

УДК 629.114

Основы плана угловых скоростей трехстепенных планетарных автоматических коробок передач, обеспечивающих восемь передач переднего хода

С.А. Харитонов¹, М.В. Нагайцев²¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.² НПО ФГУП «НАМИ», 125438, Москва, Российская Федерация, Автомоторная ул., д. 2.

The bases of angular velocity plans for three-degree-of-freedom planetary automatic transmissions with eight forward gears

S.A. Kharitonov¹, M.V. Nagaytsev²¹ Bauman Moscow State Technical University, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation.² Federal State Unitary Enterprise «Central Scientific Research Automobile and Engine Institute», NAMI, Automotornaya str., 2, 125438, Moscow, Russian Federation.

e-mail: sintespkp@yandex.ru, ngmax@yandex.ru



Современное автомобилестроение требует снижения расхода топлива и уменьшения количества выбросов вредных веществ. Существенно повлиять на эти параметры возможно путем увеличения количества ступеней в коробках передач. Один из самых важных и определяющих моментов при проектировании планетарной коробки передач — синтез ее кинематической схемы. Это весьма сложная и трудоемкая процедура, требующая рассмотрения огромного количества вариантов. Результатом синтеза должна стать кинематическая схема, в полной мере отвечающая требованиям разработчиков как по кинематическим и силовым характеристикам, так и возможности ее конструктивной реализации. Для синтеза кинематических схем трехстепенных планетарных коробок передач в МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан метод, основанный на использовании свойств плана угловых скоростей звеньев сложного планетарного механизма. В соответствии с этим методом синтез кинематической схемы осуществляется в два этапа. На первом этапе строится основа плана угловых скоростей. Отличие основы плана угловых скоростей от самого плана заключается в том, что на основе имеются все рабочие точки, обеспечивающие заданные техническим заданием передаточные отношения коробки передач, но нет требуемого количества планетарных рядов и блокировочных муфт. На втором этапе для обеспечения должного количества планетарных рядов и блокировочных муфт вводится дополнительное, так называемое, вспомогательное звено. В результате проведенного исследования были получены основы планов угловых скоростей, позволяющие синтезировать кинематическую схему планетарной коробки, реализующей восемь передач переднего хода и обеспечивающей при переключении передач неразрывность потока мощности. Для каждой основы плана угловых скоростей предложены способы введения нулевой прямой вспомогательного звена, что необходимо для перехода от основы к самому плану угловых скоростей.

Ключевые слова: план угловых скоростей, планетарный ряд, кинематическая схема, коробка передач.

i The modern automotive strategy aims to decrease fuel consumption and harmful emissions. The best way to do this is to increase the number of stages in gearboxes. The design of planetary gearboxes is based on the synthesis of their kinematic schemes. This is a complex and time-consuming procedure that requires taking into account a large number of options. The resultant kinematic schemes must fully meet kinematic and power requirements of the developers and provide the possibility of their structural implementation. A method for the synthesis of three-degree-of-freedom kinematic planetary gearboxes based on the properties of the angular velocity plan of a complex planetary gear has been developed at Bauman Moscow State Technical University. According to this method, the synthesis of kinematic schemes is carried out in two stages. At the first stage, the basis of the angular velocity plan is constructed. Unlike the angular velocity plan, it contains all operating points with specified transmission ratios but does not have the required number of planetary gear sets and lockup clutches. At the second stage, an additional (so-called auxiliary) link is introduced to ensure the required number of planetary gear sets and lockup clutches. The results of research include the bases of angular velocity plans that can be useful when synthesizing kinematic schemes of planetary gearboxes with eight forward gears providing continuous power flows during changing the gears. Methods for constructing the zero lines of auxiliary links are proposed for each basis of angular velocity plans, which is necessary to develop the angular velocity plans themselves.

Keywords: angular velocity plan, planetary gear set, kinematic scheme, gearbox.

Современное автомобилестроение все более ужесточает требования, предъявляемые к моторно-трансмиссионной установке, из которых одним из важнейших является требование снижения расхода топлива и уровня выброса вредных веществ. В настоящее время один из путей удовлетворения этого требования — увеличение количества передач [1, 2]. Например, немецкой фирмой ZF разработаны и выпускаются 8-ступенчатые автоматические коробки передач (АКПП) для автомобилей с приводом на задние колеса, а на их базе созданы гибридные моторно-трансмиссионные установки [3].

Фирма AW разработала 8-ступенчатую АКПП для автомобилей с приводом на передние колеса и поперечным расположением двигателя [4]. Эта коробка используется многими производителями автомобилей, такими как Alfa Romeo, Cadillac, Citroen, Ford, Jaguar и др. Для автомобилей с продольным расположением двигателя и приводом на задние колеса этой же фирмой была разработана также 8-ступенчатая АКПП, которая устанавливается на автомобили Lexus, Toyota, AUDI, Porsche и Volkswagen [4–6].

Цель работы — формирование основ планов угловых скоростей для получения кинематических схем коробок передач, обеспечивающих восемь передач переднего хода.

В предыдущих статьях (2014, № 4 и 5) были рассмотрены основы планов угловых скоростей трехступенчатых планетарных коробок передач, позволяющие синтезировать кинематические схемы с шестью и семью передачами переднего хода и удовлетворяющие предъявляемому к

АКПП требованию — обеспечение при переключении передач неразрывности потока мощности от двигателя к ведущим колесам. Однако опыт развития АКПП, обеспечивающих шесть и даже семь передач, не совсем устраивает производителей автомобилей. Поэтому возникла необходимость синтеза кинематических схем планетарных коробок передач с восьмью и более передачами. Как показывает опыт, получить схемы таких коробок передач с помощью трех планетарных рядов невозможно, что обуславливает необходимость строить кинематические схемы, реализующие восемь и более передач, уже с помощью четырех планетарных рядов.

Подобные схемы синтезируют так же, как и схемы с тремя рядами: на первом этапе по заданным техническим заданием параметрам определяются основы планов угловых скоростей, а на втором этапе путем введения вспомогательного звена переходят от основы к самому плану.

Как известно, основа плана угловых скоростей должна обеспечивать требуемое количество передач и значения передаточных отношений на этих передачах, соответствующих с определенным допуском техническому заданию. Кроме того, желательно, чтобы она содержала такое количество планетарных рядов и блокировочных муфт, которого хватило бы для перехода от основы к плану угловых скоростей путем введения только одного вспомогательного звена.

Число планетарных рядов $k_{п.р.}$, которые должна содержать кинематическая схема достаточно просто определяется по формуле Чебышева [7]

$$k_{п.р} = n_{зв} - w, \quad (1)$$

где $n_{зв}$ — число звеньев, входящих в состав кинематической схемы коробки передач; w — число степеней свободы коробки передач.

Для получения режима блокировки, т. е. прямой передачи, кинематическая схема в своем составе должна иметь соответствующее число блокировочных муфт. Если речь идет о синтезе кинематической схемы, обладающей тремя степенями свободы, то в ее составе должно быть минимум две блокировочные муфты.

В результате исследовательских работ, проведенных в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ООО «КАТЕ», были определены основы планов угловых скоростей, позволяющие реализовать восемь передач переднего хода и отвечающие такому важному для АКПП требованию, как неразрывность потока мощности при переключении передач.

Кроме того, еще одним критерием отбора основ планов угловых скоростей было требование наличия в них такого количества планетарных рядов и блокировочных муфт, чтобы для перехода от основы планов угловых скоростей к самим планам требовалось введение в состав кинематической схемы только одного вспомогательного звена.

В результате были найдены 11 основ плана угловых скоростей, удовлетворяющих указанным выше требованиям.

Четыре основы планов угловых скоростей планетарной коробки передач, реализующей восемь передач переднего хода, показаны на рис. 1. Как видно, все четыре основы очень похожи с геометрической точки зрения. Отличием для них является только расположение масштабной точки e , что, однако, с точки зрения синтеза кинематической схемы делает их значительно отличающимися друг от друга. Общим для всех этих основ является то, что все они позволяют получить восемь передач переднего хода и ни одной передачи заднего хода. Кроме того, каждая основа плана угловых скоростей обеспечивает разное количество повышающих и понижающих передач. Так, основа плана, представленная на рис. 1, *a*, имеет шесть понижающих передач (точки A, B, C, D, F и K , так как эти точки расположены ниже масштабной точки e) и одну повышающую (точка G , поскольку она расположена выше масштабной точки e). На основе плана, изображенного на рис. 1, *г*, имеется только три понижающие передачи (точки A, B и C) и четыре повышающие (точки D, F, K и G). Кроме того, на всех четырех

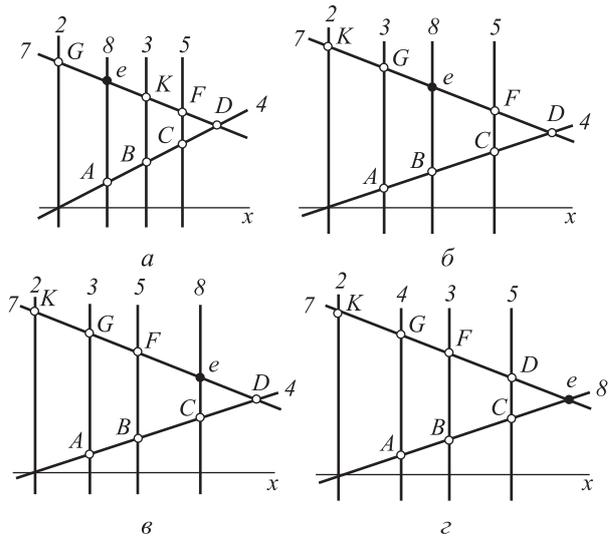


Рис. 1. Основы планов угловых скоростей № 1–4

основах плана угловых скоростей имеется прямая передача (точка e).

На основах плана угловых скоростей, представленных рис. 1, *a–в*, имеются четыре параллельных нулевых прямых (2, 3, 5 и 8), из которых одна (нулевая прямая 8) проходит через масштабную точку e и поэтому представляет собой нулевую прямую условного звена блокировочной муфты, что определяет шесть вариантов установки блокировочной муфты с условным звеном 8. Так, блокировочную муфту можно установить между ведущим звеном 0 и звеном 2 (муфта $0\tilde{8}2$) или звеном 3 ($0\tilde{8}3$) или звеном 5 ($0\tilde{8}5$). Кроме того, блокировочной муфтой можно соединить звенья 2 и 3 ($2\tilde{8}3$), звенья 2 и 5 ($2\tilde{8}5$) или звенья 3 и 5 ($3\tilde{8}5$). Причем, в кинематической схеме планетарной коробки передач может быть использована только одна из перечисленных выше шести блокировочных муфт.

Ни одна из параллельных нулевых прямых 2, 3 и 5 на рис. 1, *a–в* не проходит через масштабную точку e , что позволяет из звеньев, соответствующих этим нулевым прямым, и ведущего звена 0 образовать четыре планетарных ряда. Так, планетарный ряд можно создать из комбинации звеньев 0, 2, 3; 0, 2, 5; 0, 3, 5 и, наконец, можно использовать комбинацию 2, 3, 5. Следует отметить, что в соответствии с теорией синтеза 3-степенных планетарных механизмов [7], из перечисленных четырех планетарных рядов в состав кинематической схемы можно включить только любые два планетарных ряда. В результате имеем шесть вариантов сочетаний из четырех приведенных выше комбинаций звеньев по два. Причем структура и конструк-

тивный параметр каждого планетарного ряда будет определяться основой плана угловых скоростей. Для представленной на рис. 1, *a* основы плана угловых скоростей планетарный ряд 2-го класса, составленный из звеньев 0, 2 и 3, должен иметь следующую структуру: водилом следует назначить ведущее звено 0, малым центральным колесом (МЦК) — звено 3 и большим центральным колесом (БЦК) — звено 2, т. е. планетарный ряд 302. В тоже время, если использовать для синтеза кинематической схемы основу плана угловых скоростей, приведенную на рис. 1, *б*, то планетарный ряд 2-го класса, составленного из тех же звеньев, должен иметь структуру 023 и т.д.

На трех основах планов угловых скоростей (см. рис. 1, *a–в*) есть точка, в которой пересекаются нулевые прямые звеньев 2, 4 и *x*, что определяет наличие в этих основах планов угловых скоростей еще одного планетарного ряда, составленного из указанных трех звеньев (2, 4 и *x*). Причем, структура этого планетарного ряда будет также определяться основой планов угловых скоростей. Если для синтеза кинематической схемы используется основа плана, представленная на рис. 1, *a*, то для получения планетарного ряда 2-го класса, его структура должна быть 2*x*4. Для основ плана, приведенных на рис. 1, *б* и *в*, соответственно 2*x*4 и 4*x*2.

Рассмотренные три основы плана угловых скоростей позволяют включить в состав синтезируемой кинематической схемы три планетарных ряда и одну блокировочную муфту. Причем, эти три планетарных ряда построены из шести звеньев (0, 2, 3, 4, 6 и *x*), что и определяет количество планетарных рядов, которые должны войти в кинематическую схему, обладающую тремя степенями свободы, т. е. в соответствии с (1)

$$k_{п.р} = 6 - 3 = 3.$$

Таким образом, для перехода от основы к самому плану необходимо образовать с помощью вспомогательного звена еще одну недостающую блокировочную муфту с условным звеном 7. Однако введение вспомогательного звена приведет к увеличению общего числа звеньев до семи и, следовательно, к увеличению количества планетарных рядов до четырех. Поэтому с помощью вспомогательного звена необходимо получить помимо блокировочной муфты с условным звеном 7 еще один планетарный ряд. Кроме того, для получения передачи заднего хода, которой пока в рассматриваемых основах планов угловых скоростей нет,

необходимо образовать с помощью нулевой прямой этого вспомогательного звена еще одну рабочую точку, расположенную ниже нулевой прямой ведомого звена *x*.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 1, *г*, отличается от предыдущих трех тем, что ни одна из четырех параллельных нулевых прямых (2, 3, 4 и 5) не проходит через масштабную точку *e*. Это обстоятельство позволяет получить из четырех звеньев 2, 3, 4, и 5 и ведущего звена 0 десять сочетаний по три звена: 0,2,3; 0,2,4; 0,2,5; 0,3,4; 0,3,5; 0,4,5; 2,3,4; 2,3,5; 2,4,5; 3,4,5. Из этих 10 планетарных рядов в кинематической схеме можно использовать любые три. Таких сочетаний из десяти по три будет 120 вариантов.

Пересечение в одной точке трех нулевых прямых 2, *x* и 8 определяет наличие в составе кинематической схемы блокировочной муфты, которая должна быть установлена между звеньями 2 и *x*. Поэтому к каждому из 120 вариантов сочетания планетарных рядов следует добавить блокировочную муфту 28*x*.

Таким образом, основа плана угловых скоростей, представленная на рис. 1, *г*, определяет три планетарных ряда и одну блокировочную муфту и для перехода от основы плана угловых скоростей к самому плану необходимо с помощью нулевой прямой вспомогательного звена организовать один планетарный ряд и одну блокировочную муфту. Организация еще одного планетарного ряда обусловлена той же причиной, что и для выше рассмотренных основ планов угловых скоростей. Кроме того, с помощью этой нулевой прямой необходимо получить рабочую точку, обеспечивающую в коробке передачу заднего хода.

Три геометрически схожие основы планов угловых скоростей представлены на рис. 2. Однако из-за различного расположения масштабной точки *e* на этих двух основах отображены различные, как по составу так и по количеству, планетарные ряды и блокировочные муфты. Обе эти основы обеспечивают восемь передач переднего хода (точки *C*, *D*, *F*, *G*, *K*, *L*, *M* и *e*) и две передачи заднего хода (точки *A* и *B*).

На основе, представленной на рис. 2, *a* и *б*, нулевые прямые 2, 3 и 8 параллельны, что определяет возможность использования в кинематической схеме одной из трех муфт с условным звеном 8: 082, 083 или 283. Кроме того, ведущее звено 0 и звенья 2 и 3 могут составить планетарный ряд.

Параллельность нулевых прямых 5 и 7 позволяет включить в состав кинематической схе-

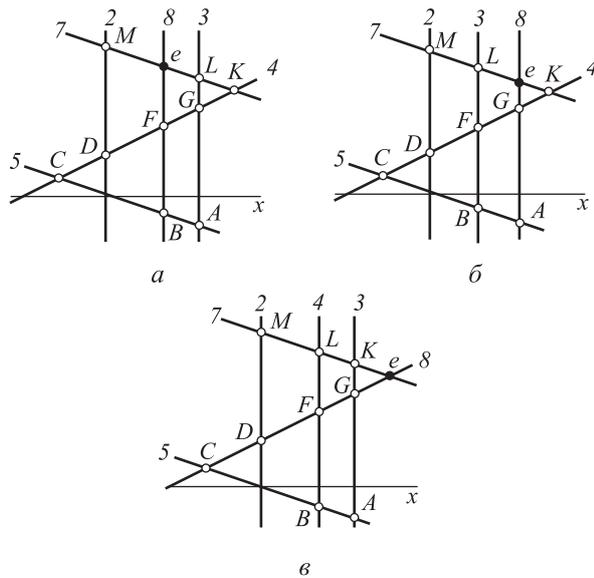


Рис. 2. Основы планов угловых скоростей № 5–7

мы блокировочную муфту $0\tilde{7}5$. И, наконец, пересечение нулевых прямых звеньев 2, 5 и x в одной точке обеспечивает наличие еще одного планетарного ряда, составленного из этих звеньев. Таким образом, основа плана угловых скоростей определяет две блокировочные муфты и два планетарных ряда и с помощью вспомогательного звена необходимо образовать еще два планетарных ряда. При этом следует отметить, что имеющиеся на основе планов угловых скоростей планетарные ряды содержат все звенья кроме звена 4. В результате хотя бы в один из двух вновь образованных планетарных рядов обязательно должно войти звено 4.

Однако, следует отметить, что из-за различного положения на основах планов угловых скоростей, представленных на рис. 2, а и б, масштабной точки e свойства кинематических схем, синтезируемых с использованием этих основ, будут различными, как по значениям передаточных отношений коробки на соответствующих передачах, так и структуре планетарных рядов и значениям их внутренних передаточных отношений.

Основа, представленная на рис. 2, в, определяет одну блокировочную муфту $0\tilde{7}5$ (нулевые прямые 5 и 7 параллельны) и планетарный ряд, составленный из звеньев 2, 5 и x (нулевые прямые этих звеньев пересекаются в одной точке). Кроме того, параллельность нулевых прямых звеньев 2, 3 и 4 позволяет из этих звеньев и ведущего звена 0 образовать еще четыре планетарных ряда, из которых в состав кинематической схемы можно включить только два [7]. Очевидно, что таких вариантов будет рав-

но числу сочетаний из четырех по два, т. е. шесть.

Таким образом, данная основа плана угловых скоростей содержит одну блокировочную муфту и три планетарных ряда. Для перехода от основы планов угловых скоростей к самому плану необходимо с помощью вспомогательного звена получить одну блокировочную муфту с условным звеном 8 и один планетарный ряд.

Представленные на рис. 3 четыре основы плана угловых скоростей также геометрически схожи. Все эти четыре основы имеют девять рабочих точек, определяющих девять передач переднего хода. При этом одна точка (точка L) выпадает из концепции неразрывности потока мощности при переключении передач (для включения передачи в этом случае необходимо выключить два элемента управления и, соответственно включить также два элемента управления). Поэтому данные основы плана угловых скоростей могут обеспечить либо шесть передач переднего хода (последовательность рабочих точек A, B, C, L, G и K), либо восемь передач (последовательность рабочих точек A, B, C, D, F, e, G и K). Следует отметить, что все четыре основы планов угловых скоростей не обеспечивают наличие в коробке передач передачи заднего хода.

Несмотря на геометрическую схожесть всех четырех основ планов угловых скоростей, из-за различного положения масштабной точки e свойства этих основ с точки зрения синтеза кинематической схемы планетарной коробки передач сильно различаются. Так, основа плана угловых скоростей, представленная на рис. 3, а, определяет четыре понижающие передачи (точки A, B, C и D), одну прямую передачу (точка e) и три повышающие передачи (точки F, G

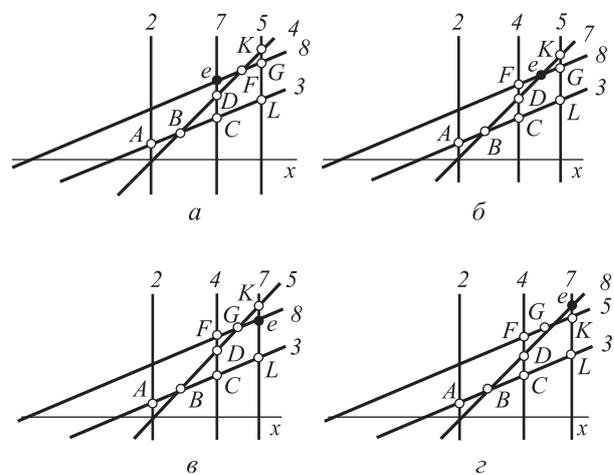


Рис. 3. Основы планов угловых скоростей № 8–11

и K). Расположение нулевых прямых по отношению к масштабной точке e позволяет организовать два планетарных ряда, составленных из звеньев $0, 2, 5$ и $2, 4, x$, и две блокировочные муфты. Одна блокировочная муфта с условным звеном 8 должна быть установлена между ведущим звеном 0 и звеном 3 (прямые 3 и 8 параллельны).

Для реализации второй муфты имеется три варианта. Блокировочную муфту с условным звеном 7 можно установить между ведущим звеном 0 и звеном 2 ($0\tilde{7}2$), ведущим звеном 0 и звеном 5 ($0\tilde{7}5$), и, наконец, между звеньями 2 и 5 ($2\tilde{7}5$). При этом кинематические свойства синтезируемой кинематической схемы для всех трех вариантов установки блокировочной муфты с условным звеном 7 останутся неизменными.

Таким образом, с помощью вспомогательного звена требуется образовать два планетарных ряда. Причем, хотя бы в один из них обязательно должно войти звено 3 , поскольку оно не вошло ни в один из имеющихся на основе планов угловых скоростей планетарный ряд.

За счет перемещения масштабной точки e из точки пересечения нулевых прямых 7 и 8 в точку пересечения прямых 4 и 8 получается новая основа плана угловых скоростей с совершенно иными свойствами (рис. 3, б). Кинематическая схема, синтезированная с помощью этой основы, будет иметь пять понижающих передач (точки A, B, C, D и F), одну прямую передачу (точка e) и две повышающие передачи (точки G и K). Основа планов угловых скоростей (см. рис. 3, б) определяет две блокировочные муфты ($2\tilde{7}x$ и $0\tilde{8}3$) и четыре планетарных ряда, составленные из звеньев $0, 2, 4$; $0, 2, 5$; $0, 4, 5$ и $2, 4, 5$ (нулевые прямые звеньев $2, 4$ и 5 параллельны). Как уже отмечалось, в состав кинематической схемы из этих четырех планетарных рядов можно взять только любые два. И таких сочетаний из четырех по два, будет, очевидно, шесть.

Так же, как и для основы планов угловых скоростей, изображенной на рис. 3, а, с помощью вспомогательного звена требуется образовать два недостающих планетарных ряда. При этом, хотя бы в один из них обязательно должно войти звено 3 , так как это звено не содержится ни в одном из имеющихся на основе планов угловых скоростей четырех планетарных рядов.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 3, в, определяет шесть понижающих передач (точки A, B, C, D, F и G), одну прямую передачу (точка e) и одну повышающую передачу (точка K). Количество и структура

блокировочных муфт для этой основы планов угловых скоростей будут точно такими же, как и для основы планов угловых скоростей, показанной на рис. 3, а. Параллельность нулевых прямых 2 и 5 позволяет включить в состав кинематической схемы планетарной коробки передач планетарный ряд, состоящий из звеньев $0, 2$ и 5 , а пересечение нулевых прямых $2, 4$ и x в одной точке — планетарный ряд, который может быть построен из звеньев, соответствующих этим нулевым прямым.

Основа планов угловых скоростей, показанная на рис. 3, г, обеспечивает проектируемой коробке семь понижающих передач и одну прямую передачу. Расположение нулевых прямых обеспечивает организацию двух блокировочных муфт. Одна из них, с условным звеном 7 , должна быть установлена между звеном 2 и ведомым звеном x (нулевые прямые $2, 7$ и x пересекаются в одной точке).

Для установки второй блокировочной муфты с условным звеном 8 существует три варианта. Ее можно установить между ведущим звеном 0 и звеном 2 , ведущим звеном и звеном 5 и, наконец, между звеньями 2 и 5 . Причем использование любого из этих трех вариантов установки блокировочной муфты не приведет к изменению каких-либо кинематических свойств проектируемой коробки передач. Кроме того, рассматриваемая основа планов угловых скоростей позволяет образовать два планетарных ряда, составленных из звеньев $0, 2, 5$ (нулевые прямые 2 и 5 параллельны) и $0, 3, 4$ (нулевые прямые 3 и 4 параллельны).

Таким образом, в данном случае для перехода от основы планов угловых скоростей к самим планам необходимо с помощью вспомогательного звена образовать еще два планетарных ряда. При этом следует учитывать то обстоятельство, что рассматриваемая основа планов угловых скоростей не имеет ни одной рабочей точки, расположенной ниже нулевой прямой ведомого звена x , т. е. не обеспечивает передачу заднего хода. Это обстоятельство накладывает ограничение на возможные способы проведения нулевой прямой вспомогательного звена, т. е. ее следует провести таким образом, чтобы она позволила образовать помимо двух планетарных рядов еще и рабочую точку, расположенную ниже нулевой прямой ведомого звена x .

Рассмотренные основы планов угловых скоростей позволяют перейти к самим основам планов угловых скоростей и на их основе синтезировать кинематические схемы планетарных коробок, обеспечивающие восемь передач переднего хода.

Литература

- [1] Mashadi B., Crolla D. *Vehicle powertrain systems*. John Wiley & Sons, Ltd., 2012. 538 p.
- [2] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W. *Automotive Transmissions. Fundamentals, Selection, Design and Application*. Springer, Heidelberg Dordrecht, London, New York, 2011. 715 p.
- [3] *The new 8-speed-automatic transmission*. URL: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/8hp_automatic_transmissions/8hp_automatic_transmission.html (дата обращения 10 ноября 2014).
- [4] *Major product information: Automatic Transmission*. URL: <http://www.aisin-aw.co.jp/en/products/drivetrain/at/index.html> (дата обращения 10 ноября 2014).
- [5] Dörr C. The new automatic transmission 9G-tronic from Mercedes-Benz. *12th International symposium automotive transmissions, HEV and EV drivers*. Germany, 2013.
- [6] *The World's first 9-Speed Automatic Transmission*. URL: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html (дата обращения 24 января 2014).
- [7] Красеньков В.И., Вашец А.Д. *Проектирование планетарных механизмов транспортных машин*. Москва, Машиностроение, 1986. 273 с.

References

- [1] Mashadi B., Crolla D. *Vehicle Powertrain Systems*. John Wiley & Sons, Ltd. 2012. 538 p.
- [2] Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W. *Automotive Transmissions. Fundamentals, Selection, Design and Application*. Springer, Heidelberg Dordrecht, London, New York, 2011. 715 p.
- [3] *The new 8-Speed Automatic Transmission Generation*. Available at: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/8hp_automatic_transmissions/8hp_autom (accessed 10 November 2014).
- [4] *Major product information: Automatic Transmission*. Available at: <http://www.aisin-aw.co.jp/en/products/drivetrain/at/index.html> (accessed 10 November 2014).
- [5] Christoph Dörr. The new automatic transmission 9G-tronic from Mercedes-Benz. *12th International symposium automotive transmissions, HEV and EV drivers*. Germany. 2013.
- [6] *World's First 9-Speed Automatic Transmission*. Available at: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html (accessed 24 January 2014).
- [7] Krasnen'kov V.I., Vashets A.D. *Proektirovanie planetarnykh mekhanizmov transportnykh mashin* [Design planetary mechanisms of transport vehicles]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1986. 273 p.

Статья поступила в редакцию 12.12.2014

Информация об авторах

ХАРИТОНОВ Сергей Александрович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Гусеничные машины и мобильные роботы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: sintespkp@yandex.ru).

НАГАЙЦЕВ Максим Валерьевич (Москва) — кандидат технических наук, доцент, генеральный директор НПО ФГУП «НАМИ» (125438, Москва, Российская Федерация, Автомоторная ул., д. 2, e-mail: ngmax@yandex.ru).

Information about the authors

KHARITONOV Sergey Aleksandrovich (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Tracked vehicles and mobile robots» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: sintespkp@yandex.ru).

NAGAYTSEV Maksim Valer'evich (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Director General of Federal State Unitary Enterprise «Central Scientific Research Automobile and Engine Institute» (NAMI, Automotornaya str., 2, 125438, Moscow, Russian Federation, e-mail: ngmax@yandex.ru).