

Технология и технологические машины

УДК 629.11.012

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

С.А. Харитонов, М.В. Нагайцев

Важнейшая проблема современного транспортного машиностроения — улучшение топливно-экономических характеристик. Одним из путей решения этой проблемы является увеличение числа ступеней в коробках передач, в том числе и автоматических. В большинстве автоматических коробок передач используются планетарные механизмы. Синтез кинематических схем таких механизмов представляет собой весьма трудоемкую задачу. Для решения этой задачи были определены основы планов угловых скоростей, позволяющие синтезировать кинематические схемы планетарных коробок передач, реализующих семь передач переднего хода. Показаны варианты перехода от основ планов угловых скоростей к самим планам.

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

Elements of angular velocity plans for three-degree-of-freedom planetary gearboxes providing seven forward gears

S.A. Kharitonov, M.V. Nagaytsev

The most important problem of modern transport engineering is to improve fuel economy characteristics. One of the ways to solve this problem is to increase the number of drive stages in gearboxes including automatic transmissions. Most automatic transmissions are constructed to use planetary gears. The synthesis of kinematic diagrams of such mechanisms is a time consuming problem. To solve this problem, the elements of angular velocity plans are formulated, which makes it possible to synthesize kinematic diagrams of planetary gearboxes with seven forward gears. It is shown how to transform the elements of angular veloc-



ХАРИТОНОВ
Сергей Александрович
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

KHARITONOV
Sergey Aleksandrovich
(Moscow, Russian
Federation, Bauman Moscow
State Technical University)



НАГАЙЦЕВ
Максим Валерьевич
(НПО ФГУП «НАМИ»)

NAGAYTSEV
Maksim Valer'evich
(Moscow, Russian
Federation, SSC RF FSUE
«NAMI»)

ity plans into the plans themselves. The results of research will be useful for professionals involved in the development of planetary gearboxes, as well as for students studying wheeled and tracked vehicles.

Keywords: angular velocity plan, planetary gear set, kinematics diagram, gearbox.

Развитие автомобилестроения все более ужесточает требования, предъявляемые к моторно-трансмиссионной установке, из которых одним из важнейших является требование снижения расхода топлива и уровня выброса вредных веществ. Один из путей удовлетворения этого требования — увеличение количества передач, что и происходит в настоящее время в мировом автомобилестроении.

В работе [1] рассмотрены основы планов угловых скоростей трехступенных планетарных коробок передач, позволяющие синтезировать кинематические схемы с шестью передачами переднего хода и удовлетворяющие предъявляемому к автоматическим коробкам передач требованию обеспечения при переключении передач неразрывности потока мощности от двигателя к ведущим колесам. Следует отметить, что все кинематические схемы, получаемые на базе рассмотренных в работе [1] основ планов угловых скоростей, можно построить с использованием трех планетарных рядов.

Однако, как показывает практика синтеза планетарных коробок передач, существуют основы планов угловых скоростей, позволяющие получить кинематические схемы планетарных коробок передач с семью передачами переднего хода и имеющие в своем составе также три планетарных ряда.

Как отмечалось в [1] процесс синтеза кинематической схемы трехступенной планетарной коробки передач основывается на свойствах плана угловых скоростей таких коробок и осуществляется в два этапа [2–8]. На первом этапе выполняется построение основы планов угловых скоростей, на которой имеются все рабочие точки, отвечающие всем определенным техническим заданием требованиям. На втором этапе с помощью введения нулевых прямых вспомогательных звеньев формируется

требуемое количество планетарных рядов и блокировочных муфт.

Одна из основ плана угловых скоростей, позволяющая синтезировать кинематические схемы планетарной коробки передач с семью передачами переднего хода, представлена на рис. 1. Здесь и далее на всех основах плана угловых скоростей прямые 2, 3 и 4 — нулевые прямые звеньев планетарной коробки передач, оборудованных тормозами, x — нулевая прямая ведомого звена коробки передач, 6 и 7 — нулевые прямые условных звеньев блокировочных муфт. Ведущее звено планетарной коробки передач обозначено θ . Следует напомнить, что наличие ведущего звена θ на плане угловых скоростей отображается окружностью бесконечно большого радиуса, и поэтому на основе плана угловых скоростей никак не отображается.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 1, имеет семь рабочих точек — A , B , C , D , e и F . Все эти точки расположены над нулевой прямой ведомого звена x и, следовательно, определяют в коробке передачи переднего хода. Причем, из семи передач переднего хода две повышающие (точки F и G), одна прямая (точка e) и четыре понижающие (точки A , B , C , D) и нет ни одной точки, расположенной ниже нулевой прямой ведомого звена x . Таким образом, данная основа плана угловых скоростей не обеспечивает наличие в коробке передачи заднего хода. Это обстоятельство следует иметь в виду при переходе от основы плана угловых скоростей к самому плану.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 1, обеспечивает организацию двух планетарных рядов и одной блокировочной муфты. Параллельность нулевых прямых звеньев 2 и 3 позволяет организовать из них совместно с ведущим звеном θ планетарный ряд. В соответствии с теорией синтеза сложных планетарных механизмов [2] для по-

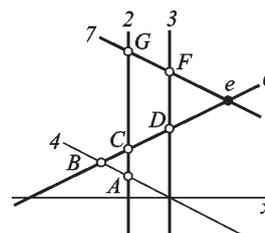


Рис. 1. Основа планов угловых скоростей № 1

лучения планетарного ряда 2-го класса, т. е. планетарного ряда с внутренним передаточным отношением (определенным при остановленном водиле), имеющим отрицательное значение, за водило следует назначить звено 2, поскольку его нулевая прямая на основе плана угловых скоростей отделена от масштабной точки e нулевой прямой звена 3. Малым центральным колесом (МЦК) в этом случае должно быть назначено ведущее звено 0, а большим центральным колесом (БЦК) — звено 3. В итоге получаем планетарный ряд 2-го класса 023.

Пересечение нулевых прямых звеньев 3, 4 и x свидетельствует о том, что из этих звеньев можно организовать планетарный ряд. Для того чтобы он относился ко 2-го классу за водило необходимо принять звено 4, поскольку на основе плана угловых скоростей нулевая прямая этого звена отделена от масштабной точки e нулевыми прямыми двух других звеньев. Тогда в качестве МЦК следует назначить звено 3, и, соответственно в качестве БЦК — звено x .

Параллельность на основе плана угловых скоростей нулевых прямых 4 и 7 (причем нулевая прямая 7 проходит через масштабную точку e) определяет возможность установки между ведущим звеном 0 и звеном 4 блокировочной муфты.

Таким образом, на рассматриваемой основе планов угловых скоростей отображены два планетарных ряда и одна блокировочная муфта. В соответствии с формулой Чебышева планетарный механизм коробки передач, состоящей из пяти звеньев (ведущее 0, ведомое x , и звенья 2, 3 и 4), должен содержать два планетарных ряда:

$$k_{п.р} = n_{зв} - w = 5 - 3 = 2,$$

где $k_{п.р}$ — число планетарных рядов; $n_{зв}$ — количество звеньев, входящих в состав планетарного механизма; w — число степеней свободы коробки передач.

Для получения еще одной блокировочной муфты с условным звеном 6 необходимо введение вспомогательного звена 5, что на основе плана угловых скоростей отразится появлением еще одной нулевой прямой 5. Как правило, вспомогательные звенья не оборудуются тормозами, хотя не исключаются варианты, когда это необходимо делать.

В соответствии с формулой Чебышева увеличение числа звеньев с пяти до шести автоматически приводит и к увеличению числа планетарных рядов, которые должна содержать планетарная коробка передач с тремя степенями свободы, т.е. в коробке должно быть не два, а три планетарных ряда. Для выполнения этого требования необходимо с помощью вспомогательного звена организовать помимо блокировочной муфты еще один планетарный ряд. Это достаточно просто решается с помощью основы плана угловых скоростей. Нулевую прямую вспомогательного звена 5 следует провести таким образом, чтобы она прошла либо через две точки, образованные пересечением двух и более нулевых, одна из которых не должна быть нулевой прямой 6, либо через точку пересечения двух и более не проходящих через масштабную точку e нулевых прямых параллельно нулевой прямой условного звена блокировочной муфты 6. Кроме того, с помощью вспомогательного звена следует организовать рабочую точку, которая была бы расположена ниже нулевой прямой ведомого звена x . Это позволяет получить в коробке передачу заднего хода, и приводит к необходимости оборудования вспомогательного звена 5 тормозом.

Решение задачи введения вспомогательного звена, удовлетворяющее сформированным требованиям, имеет всего два варианта.

В первом варианте нулевую прямую вспомогательного звена 5 можно провести через точку пересечения нулевых прямых 2 и x и точку пересечения нулевых прямых 4 и 6 (рис. 2, а).

Точка пересечения трех нулевых прямых звеньев 2, 5 и x показывает, что из них можно образовать планетарный ряд, а точка пересечения нулевых прямых 4, 6 и 5 позволяет получить необходимую блокировочную муфту, которая должна быть установлена между звеньями 4 и 5.

Пересечение же нулевой прямой 5 с нулевой прямой 3 обеспечивает рабочую точку K , расположенную ниже нулевой прямой ведомого звена x , или, другими словами, позволяет организовать в коробке передачу заднего хода. Однако расположение этой рабочей точки по отношению к нулевой прямой x таково, что передаточное отношение коробки на передаче

заднего хода будет по абсолютной величине несколько меньше передаточного отношения на третьей передаче переднего хода. Такое положение рабочей точки K не совсем отвечает требованию с точки зрения абсолютной величины передаточного отношения коробки на передаче заднего хода, поэтому этот вариант введения нулевой прямой вспомогательного звена имеет чисто теоретическое значение и не пригоден для практического применения.

Во втором варианте нулевая прямая вспомогательного звена 5 проходит через точку пересечения нулевых прямых 3, 4 и x параллельно нулевой прямой 6 (рис. 2, б). За счет параллельности нулевых прямых 5 и 6 возможно образовать блокировочную муфту с условным звеном 6, установленную между звеньями 0 и 5. В этом варианте проведения нулевой прямой вспомогательного звена в одной точке пересекаются нулевые прямые четырех звеньев — 3, 4, 5 и x . Из этих четырех звеньев можно образовать четыре планетарных ряда 2-го класса, причем, как известно из теории синтеза сложных планетарных механизмов [2], в состав кинематической схемы можно взять только любые два ряда. Таким образом, такое положение нулевой прямой вспомогательного звена 5 позволяет получить шесть вариантов сочетания планетарных рядов по два, к которым каждый раз добавляется еще планетарный ряд 023.

Варианты сочетания четырех планетарных рядов по два с добавлением планетарного ряда 023 и двух блокировочных муфт 07 4; 06 5 представлены ниже:

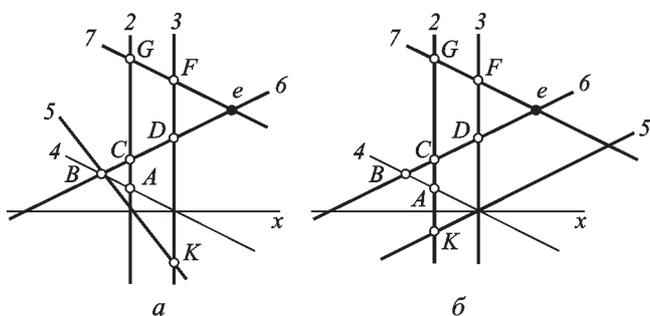


Рис. 2. Варианты проведения нулевой прямой вспомогательного звена для основы планов угловых скоростей № 1:

a — вариант № 1; b — вариант № 2

- 34x; 345; 023
- 34x; 3x5; 023
- 34x; 5x4; 023
- 345; 3x5; 023
- 345; 5x4; 023
- 3x5; 5x4; 023

Все представленные планетарные ряды относятся ко 2-му классу. Как известно из теории синтеза сложных планетарных механизмов [2], из трех звеньев можно образовать, принимая поочередно за водило каждое звено, три равнозначных планетарных ряда, причем два из них будут относиться к 1-му классу и один ко 2-му классу. Поэтому, если учесть это обстоятельство, то количество вариантов комбинаций планетарных рядов многократно возрастет.

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 3, а, позволяет получить семь передач переднего хода (точки A, B, C, D, e, F и G), причем шесть обуславливают наличие в коробке передач понижающих передач и одна (точка e) — прямую передачу. В отличие от предыдущей основы плана угловых скоростей (см. рис. 2, б), данная основа не содержит рабочих точек, обеспечивающих повышающие передачи, и, как в предыдущей основе, здесь также отсутствует рабочая точка, соответствующая передаче заднего хода.

На основе планов угловых скоростей имеются следующие планетарные ряды и блокировочные муфты:

- планетарный ряд, составленный из звеньев 2, 4 и x (нулевые прямые этих звеньев пересекаются в одной точке);
- блокировочная муфта, соединяющая ведущее звено 0 и звено 2 (нулевые прямые 2 и 6 параллельны);

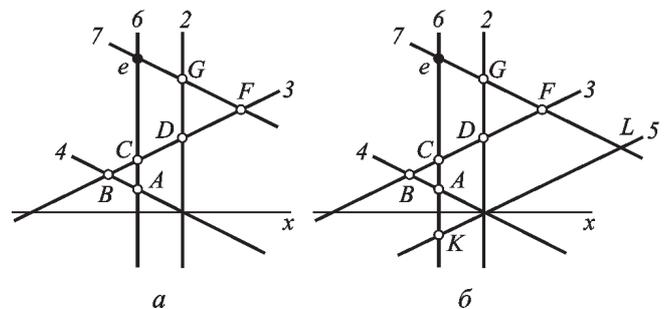


Рис. 3. Основа планов угловых скоростей № 2 (а) и вариант проведения нулевой прямой вспомогательного звена для нее (б)

- блокировочная муфта, соединяющая ведущее звено 0 и звено 4 (нулевые прямые 4 и 7 параллельны).

Причем, для того чтобы планетарный ряд, составленный из звеньев 2, 4 и x , относился ко 2-му классу, в качестве водила следует назначить звено 4. Тогда МЦК следует назначить звено 2, а звено x — БЦК.

Очевидно, что данная основа плана угловых скоростей (см. рис. 3, а) обеспечивает наличие в кинематической схеме коробки передач один планетарный ряд и две блокировочные муфты. Следует отметить тот факт, что ведущее звено 0 и звено 3 не вошли в состав единственного имеющегося планетарного ряда, поэтому при введении вспомогательного звена необходимо, чтобы во вновь образованные планетарные ряды обязательно вошли эти два звена. Кроме того, следует учитывать, что рассматриваемая основа плана угловых скоростей не позволяет иметь в коробке передачи заднего хода. Поэтому при введении вспомогательного звена 5 его нулевую прямую следует провести таким образом, чтобы ее пересечение с какой-либо другой нулевой прямой позволило организовать рабочую точку, обеспечивающую передачу заднего хода. В этом случае звено 5 необходимо оборудовать тормозом.

Таким образом, при введении нулевой прямой вспомогательного звена следует выполнить следующие условия:

- образовать два планетарных ряда;
- во вновь образованные планетарные ряды обязательно должны войти ведущее звено 0 и звено 3;
- получить рабочую точку, обеспечивающую передачу заднего хода.

Возможен только один вариант проведения нулевой прямой, который отвечал бы сформированным выше требованиям. Нулевую прямую вспомогательного звена следует провести через точку пересечения нулевых прямых 2, 4 и x параллельно нулевой прямой 3 (рис. 3, б). В этом случае параллельность нулевых прямых 3 и 5 позволяет организовать планетарный ряд, содержащий ведущее звено 0 и звено 3. Кроме того, если оборудовать вспомогательное звено 5 тормозом, то одновременное включение тормоза этого звена и блокировочной муфты с условным звеном 6 позволяет получить в коробке

передачу заднего хода, что отражается на плане угловых скоростей рабочей точкой K (рис. 3, б). Для того чтобы планетарный ряд относился ко 2-му классу за водило следует принять вспомогательное звено 5. Тогда в соответствии с расположением нулевых прямых 3 и 5 по отношению к масштабной точке e МЦК должно быть ведущее звено 0, а БЦК — звено 3, т.е. имеем планетарный ряд 2-го класса 053.

Пересечение в одной точке четырех нулевых прямых 2, 4, 5 и x позволяет организовать из них четыре планетарных ряда 2-го класса, причем, как отмечалось выше, в кинематическую схему коробки передач можно включить только любые два. Варианты сочетания планетарных рядов 2-го класса с добавлением планетарного ряда 053 и двух блокировочных муфт 074; 062 представлены ниже:

- 245; 24x; 053
- 245; 3x5; 053
- 245; 5x4; 053
- 345; 3x5; 053
- 345; 5x4; 053
- 3x5; 5x4; 053

Основа планов угловых скоростей, представленная на рис. 4, а, имеет семь рабочих точек, расположенных над нулевой прямой ведомого звена x , и ни одной рабочей точки под ней. Таким образом, данная основа также, как и две предыдущие, обеспечивает семь передач переднего хода и не имеет ни одной передачи заднего хода. Из семи передач переднего хода четыре понижающие (точки A, B, C и D), одна прямая (точка e) и две повышающие (точки F и G).

Параллельность нулевых прямых 2 и 6 позволяет организовать блокировочную муфту

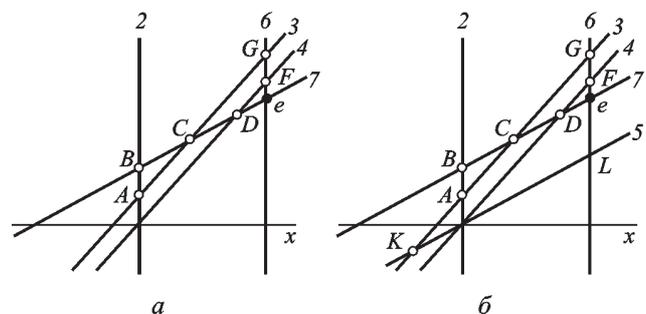


Рис. 4. Основа планов угловых скоростей № 3 (а) и вариант проведения нулевой прямой вспомогательного звена для нее (б)

$0\tilde{b}2$, которая может быть установлена между ведущим звеном 0 и звеном 2 . Пересечение нулевых прямых 2 , 4 и x в одной точке дает возможность составить из этих звеньев планетарный ряд (если 2-го класса, то планетарный ряд $42x$). Кроме того, на основе плана угловых скоростей имеются еще две параллельные прямые (3 и 4), что позволяет включить в состав кинематической схемы еще один планетарный ряд, составленный из этих звеньев и ведущего звена 0 (если 2-го класса, то — планетарный ряд 430). В результате на рассматриваемой основе плана угловых скоростей имеются два планетарных ряда и одна блокировочная муфта.

Таким образом, при переходе от основы планов угловых скоростей к плану с помощью нулевой прямой вспомогательного звена необходимо организовать еще один планетарный ряд и одну блокировочную муфту с условным звеном 7 . Кроме того, с помощью нулевой прямой вспомогательного звена следует получить рабочую точку, обеспечивающую коробке передачу заднего хода. Эти два обстоятельства и определяют варианты проведения нулевой прямой вспомогательного звена. И таких вариантов оказывается всего один.

Для удовлетворения перечисленных выше условий нулевая прямая вспомогательного звена 5 должна пройти через точку пересечения нулевых прямых 2 , 4 и x параллельно нулевой прямой 7 (рис. 4, б). В этом случае существует две рабочие точки K и L . Точка K расположена под нулевой прямой ведомого звена, что обеспечивает в случае оборудования вспомогательного звена 5 тормозом передачу заднего хода. Рабочая точка L расположена над нулевой прямой и определяет передачу переднего хода. Однако, эта точка выпадает из концепции неразрывности передачи потока мощности от двигателя к ведущим колесам, поскольку для ее реализации требуется выключение двух элементов управления и включения также двух элементов управления. Поэтому передачу, определяемую рабочей точкой L , приходится исключить из числа используемых.

Параллельность нулевых прямых 5 и 7 дает возможность установить между ведущим звеном 0 и звеном 5 блокировочную муфту $0\tilde{7}5$. Пересече-

ние нулевых прямых звеньев 2 , 4 , 5 и x в одной точке позволяет организовать из этих звеньев четыре планетарных ряда 2-го класса: 425 , $4x2$, $25x$ и $4x5$, из которых в состав кинематической схемы проектируемой коробки передач можно взять только два. Таких вариантов сочетаний из этих четырех механизмов по два и двух блокировочных муфт $0\tilde{7}5$; $0\tilde{b}2$ будет шесть:

425 ; $4x2$; 023
 425 ; $25x$; 023
 425 ; $4x5$; 023
 $4x2$; $25x$; 023
 $4x2$; $4x5$; 023
 $25x$; $4x5$; 023

Рассмотренные основы планов угловых скоростей трехступенных планетарных коробок передач позволяют синтезировать коробки с тремя планетарными рядами, реализующие семь передач переднего хода и одну передачу заднего хода. Для каждого из полученных вариантов сочетания планетарных рядов и блокировочных муфт необходимо определить внутренние передаточные отношения каждого планетарного ряда и построить кинематические схемы.

Литература

- [1] Харитонов С.А. *Автоматические коробки передач*. Москва, Астрель-АСТ, 2003. 335 с.
- [2] Харитонов С.А., Нагайцев М.В., Юдин Е.Г. *Автоматические коробки передач современных легковых автомобилей*. Москва, Легион-Автодата, 2000. 125 с.
- [3] Christoph Dorr. *The new automatic transmission 9G-tronic from Mercedes-Benz. 12th International symposium automotive transmissions, HEV and EV drivers*. Germany, 2013.
- [4] Harald Naunheimer, Bernd Bertsche, Joachim Ryborz, Wolfgang Novak. *Automotive Transmissions. Fundamentals, Selection, Design and Application*. Heidelberg, Dordrecht, London, New York, Springer, 2011. 715.
- [5] Нагайцев М.В., Харитонов С.А., Юдин Е.Г. *Автоматические коробки передач современных легковых автомобилей*. Москва, Изд-во «Легион-Автодата», 2000. 125 с.
- [6] *Design practices: Passenger car automatic transmission*. SAE International. Warrendale, Pennsylvania, 2012. 1020 p.
- [7] Красеньков В.И., Вашец А.Д. *Проектирование планетарных механизмов транспортных машин*. Москва, Машиностроение, 1986. 273 с.
- [8] Шеломов В.Б. *Теория взаимного пространственного расположения элементов планетарных передач на основе инвариантных свойств их обобщенных структур*. Дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2006. 249 с.

References

- [1] Kharitonov S.A. *Avtomaticheskie korobki peredach* [Automatic Transmission]. Moscow, Astrel'-AST publ., 2003. 335 p.
- [2] Kharitonov S.A., Nagaitsev M.V., Iudin E.G. *Avtomaticheskie korobki peredach sovremennykh legkovykh avtomobilei* [Automatic

transmissions in modern passenger cars]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2000. 125 p.

[3] Christoph Dorr. The new automatic transmission 9G-tronic from Mercedes-Benz. *12th International symposium automotive transmissions, HEV and EV drivers*, Germany. 2013.

[4] Harald Naunheimer, Bernd Bertsche, Joachim Ryborz, Wolfgang Novak. *Automotive Transmissions. Fundamentals, Selection, Design and Application*. Second Edition, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, Springer, 2011. 715 p.

[5] Nagaitsev M.V., Kharitonov S.A., Iudin E.G. *Avtomaticheskie korobki peredach sovremennykh legkovykh avtomobilei* [Automatic transmissions in modern passenger cars]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2000. 125 p.

[6] *Design practices: Passenger car automatic transmission*. Fourth edition. SAE International. Warrendale, Pennsylvania, 2012, 1020 p.

[7] Krasnen'kov V.I., Vashets A.D. *Proektirovanie planetarnykh mekhanizmov transportnykh mashin* [Designing planetary mechanisms of transport vehicles]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1986. 273 p.

[8] Shelomov V.B. *Teoriia vzaimnogo prostranstvennogo raspolozheniia elementov planetarnykh peredach na osnove invariantnykh svoystv ikh obobshchennykh struktur*. Diss. dokt. tekhn. nauk [The theory of mutual spatial arrangement of the elements of the planetary gear based on invariant properties of generalized structures. Dr. tech. sci. diss.]. Sankt-Peterburg, 2006. 249 p.

Статья поступила в редакцию 10.01.2014

Информация об авторах

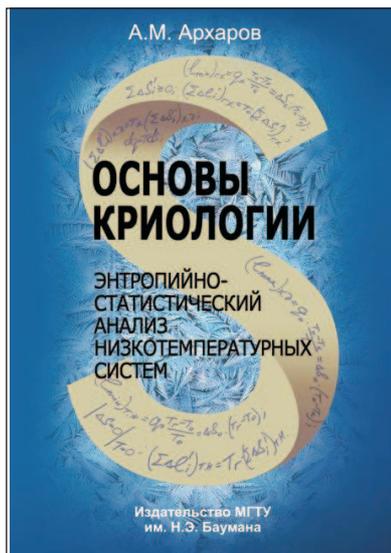
ХАРИТОНОВ Сергей Александрович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Гусеничные машины и мобильные роботы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: sintespkp@yandex.ru).

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 SSC RF FSUE «NAMI» (Avtomotornaya str., 2, 125438, Moscow, Russian Federation, e-mail: ngmax@yandex.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышла в свет монография «Основы криологии. Энтропийно-статистический анализ низкотемпературных систем», автора А.М. Архарова.

В работе рассмотрены основные этапы развития инженерной криологии; термодинамические принципы и предельные соотношения для не прямых, непрерывных, обратимых (равновесных) взаимных преобразований теплоты и работы (электроэнергии); термодинамическая температура, единое термодинамическое температурное пространство, холод и теплота; окружающая среда, ее температура и свойства; тепловые двигатели — генераторы работы (электроэнергии); холодильные и криогенные установки и системы — генераторы холода; тепловые насосы — генераторы высокопотенциальной теплоты; «холодные» двигатели — генераторы работы; различные преобразования потоков только теплоты; пример преобразования теплоты высокого потенциала в холод; энтропия и эксергия; внутренняя энергия и энтальпия; свободная энергия и свободная энтальпия; классические технологические задачи инженерной криологии.

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