

УДК 629.114

Основы плана угловых скоростей трехстепенных планетарных автоматических коробок передач, обеспечивающих девять и десять 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 nine and ten 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 NAM, Automotornaya str., 2, 125438, Moscow, Russian Federation. e-mail: sintespkp@yandex.ru, ngmax@yandex.ru

i 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. Одним из самых важных и определяющих моментов при проектировании планетарной коробки передач является 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 получены основы планов угловых скоростей, позволяющие синтезировать кинематическую схему планетарной коробки, реализующей девять и десять 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 quite a complex and time-consuming procedure that requires taking into account a large number of options. The resultant kinematic scheme 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 presented research resulted in the bases of angular velocity plans that can be useful for synthesizing kinematic schemes of planetary gearboxes with nine and ten forward gears providing continuous power flows when changing the gears. Methods for constructing the zero lines of auxiliary links are suggested for each basis of angular velocity plans, which is necessary to transform the basis into the angular velocity plan.

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

За последние 20 лет произошло стремительное развитие такого важного компонента для автомобилей, как автоматическая коробка перемены передач (АКПП). При этом число передач, реализуемых в АКПП, увеличилось с пяти до девяти, а массогабаритные показатели современных АКПП практически остались неизменными. Это обстоятельство объясняется тем, что практически все АКПП изготавливаются с использованием планетарных механизмов.

Увеличение числа передач в современных АКПП обусловлено, в первую очередь, стремлением автомобилестроителей к снижению расхода топлива и уровня выброса вредных веществ [1–7]. В настоящее время немецкая фирма ZF предлагает для производителей автомобилей с поперечным расположением двигателя АКПП с девятью передачами переднего хода [3], а «Мерседес», начиная с 2014 г., устанавливает на автомобили с дизельными двигателями класса E и C 9-ступенчатые коробки передач [4].

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

В предыдущих статьях авторов были рассмотрены основы планов угловых скоростей 3-ступенчатых планетарных коробок передач, позволяющие синтезировать кинематические схемы с шестью, семью и восемью передачами переднего хода, и удовлетворяющие предъявляемому к АКПП требованию — обеспечение при переключении передач неразрывности потока мощности от двигателя к ведущим колесам.

Рассмотрим основы планов угловых скоростей планетарных коробок, реализующих девять и десять передач переднего хода. Как показывает опыт, получить схемы таких коробок передач возможно только с помощью четырех планетарных рядов. Синтез подобных схем проводится следующим образом: 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 [8]:

$$k_{п,р} = n_{зв} - w, \quad (1)$$

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

Кроме того, для получения режима блокировки, т. е. прямой передачи, кинематическая

схема должна иметь в своем составе 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 девять и десять передач переднего хода и отвечающие такому важному для АКПП требованию, как неразрывность потока мощности при переключении передач. Для девяти передач были найдены шесть основ плана угловых скоростей.

Три основы планов угловых скоростей планетарной коробки передач, реализующей девять передач переднего хода и одну передачу заднего хода, показаны на рис. 1. Как видно, все три основы очень похожи с геометрической точки зрения. Отличием для всех трех основ является лишь расположение масштабной точки e , что, однако, с точки зрения синтеза кинематической схемы делает их значительно отличающимися друг от друга. Кроме этого каждая основа планов угловых скоростей обеспечивает разное количество повышающих и понижающих передач. Так, основа планов, приведенная на рис. 1, *a*, обеспечивает пять понижающих передач (точки B , C , D , F и G), поскольку эти точки расположены ниже масштабной точки e , и три повышающие (точки K , L и M), так как эти точки расположены выше масштабной точки e . В то же время основа планов, представ-

ленная на рис. 1, *б*, имеет восемь понижающих передач и ни одной повышающей. Кроме того, все три основы планов угловых скоростей позволяют реализовать прямую передачу (точка e).

На всех трех основах планов угловых скоростей (см. рис. 1) имеется точка, в которой пересекаются три нулевые прямые 3, 5 и x . Это обстоятельство отображает наличие в этих основах планов угловых скоростей планетарного ряда, составленного из соответствующих этим нулевым прямым звеньев.

И, наконец, также на всех трех основах планов угловых скоростей (см. рис. 1) имеются две параллельные нулевые прямые (5 и 7), одна из которых проходит через масштабную точку e . Это обстоятельство дает возможность использовать в кинематической схеме блокировочную муфту с условным звеном 7, установленную между ведущим звеном 0 и звеном 5.

На основе планов угловых скоростей, представленной на рис. 1, *a*, ни одна из трех параллельных нулевых прямых (2, 3, и 4) не проходит через масштабную точку e , что позволяет из звеньев, соответствующих этим нулевым прямым, и ведущего звена 0 образовать четыре планетарных ряда. Планетарный ряд можно создать из звеньев 0, 2 и 3; 0, 2 и 4; 0, 3 и 4; 2, 3 и 4.

Следует отметить, что в соответствии с теорией синтеза 3-степенных планетарных механизмов [8] в состав кинематической схемы можно включить только любые два планетарных ряда. В результате, если в кинематической схеме используются только планетарные ряды 2-го класса, то имеем шесть комбинаций из четырех планетарных рядов по два.

Таким образом, основа планов угловых скоростей, приведенная на рис. 1, *a*, дает возможность включить в состав синтезируемой кинематической схемы три планетарных ряда и одну блокировочную муфту. Причем, для построения трех планетарных рядов используются все шесть звеньев (0, 2, 3, 4, 6 и x). Таким образом, имеющееся число планетарных рядов соответствует требуемому числу планетарных рядов, которое для схемы с тремя степенями свободы в соответствии с (1) равно трем. Однако для перехода от основы к самому плану необходимо образовать с помощью вспомогательного звена 8 еще одну недостающую блокировочную муфту с условным звеном 7. Введение в состав кинематической схемы вспомогательного звена увеличивает общее число звеньев до семи, что автоматически приводит и к увеличению на один числа планетарных рядов, которые должны войти в состав синтезируемой кинематиче-

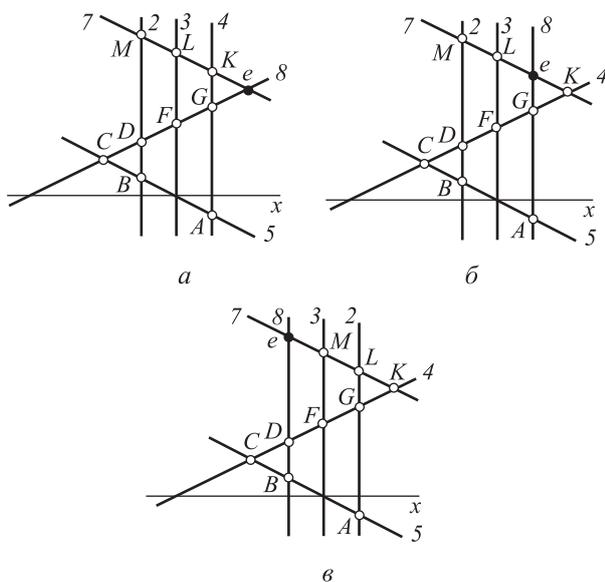


Рис. 1. Основы планов угловых скоростей № 1–3

ской схемы. В результате получается, что с помощью вспомогательного звена кроме блокировочной муфты необходимо получить и еще один планетарный ряд.

Основы планов угловых скоростей, представленные на рис. 1, б и в, отличаются от предыдущей основы тем, что одна из трех параллельных нулевых прямых (2, 3 и 8) проходит через масштабную точку *e* (нулевая прямая 8). Это определяет возможность использования в кинематической схеме одной из трех муфт: 0 $\tilde{8}2$, 0 $\tilde{8}3$ или 2 $\tilde{8}3$, и планетарного ряда, составленного из ведущего звена 0 и звеньев 2 и 3.

Таким образом, расположение нулевых прямых на основах планов угловых скоростей (см. рис. 1, б и в) определяет две блокировочные муфты с условными звеньями 7 и 8 и два планетарных ряда. Причем ни в один из этих двух планетарных рядов не вошло звено 4, что определяет ограничение на введение в состав кинематической схемы вспомогательного звена. Так, в нашем случае с помощью вспомогательного звена необходимо образовать два планетарных ряда. Причем хотя бы в один из этих двух вновь образованных планетарных рядов обязательно должно войти звено 4.

Три геометрически схожие основы планов угловых скоростей представлены на рис. 2. Так же, как и три предыдущие, эти три отличаются между собой только положением масштабной точки *e*. Однако, с точки зрения передаточных отношений синтезируемой кинематической схемы коробки передач, а также структуры входящих в нее планетарных рядов, эти основы планов угловых скоростей существенно отличаются друг от друга. Все три основы обеспечивают девять передач переднего хода и одну передачу заднего хода. Однако следует отметить, что передаточное отношение коробки на передаче заднего хода слишком мало (соответствует примерно пятой передаче переднего хода), что является неприемлемым для транспортных средств. Поэтому рассматриваемые основы планов угловых скоростей не обеспечат коробке передач заднего хода и одним из условий введения в состав кинематической схемы должно быть требование обеспечения с помощью этого звена приемлемого значения передаточного отношения на передаче заднего хода.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 2, а, имеет пять понижающих передач (точки *A, B, C, D, F*), одну прямую (точка *e*) и три повышающие передачи (точки *D, K, L*). В то же время основа планов угловых скоростей, изображенная на рис. 2, б, имеет

шесть понижающих передач (точки *A, B, C, D, F* и *G*), одну прямую и две повышающие передачи (точки *K* и *M*), а основа планов угловых скоростей, приведенная на рис. 2, в, не имеет ни одной повышающей передачи.

На всех трех основах планов угловых скоростей (см. рис. 2) две нулевые прямые (4 и 7) параллельны и одна из них (7) проходит через масштабную точку *e*. Это обстоятельство позволяет использовать во всех кинематических схемах блокировочную муфту с условным звеном 7, установленную между ведущим звеном 0 и звеном 4.

Основы планов угловых скоростей, представленные на рис. 2, а и б, имеют еще две параллельные нулевые прямые 2 и 3, что позволяет построить из звеньев, соответствующих этим нулевым прямым и ведущему звену 0, планетарный ряд.

На основе планов угловых скоростей (см. рис. 2, а) имеется точка пересечения четырех нулевых прямых (3, 4, 5 и *x*), из которых ни одна не проходит через масштабную точку *e*. Это обстоятельство обеспечивает возможность организовать четыре планетарных ряда, состоящих из звеньев 3, 4, 5; 3, 4, *x*; 3, 5, *x* и 4, 5, *x*. Причем в составе кинематической схемы можно использовать только любые два [8]. В результате имеем шесть вариантов сочетаний из четырех планетарных рядов по два.

Таким образом, основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 2, а, позволяет организовать три планетарных ряда и одну блокировочную муфту с условным звеном 7. Для перехода от основы планов угловых скоро-

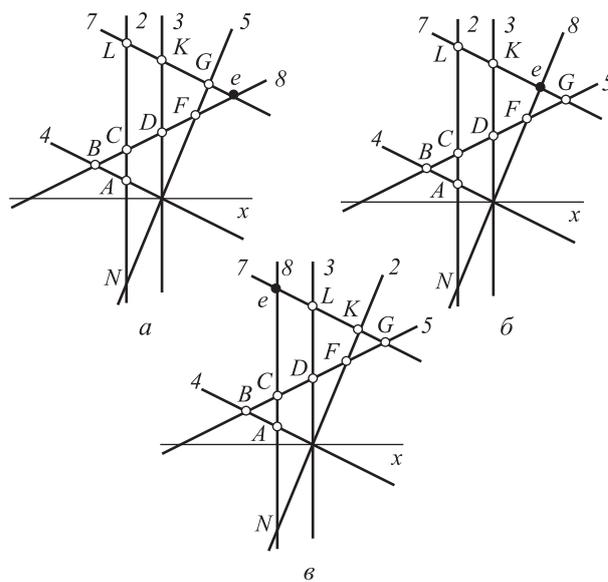


Рис. 2. Основы планов угловых скоростей № 4–6

стей к самим планам следует организовать с помощью вспомогательного звена блокировочную муфту с условным звеном 8 и, поскольку в состав кинематической схемы вводится дополнительное звено, то с помощью вспомогательного звена следует организовать еще один планетарный ряд. При этом следует помнить, что, практически, на основе планов угловых скоростей отсутствует рабочая точка, обеспечивающая в проектируемой коробке передачу заднего хода. Поэтому нулевую прямую вспомогательного звена следует провести так, чтобы получить блокировочную муфту, планетарный ряд и, кроме того, при ее пересечении с какой-либо другой нулевой прямой образовать рабочую точку, соответствующую передаче заднего хода с приемлемым передаточным отношением.

Основа планов угловых скоростей, изображенная на рис. 2, б, также имеет точку пересечения четырех нулевых прямых (3, 4, 8, x), из которых одна (прямая 8) проходит через масштабную точку e . Поэтому из звеньев 3, 4 и x можно организовать планетарный ряд, а наличие в точке пересечения прямой условного звена 8 блокировочной муфты позволяет получить три блокировочные муфты: $3\bar{8}4$, $3\bar{8}x$, $4\bar{8}x$. Причем, в состав кинематической схемы можно взять только одну из этих трех блокировочных муфт.

Таким образом, основа планов угловых скоростей, приведенная на рис. 2, б, содержит два планетарных ряда и две блокировочные муфты, и для перехода от основы планов угловых скоростей к самим планам необходимо с помощью вспомогательного звена образовать два планетарных ряда. Так же, как и в предыдущем случае, следует иметь в виду, что с помощью нулевой прямой вспомогательного звена требуется получить еще и передачу заднего хода с приемлемым передаточным отношением.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 2, в, кроме параллельных прямых 4 и 7, имеет еще две параллельные нулевые прямые (3 и 8). Причем нулевая прямая 8

проходит через масштабную точку e . Это дает возможность использовать в кинематической схеме блокировочную муфту с условным звеном 8, которая должна быть установлена между ведущим звеном 0 и звеном 3. Кроме того, основа планов угловых скоростей, приведенная на рис. 2, в, имеет точку пересечения четырех нулевых прямых (2, 3, 4 и x), ни одна из которых не проходит через масштабную точку e . Это обстоятельство позволяет организовать четыре планетарных ряда: 2, 3, 4; 2, 3, x ; 2, 4, x и 3, 4, x . Причем в составе кинематической схемы можно использовать, как уже отмечалось выше, только любые два. В результате, имеем шесть вариантов сочетаний из четырех планетарных рядов по два.

Итак, на основе планов угловых скоростей (см. рис. 2, в) уже имеются две блокировочные муфты и два планетарных ряда. Поэтому для перехода от основы планов угловых скоростей к самим планам необходимо с помощью вспомогательного звена организовать два планетарных ряда и получить передачу заднего хода с передаточным отношением, близким к передаточному отношению на первой передаче переднего хода.

Представленные на рис. 3 две основы планов угловых скоростей также можно отнести к 9-ступенчатым, несмотря на то, что они имеют 10 рабочих точек, расположенных над нулевой прямой ведомого звена x .

Точка L выпадает из концепции неразрывности потока мощности при переключении передач. Для перехода из точки C в точку L и из точки L в точку D необходимо выключить два элемента управления и включить также два элемента, что противоречит требованию обеспечения неразрывности потока мощности при переключении передач. По этой причине использование рабочей точки L при синтезе кинематической схемы для АКПП не рекомендуется и данные основы планов угловых скоростей можно отнести к основам, обеспечивающим девять передач переднего хода.

Особенностью основ планов угловых скоростей, представленных на рис. 3, является отсутствие рабочей точки, соответствующей передаче заднего хода. Поэтому одним из требований, предъявляемых к способу проведения нулевой прямой вспомогательного звена, должно быть обеспечение передачи заднего хода. Обе основы планов угловых скоростей (см. рис. 3) имеют точку, в которой пересекаются три нулевых прямых 2, 3, x , что позволяет использовать в составе кинематических схем планетарный ряд,

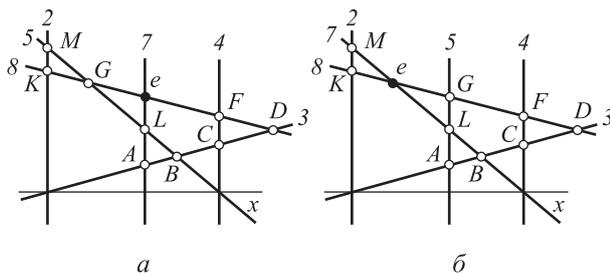


Рис. 3. Основы планов угловых скоростей № 6–7

состоящий из соответствующих этим нулевым прямым звеньев.

Если рассматривать основу планов угловых скоростей, изображенную на рис. 3, а, то она обеспечивает пять понижающих передач (точки A, B, C, D и F), одну прямую (масштабная точка e) и три повышающих передачи (точки G, K и M).

Три параллельные нулевые прямые (2, 4 и 7), из которых нулевая прямая 7 проходит через масштабную точку e , дают возможность организовать один планетарный ряд, состоящий из звеньев 0, 2 и 4, и три блокировочных муфты (072, 074 и 274), из которых в состав кинематической схемы можно взять только одну. Пересечение нулевых прямых 2, 3, x и нулевых прямых 4, 5, x в одной точке обеспечивает наличие в составе кинематической схемы двух планетарных рядов, состоящих из соответствующих нулевым прямым звеньев.

В результате основа планов угловых скоростей (рис. 3, а) обеспечивает наличие трех планетарных рядов и одной блокировочной муфты. Для перехода к планам угловых скоростей необходимо с помощью вспомогательного звена получить блокировочную муфту с условным звеном 8, и, поскольку в составе кинематической схемы появится еще одно звено, то с помощью вспомогательного звена следует образовать еще один планетарный ряд.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 3, б, обеспечивает шесть понижающих передач (точки A, B, C, D, F и G), одну прямую (точка e) и две повышающие (точки K и M).

Наличие на рис. 3, б трех параллельных нулевых прямых (2, 4 и 5), из которых ни одна не проходит через масштабную точку e , позволяет организовать четыре планетарных ряда, состоящих из звеньев: 0, 2, 4; 0, 2, 5; 0, 4, 5 и 2, 4, 5. Причем из этих четырех планетарных рядов в составе кинематической схемы можно использовать только любые два. Таким образом, имеем четыре сочетания из четырех планетарных рядов по два. Кроме того, на основе планов угловых скоростей имеется точка пересечения трех нулевых прямых 4, 7 и x , из которых одна (прямая 7) проходит через масштабную точку e . Это обстоятельство позволяет организовать блокировочную муфту с условным звеном 7, которая должна быть установлена между звеном 4 и ведомым звеном x .

Таким образом, основа планов угловых скоростей, приведенная на рис. 3, б, обеспечивает три планетарных ряда и одну блокировочную

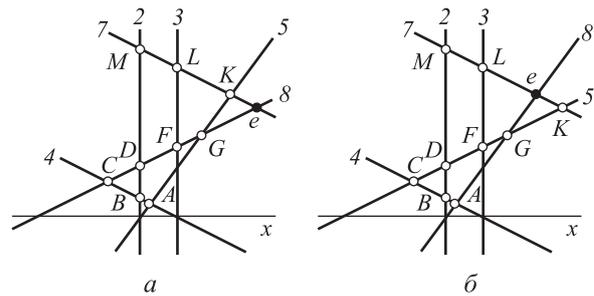


Рис. 4. Основы планов угловых скоростей № 8, 9

муфту. Для перехода к планам угловых скоростей необходимо с помощью вспомогательного звена получить блокировочную муфту с условным звеном 8 и еще один планетарный ряд.

Две основы планов угловых скоростей, имеющих уже 10 рабочих точек, расположенных над нулевой прямой ведомого звена x , представлены на рис. 4. Эти две основы имеют геометрическую схожесть, но за счет изменения положения масштабной точки e сильно отличаются по своим кинематическим свойствам.

Первая основа планов угловых скоростей (рис. 4, а) позволяет реализовать шесть понижающих передач (точки A, B, C, D, F, G), одну прямую (точка e) и три повышающие передачи (точки K, L, M). Вторая основа (рис. 4, б) имеет семь понижающих передач (точки A, B, C, D, F, G, K), одну прямую (точка e) и две повышающие передачи. Особенностью основ планов угловых скоростей, представленных на рис. 4, является отсутствие рабочей точки, обеспечивающей передачу заднего хода.

Основа планов угловых скоростей, изображенная на рис. 4, а, позволяет организовать три планетарных ряда и одну блокировочную муфту. Первый планетарный ряд состоит из ведущего звена 0 и звеньев 2 и 3 (нулевые прямые 2 и 3 параллельны). Вторым планетарным ряд составляют звенья 2, 5 и ведомое звено x (нулевые прямые этих звеньев пересекаются в одной точке). Третий планетарный ряд можно организовать из звеньев 3, 4 и ведомого звена x (нулевые прямые этих звеньев также пересекаются в одной точке). Блокировочная муфта с условным звеном 7 должна быть установлена между ведущим звеном 0 и звеном 4 (нулевые прямые 4 и 7 параллельны). Таким образом, для перехода от основы планов угловых скоростей к самим планам следует с помощью вспомогательного звена организовать блокировочную муфту с условным звеном 8 и один планетарный ряд. Кроме того, с помощью нулевой прямой вспомогательного звена необходимо получить рабочую точку, расположенную ниже ну-

левой прямой ведомого звена x , т. е. организовать передачу заднего хода.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 4, б, содержит два планетарных ряда и две блокировочные муфты. Один планетарный ряд можно получить за счет параллельности нулевых прямых 2 и 3. В его состав должны войти ведущее звено и звенья 2 и 3. Второму планетарному ряду можно организовать из звеньев 3, 4 и x , поскольку нулевые прямые этих трех звеньев пересекаются в одной точке. Первая блокировочная муфта с условным звеном 7 должна быть установлена между ведущим звеном 0 и звеном 4, так как нулевые прямые 4 и 7 параллельны. Вторая блокировочная муфта должна соединять ведомое звено x и звено 2 (нулевые прямые 2, 8 и x пересекаются в одной точке). Таким образом, для перехода от основы планов угловых скоростей с помощью вспомогательного звена необходимо организовать два планетарных ряда. При этом следует отметить, что в два планетарных ряда, уже имеющих на плане угловых скоростей, не вошло звено 5. Это обстоятельство накладывает дополнительное условие на способ введения вспомогательного звена в состав синтезируемой кинематической схемы. Нулевую прямую вспомогательного звена следует провести таким образом, чтобы хотя бы в один из вновь образованных планетарных рядов обязательно вошло звено 5. Кроме того, с помощью нулевой прямой вспомогательного звена необходимо получить рабочую точку, обеспечивающую проектируемой коробке передач передачу заднего хода.

Три основы планов угловых скоростей, обеспечивающие 10 передач переднего хода,

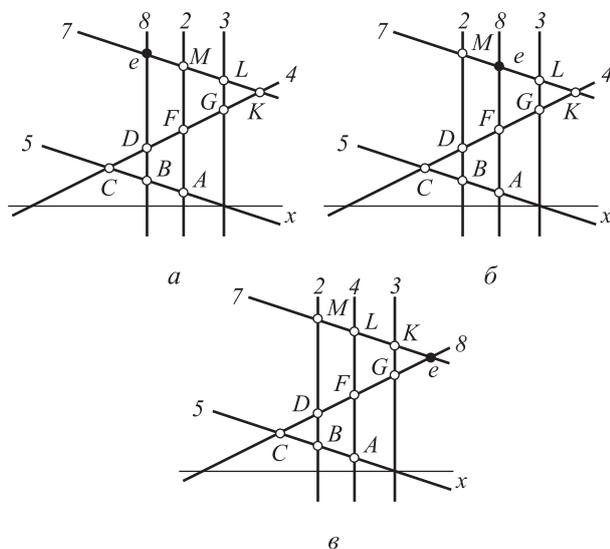


Рис. 5. Основы планов угловых скоростей № 10–12

представлены на рис. 5. Однако, из-за различного положения масштабной точки e количество повышающих и понижающих передач для каждой основы планов угловых скоростей различно. Так, основа, изображенная на рис. 5, а, не имеет ни одной повышающей передачи, в то время как основа планов угловых скоростей, приведенная на рис. 5, в, из 10 передач позволяет реализовать в проектируемой коробке передач три повышающие передачи. Недостатком всех этих трех схем является отсутствие рабочей точки, расположенной ниже нулевой прямой ведомого звена x , т. е. отсутствие передачи заднего хода.

Все три основы планов угловых скоростей, представленных на рис. 5, дают возможность установить блокировочную муфту с условным звеном 7 между ведущим звеном 0 и звеном 5. Кроме того, на всех трех основах планов угловых скоростей имеется точка, в которой пересекаются три нулевые прямые (3, 5 и x), из которых ни одна из них не проходит через масштабную точку e . Это обстоятельство позволяет использовать в составе кинематической схемы планетарного ряда, состоящего из соответствующих этим нулевым прямым звеньев. Таким образом, все три основы позволяют использовать в кинематической схеме проектируемой коробки передач одну блокировочную муфту и один планетарный ряд.

На основах планов угловых скоростей, представленных на рис. 5, а и б, параллельность нулевых прямых 2, 3 и 8 определяет наличие в составе кинематической схемы одного планетарного ряда и трех блокировочных муфт с условным звеном 8. Планетарный ряд состоит из ведущего звена 0 и звеньев 2 и 3. Из трех блокировочных муфт (082, 083, 283) в состав кинематической схемы можно взять только любую одну. В результате имеем, что основы планов угловых скоростей, приведенные на рис. 5, а и б, определяют в составе кинематической схемы наличие двух планетарных рядов и двух блокировочных муфт. Для перехода от этих двух основ планов угловых скоростей к самим планам с помощью вспомогательного звена необходимо образовать еще два планетарных ряда. Причем, следует отметить, что ни в один из двух планетарных рядов не вошло звено 4. Это обстоятельство обуславливает способ введения в состав кинематической схемы вспомогательного звена. Оно должно быть введено таким образом, чтобы хотя бы в один из вновь образованных планетарных рядов обязательно вошло звено 4. Кроме того, с помощью

нулевой прямой вспомогательного звена необходимо получить рабочую точку, расположенную ниже нулевой прямой ведомого звена x , или, другими словами, получить передачу заднего хода.

Количество планетарных рядов и блокировочных муфт на основе планов угловых скоростей, приведенных на рис. 5, *в*, отличается от количества планетарных рядов и блокировочных муфт, определяемых основами планов угловых скоростей, изображенных на рис. 5, *а* и *б*. Так, параллельность трех нулевых прямых 2, 3 и 4 дает возможность образовать из звеньев, соответствующих этим трем прямым, и ведущего звена 0 четыре планетарных ряда, состоящих

из звеньев 0, 2, 3; 0, 2, 4; 0, 3, 4 и 2, 3, 4. Причем, как уже отмечалось выше, в состав кинематической схемы можно взять только любые два.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 5, *в*, определяет наличие в составе кинематической схемы трех планетарных механизмов и одной блокировочной муфты и для перехода к планам угловых скоростей необходимо с помощью вспомогательного звена образовать блокировочную муфту с условным звеном 8 и планетарный ряд. Условие получения с помощью нулевой прямой вспомогательного звена рабочей точки, соответствующей передаче заднего хода, так же, как и прежде, сохраняется.

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] *World's First 9-Speed Automatic Transmission*. URL: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html (accessed 10 November 2014).
- [4] Dörr C. The new automatic transmission 9G-tronic from Mercedes-Benz. *12th International symposium automotive transmissions, HEV and EV drivers*, Germany. 2013.
- [5] *Major product information: Automatic Transmission*. URL: <http://www.aisin-aw.co.jp/en/products/drivetrain/at/index.html> (accessed 24 January 2014).
- [6] *The new 8-speed-automatic transmission generation*. URL: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/8hp_automatic_transmissions/8hp_automatic_transmission.html (accessed 24 January 2014).
- [7] *7-speed AT for medium and large RWD vehicles JR710E/JR711E*. URL: <http://www.jatco.co.jp/ENGLISH/products/stepat/jr710e.html> (accessed 24 January 2014).
- [8] Красеньков В.И., Вашец А.Д. *Проектирование планетарных механизмов транспортных машин*. Москва, Машиностроение, 1986. 273 с.

References

- [1] Behrooz Mashadi, David Crolla. *Vehicle Powertrain Systems*. John Wiley & Sons Ltd., 2012. 538 p.
- [2] Harald Naunheimer, Bernd Bertsche, Joachim Ryborz, Wolfgang Novak. *Automotive Transmissions. Fundamentals, Selection, Design and Application*. Springer, Heidelberg Dordrecht, London, New York, 2011. 715 p.
- [3] *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 10 November 2014).
- [4] Christoph Dörr. The new automatic transmission 9G-tronic from Mercedes-Benz. *12th International symposium automotive transmissions, HEV and EV drivers*, Germany. 2013.
- [5] *Major product information: Automatic Transmission*. Available at: <http://www.aisin-aw.co.jp/en/products/drivetrain/at/index.html> (accessed 24 January 2014).
- [6] *The new 8-Speed Automatic Transmission Generation*. Available at: http://www.zf.com/corporate/en/products/innovations/8hp_automatic_transmissions/8hp_autom (accessed 24 January 2014).

- [7] *7-speed AT for medium and large RWD vehicles JR710E/JR711E*. Available at: <http://www.jatco.co.jp/ENGLISH/products/stepat/jr710e.html> (accessed 24 January 2014).
- [8] 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).

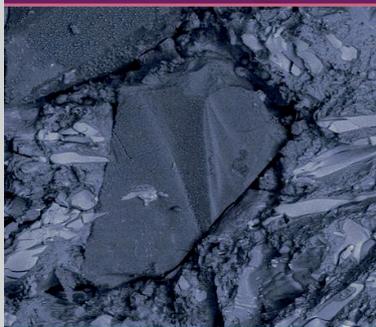
НАГАЙЦЕВ Максим Валерьевич (Москва) — кандидат технических наук, доцент, генеральный директор НПО ФГУП «НАМИ» (125438, Москва, Российская Федерация, Автомоторная ул., д. 2, e-mail: ngmax@yandex.ru).

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).

Ю. А. Курганова, А. Г. Колмаков
**Конструкционные
металломатричные
композиционные
материалы**



ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие
Ю.А. Кургановой, А.Г. Колмакова

«Конструкционные металломатричные композиционные материалы»

Изложены основные понятия, относящиеся к науке о композиционных материалах. Рассмотрены классификация, основные способы получения, особенности соединения компонентов металломатричных композиционных материалов, методы исследования их структуры, механические, технологические и эксплуатационные свойства. Теоретически и экспериментально обоснована целесообразность использования дисперсно-упрочненных и волокнистых композиционных материалов на основе металлических сплавов в области авиа-, ракетно- и автомобилестроения.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru