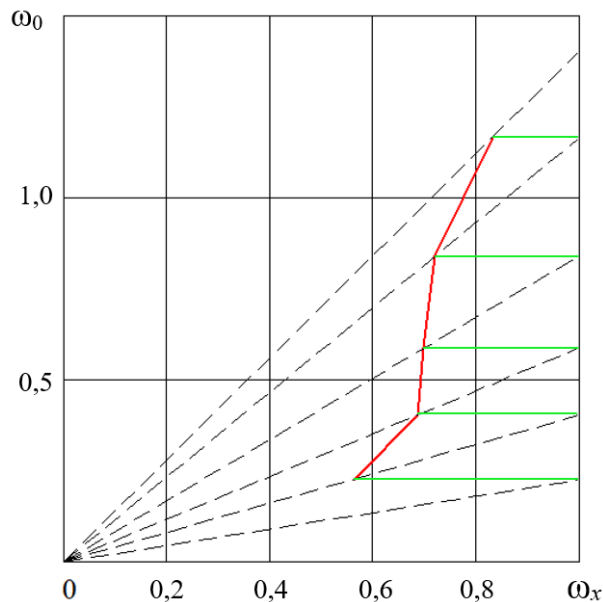


Рис. 5. Скоростная характеристика шестиступенчатой ПКП

Анализ скоростных характеристик (см. рис. 3, 5) показал, что коррекцией внутренних передаточных чисел удалось достичь более равномерного распределения показателя прогрессии, вследствие чего улучшились скоростные и тягово-динамические характеристики ПКП. Кроме того, удалось получить передаточные числа, близкие к числам для изначальной конструкции семиступенчатой ПКП.

Для полного представления работы шести- и семиступенчатых ПКП по данным кинематического и силового расчетов из программы, разработанной на кафедре СМ9 МГТУ им. Н.Э. Баумана, проведем построение зависимостей: коэффициента полезного действия (КПД) (рис. 6), относительных угловых скоро-

стей звеньев (рис. 7, 8), относительных угловых скоростей сателлитов (рис. 9, 10), относительных моментов малых центральных колес (МЦК) (рис. 11, 12) и относительных моментов фрикционных элементов управления (рис. 13, 14) в зависимости от номера передачи.

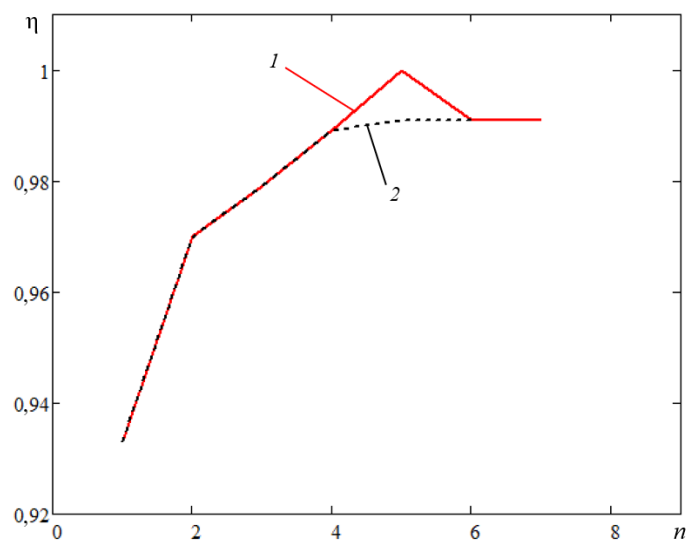


Рис. 6. Зависимость КПД от номера передачи:

1 — семиступенчатая ПКП; 2 — шестиступенчатая ПКП; η — КПД; n — номер передачи

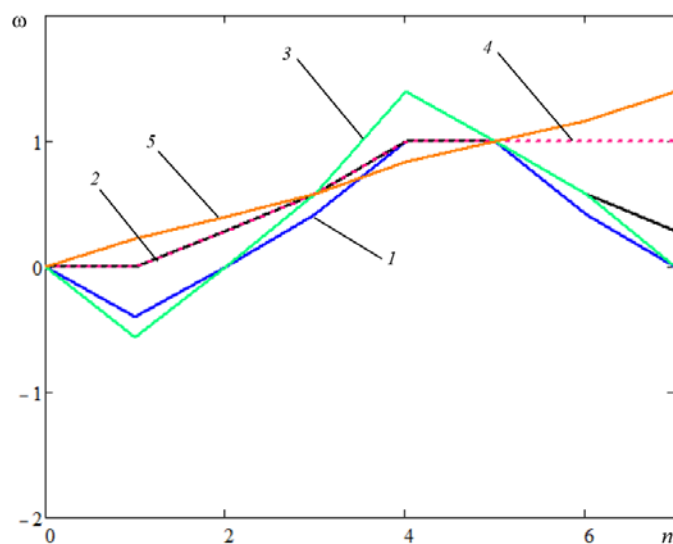


Рис. 7. Зависимость относительных угловых скоростей звеньев семиступенчатой ПКП от номера передачи:

1 — первое звено; 2 — второе звено; 3 — третье звено; 4 — четвертое звено; 5 — пятое звено;
 ω — относительные угловые скорости звеньев; n — номер передачи

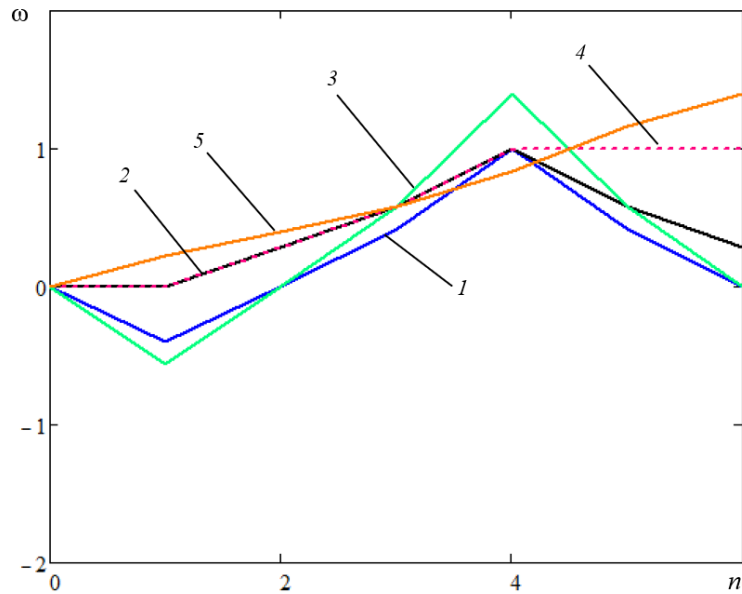


Рис. 8. Зависимость относительных угловых скоростей звеньев шестиступенчатой ПКП от номера передачи:

1 — первое звено; 2 — второе звено; 3 — третье звено; 4 — четвертое звено; 5 — пятое звено; ω — относительные угловые скорости звеньев; n — номер передачи

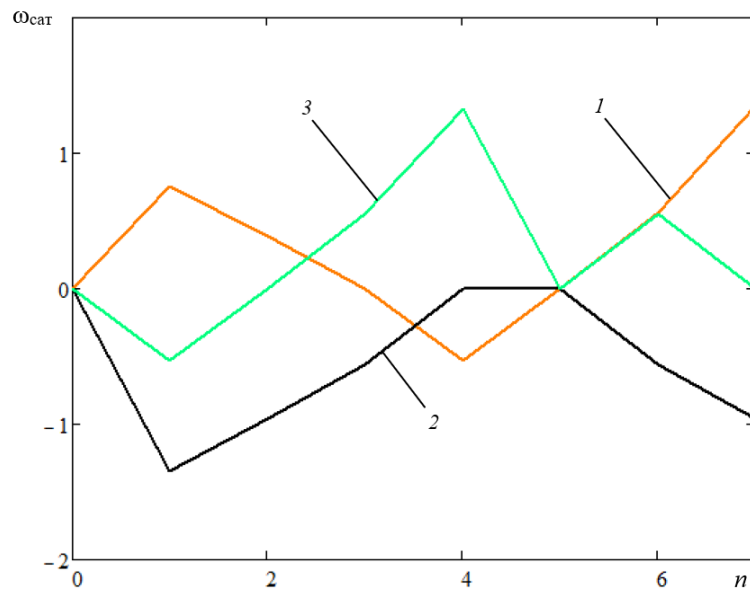


Рис. 9. Зависимость относительных угловых скоростей сателлитов семиступенчатой ПКП от номера передачи:

1 — первый ПР; 2 — второй ПР; 3 — третий ПР; $\omega_{\text{сат}}$ — относительные угловые скорости сателлитов; n — номер передачи

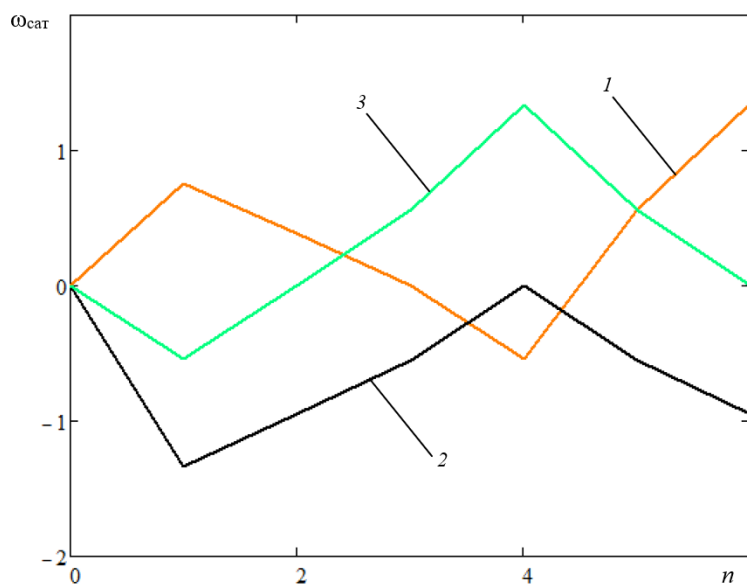


Рис. 10. Зависимость относительных угловых скоростей сателлитов шестиступенчатой ПКП от номера передачи:
1 — первый ПР; 2 — второй ПР; 3 — третий ПР; $\omega_{\text{сат}}$ — относительные угловые скорости сателлитов; n — номер передачи

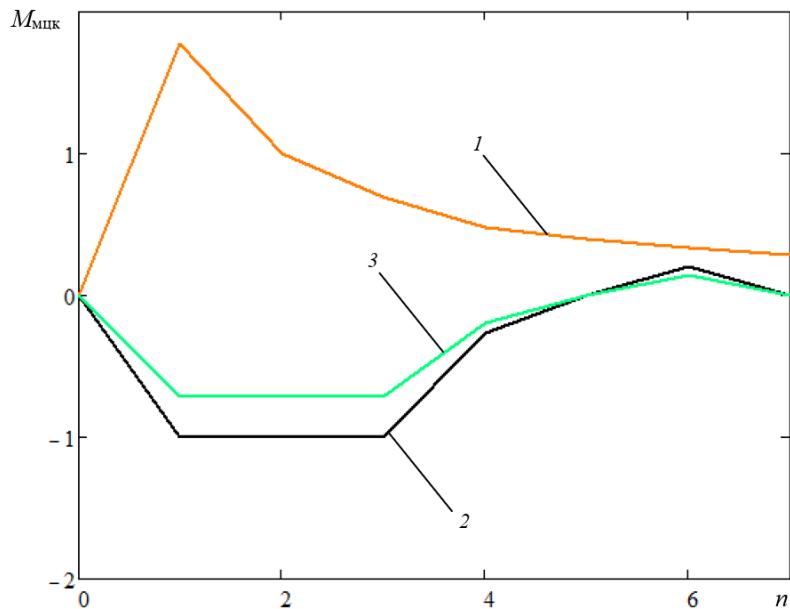


Рис. 11. Зависимость относительных моментов на малых центральных колесах семиступенчатой ПКП от номера передачи:
1 — первый ПР; 2 — второй ПР; 3 — третий ПР; $M_{\text{мцк}}$ — относительные моменты на малых центральных колесах; n — номер передачи

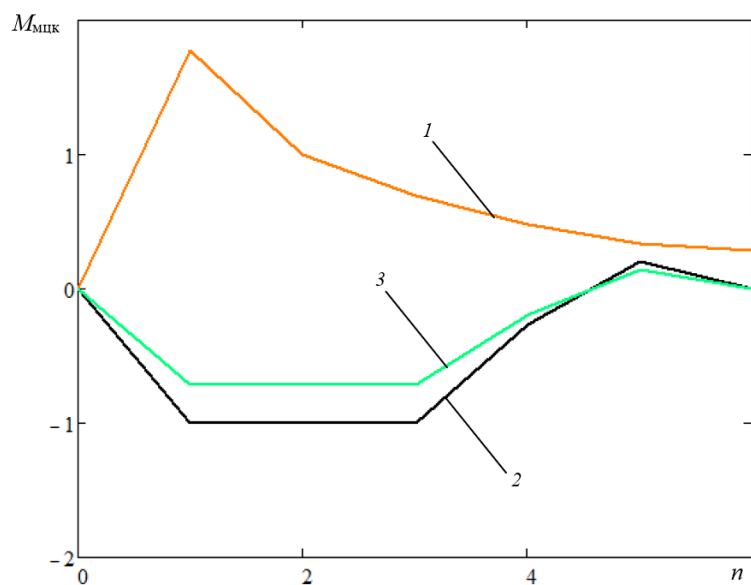


Рис. 12. Зависимость относительных моментов на малых центральных колесах шестиступенчатой ПКП от номера передачи:
 1 — первый ПР; 2 — второй ПР; 3 — третий ПР; $M_{\text{мцк}}$ — относительные моменты на малых центральных колесах; n — номер передачи

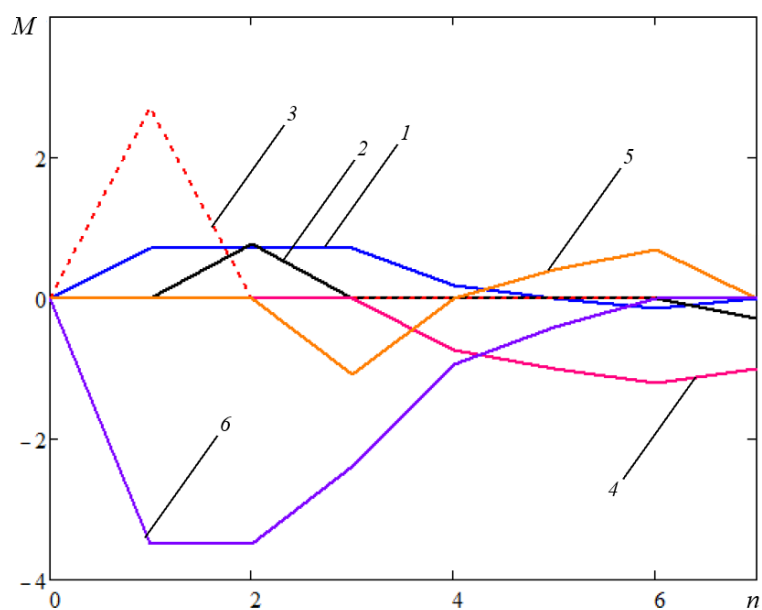


Рис. 13. Зависимость относительных моментов фрикционных элементов управления семиступенчатой ПКП от номера передачи:
 1 — тормоз Т4; 2 — тормоз Т5; 3 — тормоз Т6; 4 — муфта М8; 5 — муфта М15; 6 — муфта М16;
 M — относительные моменты фрикционных элементов управления; n — номер передачи

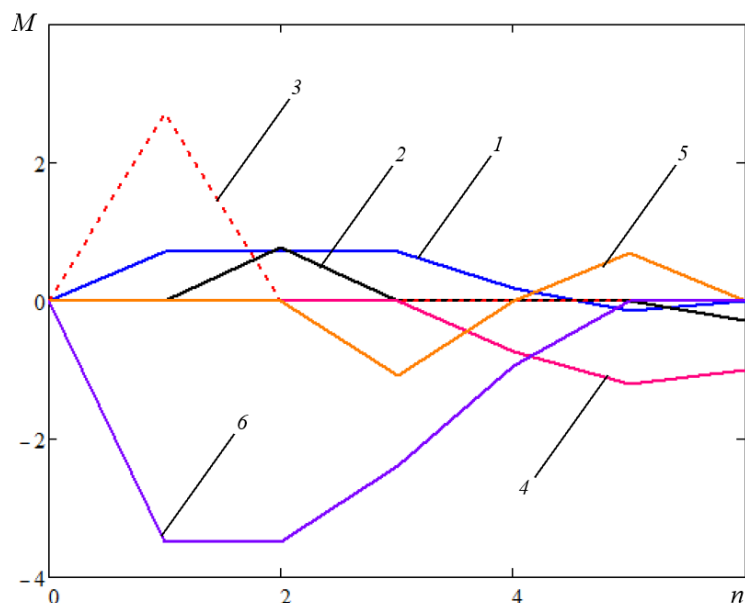


Рис. 14. Зависимость относительных моментов фрикционных элементов управления шестиступенчатой ПКП от номера передачи:
 1 — тормоз Т4; 2 — тормоз Т5; 3 — тормоз Т6; 4 — муфта М8; 5 — муфта М15; 6 — муфта М16;
 М — относительные моменты фрикционных элементов управления; n — номер передачи

Получив представленные выше зависимости, можно отметить, что максимальное значение КПД уменьшилось менее чем на 1 %. Относительные угловые скорости звеньев, относительные моменты МЦК и фрикционных элементов управления изменились незначительно. В свою очередь, относительные угловые скорости сателлитов на третьем ПР распределяются более равномерно. Это свидетельствует о том, что корректировка передаточных чисел и внесение изменений в схему управления не ухудшает тягово-скоростные свойства ПКП.

Заключение. Как известно, при проектировании ПКП стремятся улучшить их производительность: скоростные показатели, плавность переключения, тягово-динамические свойства, систему управления.

Уменьшение числа передач за счет блокировки тормоза Т4 позволило уменьшить шаг передачи, обеспечив более комфортное переключение передач, добиться более равномерного распределения показателя прогрессии.

Кинематический и силовой расчет показал, что, сохранив близкие к исходной конструкции ПКП внутренние передаточные числа ПР, удалось получить незначительные изменения относительных моментов на МЦК и фрикционных элементов управления, относительных угловых скоростей звеньев, а также обеспечить более равномерное распределение относительных угловых скоростей сателлитов.

С точки зрения проектирования коробок передач, уменьшение количества передач сокращает массово-габаритные показатели коробок передач и частоту переключения передач.

Таким образом, изменив схему включения элементов управления ПКП, удалось улучшить скоростные показатели и тягово-динамические свойства ПКП, поэтому более целесообразно использовать шестиступенчатую ПКП.

Литература

- [1] Харитонов С.А., Нагайцев М.В., Юдин Е.Г. Расчет и проектирование планетарных коробок передач. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.
- [2] Полунгян А.А., ред. Проектирование полноприводных колесных машин. Т. 2. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
- [3] Красненьков В.И., Вашец А.Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. М., Машиностроение, 1986.
- [4] Кудрявцев В.Н., Кирдяшев Ю.Н., ред. Планетарные передачи. Л., Машиностроение, 1977.
- [5] Чобиток В.А. Теория движения танков и БМП. М., Воениздат, 1984.
- [6] Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М., Машиностроение, 1975.
- [7] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J. et al. Automotive transmissions. Springer, 2010.
- [8] Носов Н.А., Гальшев В.Д., Волков Ю.П. и др. Расчет и конструирование гусеничных машин. Л., Машиностроение, 1972.
- [9] Буров С.С. Конструкция и расчет танков. М., Воен. Краснознам. акад. бронетанковых войск им. Маршала Сов. Союза Малиновского, 1973.
- [10] Носов Н.А., ред. Расчет и конструирование гусеничных машин. Л., Машиностроение, 1972.

Гринин Валерий Алексеевич — студент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Харитонов Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Гринин В.А. Анализ характеристик планетарной коробки передач при изменении схемы управления. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 02(79).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-02-868>

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF THE PLANETARY GEARBOX WHEN CHANGING THE CONTROL SCHEME

V.A. Grinin

valiksevada@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article presents a comparative analysis of planetary gearboxes (control panels) when changing the control scheme, as well as a method for obtaining rational gear ratios. A change in the control scheme, resulting in a reduction in the number of gears, allowed to gain an advantage in the speed parameters of the control panel, improve traction and dynamic properties. Moreover, by abandoning the control of one of the brakes, it was possible to simplify the control, reduce the mass-dimensional indicators. Based on the results of calculations and obtaining dependencies, the most rational control panel control scheme was selected, in addition, the requirements for the resulting 6-stage control panel were determined.

Keywords

Transmission, planetary gearbox, kinematic scheme, control, speed characteristic, gear ratio, progression, torque, angular velocity, efficiency coefficient

Received 26.01.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] Kharitonov S.A., Nagaytsev M.V., Yudin E.G. Raschet i proektirovanie planetarnykh korobok peredach [Calculation and design of planetary gearboxes]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2012 (in Russ.).
- [2] Polungyan A.A., ed. Proektirovanie polnoprivodnykh kolesnykh mashin. T. 2 [Designing of all-wheel drive vehicles. Vol. 2]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008 (in Russ.).
- [3] Krasnenkov V.I., Vashets A.D. Proektirovanie planetarnykh mekhanizmov transportnykh mashin [Design of the planetary mechanisms for transport machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986 (in Russ.).
- [4] Kudryavtsev V.N., Kirdyashev Yu.N., eds. Planetarnye peredachi [Planetary gears]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1977 (in Russ.).
- [5] Chobitok V.A. Teoriya dvizheniya tankov i BMP [Theory of motion of tanks and BMPs]. Moscow, Voenizdat Publ., 1984 (in Russ.).
- [6] Zabavnikov N.A. Osnovy teorii transportnykh gusenichnykh mashin [Fundamentals of transport tracked vehicles theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975 (in Russ.).
- [7] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J. et al. Automotive transmissions. Springer, 2010.
- [8] Nosov N.A., Galyshev V.D., Volkov Yu.P. et al. Raschet i konstruirovaniye gusenichnykh mashin [Calculation and design of tracked vehicles]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1972 (in Russ.).
- [9] Burov S.S. Konstruktsiya i raschet tankov [Design and calculation of tanks]. Moscow, Voen. Krasnoznam. akad. bronetankovykh voysk im. Marshala Sov. Soyuza Malinovskogo Publ., 1973 (in Russ.).

[10] Nosov N.A., ed. Raschet i konstruirovaniye gusenichnykh mashin [Calculation and design of tracked vehicles]. Leningrad, Mashinostroeniye Publ., 1972 (in Russ.).

Grinin V.A. — Student, Department of Multipurpose Tracked Vehicles and Mobile Robots, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Kharitonov S.A., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Student, Department of Multipurpose Tracked Vehicles and Mobile Robots, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Grinin V.A. Analysis of the characteristics of the planetary gearbox when changing the control scheme. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2023, no. 02(79). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-02-868.html> (in Russ.).