

Технология и технологические машины

УДК 621.96

DOI: 10.18698/0536-1044-2015-12-45-51

Особенности обработки вихревым методом кольцевых профилей на боковых поверхностях вращения

Н.М. Расулов, У.М. Надиров

Азербайджанский технический университет, AZ1073, Баку, Азербайджан, пр-т Г. Джавида, 25

The Specifics of Vortex Machining of Ring Profiles on Lateral Surfaces of Rotation

N.M. Rasulov, Y.M. Nadirov

Azerbaijan Technical University, AZ1073, Baku, Azerbaijan, H. Javid Ave. 25



e-mail: nariman.rasulov@yahoo.com, n_ugurlu@mail.ru

i Приведены результаты разработки нового вихревого метода обработки профильных уплотнительных кольцевых канавок, предусмотренных на боковых поверхностях вращения. Основой технологического обеспечения требуемого качества канавки является имитация геометрических связей, действующих между конструктивными элементами каждого звена технологической системы, как отдельно, так и в совокупности, с учетом передаточного отношения прямых и обратных связей при обработке. Обработка канавок осуществляется профильными резцами, которые закреплены на резцовой головке, установленной на шпинделе станка, за два вида рабочих проходов при непрерывном вращении инструмента. Вертикальное и линейно-горизонтальное перемещение заготовки обеспечивают врезание режущих инструментов на глубину, необходимую для нарезания канавки. Для формирования канавки инструменту сообщается вращательное движение, а заготовке — движение продольной круговой подачи, при этом между продольной и круговой подачей осуществляется корреляционная связь. Разработана конструкция формирующей части инструмента и инструментальной головки. Предложенный вихревой метод обработки применен при серийном изготовлении кранов типа SK 50×70.

Ключевые слова: вихревой метод, продольная подача, круговая подача, глубина нарезания, ширина канавки, геометрические технологические связи.

i The article presents the results of developing a new vortex machining method for profile sealing ring grooves on the lateral surfaces of rotation. The basis of the technology to ensure the required quality of the groove is the imitation of geometrical relations between the structural elements of each unit separately, and as part of the whole technological system, taking into account the transmission ratio of forward and backward connections. The grooves are machined by profile cutters that are fixed on the cutting head mounted on the spindle of the machine tool when the tool rotates continuously for two types of working passes. The vertical and linear-horizontal movements of the workpiece ensure the required

penetration depth by the cutting tools. To form the groove, the rotational movement is transmitted to the tool, and the workpiece is fed in the longitudinal circular movement. Furthermore, there is a correlation between the longitudinal and the circular feeds. A design of the forming part of the tool and the tool head is proposed. The developed vortex machining method is applied to serial manufacturing of the SK 50×70 type faucets.

Keywords: vortex method, longitudinal feed, circular feed, cutting depth, groove width, technological geometry.

По мере развития науки, техники и технологии в конструкциях деталей машин и технических средств предусматривается сложная по технологии обработка поверхностей, более прогрессивных по функциональным показателям, но ранее считавшихся нетехнологичными. К таким поверхностям относятся кольцевые фасонные канавки для уплотнительных колец, которые предусмотрены на конической поверхности вращения детали «Вкладыш SK.003» крана типа SK 50×70, разработанного Азербайджанским институтом нефтяного машиностроения (рис. 1). Канавка имеет сложный профиль, ее ось симметрии перпендикулярна конической поверхности вращения. Современная техника и технология не позволяют обрабатывать подобные поверхности производительными, эффективными способами.

Обработке сложных поверхностей посвящено большое количество работ, в частности [1–6]. Канавки на боковых поверхностях вращения обычно фрезеруют специальными концевыми

фрезами на копировально-фрезерном станке или на вертикально-фрезерных станках с ЧПУ. Обработку осуществляют при трехкратном согласованном движении заготовки: поперечное и продольное перемещения и вращение. При этом используются геометрические технологические связи (ГТС) наиболее сложного вида [7].

Кольцевая канавка имеет особо сложный профиль. При ее обработке концевой фрезой на технологическую операцию накладываются две ГТС I рода (продольная подача — поперечная подача и продольная — круговая подача) и две ГТС II рода (диаметр инструмента — ширина канавки и профиль инструмента — радиус закругления канавки). Как известно, ГТС I рода представляют собой более сложные по технологическому обеспечению связи [6, 7]. Геометрические технологические связи II рода относительно просты, обычно они реализуются в статическом состоянии элементов технологической системы. В данном случае обработка одноинструментная, низкоскоростная, длина l обрабатываемой поверхности максимальна ($l = \pi d$, где d — диаметр окружности расположения канавки), надежность инструмента низкая. Естественно, эффективность такой обработки невелика.

Выявление технологических размерных связей, формирующих профиль канавки при ее нарезании, их анализ позволяют прогнозировать качество обработки, определять возможности его повышения и управлять этими связями в процессе образования профиля.

Известно, что из нескольких технологических процессов обработки одной и той же поверхности наиболее эффективным будет тот, при котором механизм ее формирования накладывает на операцию меньшее количество простых ГТС [5, 7].

Несмотря на низкую на сегодняшний день технологичность конструкции канавок, она оправдывает себя при эксплуатации. Следовательно, неотложной задачей является создание прогрессивной технологии обработки канавок на основе применения совершенных видов

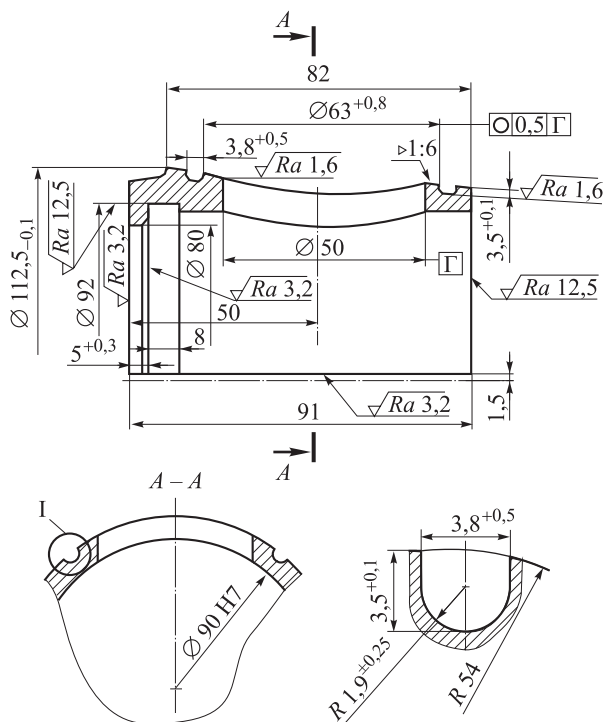


Рис. 1. Схема конструкции детали «Вкладыш SK.003»

ГТС. Управляя этими связями, можно добиться минимальной длины обрабатываемой поверхности.

Целью работы является создание высокоэффективного многоинструментного метода обработки канавок по окружности на боковых поверхностях вращения, применение которого позволило бы повысить эффективность изготовления данных канавок.

Основные задачи формирования канавки. Для разработки оптимального варианта технологического обеспечения требуемого качества канавки необходимо, чтобы геометрические связи ее конструктивных элементов нашли отражение в каждом элементе и звене технологической системы как в отдельности, так и в совокупности. К элементам технологической системы относятся: инструмент, механизм формообразования, схема обработки, режим обработки и т. п. При этом должны быть учтены прямые и обратные связи между элементами технологической системы, а также передаточный механизм от геометрических элементов канавки к элементам технологической системы. Геометрические связи, которые образуются между элементами технологической системы при выполнении технологической операции, передаются заготовке в определенном масштабе и с определенной точностью. Таким образом формируется требуемый конструктивный элемент заготовки.

Обработка канавок на боковых поверхностях вращения и обеспечение необходимого качества канавок потребовала решения следующих конструктивно-технологических задач [1, 2, 6]:

- соответствующая обработка канавочной конической поверхности;
- разработка (или выбор) схемы обработки;
- проектирование (или выбор) инструмента и оснастки, обладающих соответствующим качеством;
- выбор оборудования, и обеспечивающего оптимальный процесс резания, при необходимости, его совершенствование.

Коническая поверхность вращения под канавки формируется обтачиванием, поэтому нет необходимости его анализа.

Вихревой метод обработки профилей. Для образования канавок на боковых поверхностях вращения выбрана производительная схема

обработки несколькими профильными резцами. Резцы закрепляют на резцовой головке по окружности подобно торцевым фрезам. Сущность схемы обработки канавок заключается в создании между элементами технологической системы кинематических размерных связей, имитирующих конструктивные размерные связи самой комбинированной поверхности при ее обработке. Обработка реализуется вращающимися инструментами, имеющими соответствующие конструктивные элементы, при согласованных круговой S_k и продольной $S_{пр}$ подачах заготовки (рис. 2). При этом врезание инструментов на требуемую глубину нарезания канавки осуществляется только при вертикальной подаче заготовки, а длина обрабатываемой поверхности равна диаметру d окружности расположения канавки. С ним напрямую связана величина линейного продольного перемещения заготовки, обеспечиваемая продольной подачей.

Величина искомого перемещения X продольного суппорта согласуется с углом α_x поворота заготовки. В соответствии с конструкцией канавки и особенностями ее обработки оси симметрии формируемого сечения канавки и режущего лезвия инструмента находятся в одной вертикальной плоскости. Поэтому при формировании канавки в зоне B заготовки ось поверхности вращения занимает позицию, обозначенную на рис. 2 точкой O . При формировании канавки в противоположной зоне A окружности канавки ось заготовки должна быть перемещена на величину d в направлении продольной подачи.

Для реализации метода вихревого нарезания уплотнительных канавок на боковых поверхно-

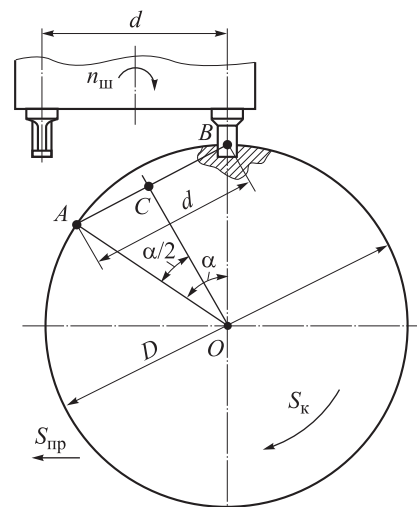


Рис. 2. Схема формирования профильной канавки

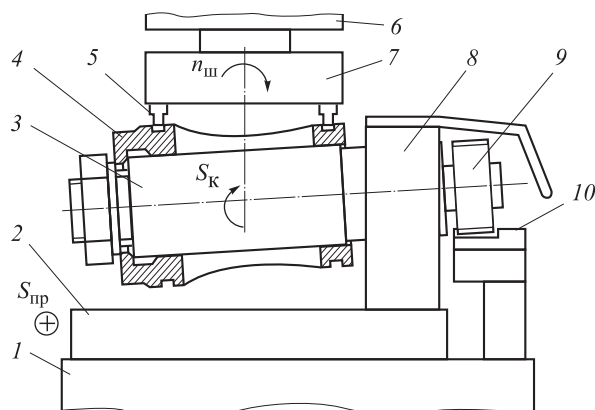


Рис. 3. Схема модернизации вертикально-фрезерного станка для нарезания канавки

ствах вращения был модернизирован вертикально-фрезерный станок мод. ГФ217ТС5 (рис. 3). Сущность модернизации заключается в использовании линейно-продольного перемещения (подачи) для круговой подачи заготовки при ее обработке.

С этой целью была применена зубчато-реечная передача. Рейка 10 смонтирована на неподвижной (при обработке) части стола — поперечном суппорте 1 (см. рис. 3). Зацепляющееся с рейкой 10 колесо 9 установлено на оси оправки 3, заготовка 4 размещена на оправке 3. Корпус оснастки 8 закреплен на столе — на продольном суппорте 2 станка. Таким образом, продольная подача стола порождает круговую подачу заготовки 4. Корреляционная связь между ними зависит от основных конструктивных параметров зацепления реечно-зубчатой передачи, поэтому они должны быть увязаны с зависимостью между круговой S_k и продольной $S_{пр}$ подачами заготовки.

Режущие инструменты 5 закреплены на резцовой головке 7, установленной на шпинделе 6 станка.

Выполнена наладка технологической системы. Нарезание канавки осуществляется при непрерывном вращении инструмента с частотой $n_{ш}$ за два вида рабочих проходов: вертикального и линейного перемещения заготовки. При этом необходимо учитывать, что линейное перемещение сопровождается поворотом заготовки вокруг своей оси, так как между этими движениями обеспечена соответствующая функциональная связь.

Каждый вид прохода инструмента имеет собственную схему резания. При формировании канавки каждый резец снимает материал с

двух сторон криволинейного контура, справа и слева от плоскости его симметрии, параллельной направлению продольной подачи.

Вихревая обработка канавки осуществляется с использованием одной ГТС I рода (продольная подача — круговая подача) и трех ГТС II рода (ширина инструмента — ширина канавки, радиус закругления вершины резца — радиус закругления канавки, диаметр окружности расположения инструментов — диаметр кольцевой окружности канавки). Очевидно, что одна из ГТС I рода заменена более совершенной ГТС II рода. Связь I рода реализуется размерами системы, а связь II рода — размером инструмента [5, 7].

Эффективность обработки обеспечивается следующими преимуществами предлагаемой технологии: конструкция инструмента более жесткая; обработка осуществляется несколькими резцами; режущая часть инструмента изготовлена из твердого сплава; исключено одно из согласуемых движений заготовки — поперечная подача; скорость резания и производительность более высокие; длина обработки сокращена в несколько раз и т. п. Таким образом, повышение эффективности обработки профилей, образуемых на боковых поверхностях вращения, достигается за счет уменьшения штучного времени — основной составляющей машинного времени, путем применения более производительной технологии, которая предусматривает управление технологическими связями.

Необходимо отметить, что, согласно схеме резания, сьем материала в основном начинается с минимальной его толщины, т. е. близкого к нулю значения, и плавно увеличивается. Это в определенной степени предотвращает сильные удары при прерывистом нарезании профилей.

Формирующий инструмент. В соответствии с принятой схемой обработки процесс резания осуществляется путем копирования: профиль режущего инструмента копируется на заготовку. Значит, согласно прямым размерным связям, при проектировании инструмента профиль канавки передается на инструмент. Однако при этом в формирующей части инструмента должны быть учтены изменения его размера вследствие упругих и температурных деформаций, а также износа режущих лезвий в ходе обработки партии деталей.

С учетом указанных факторов и данных о работе профильных резцов была спроектирована

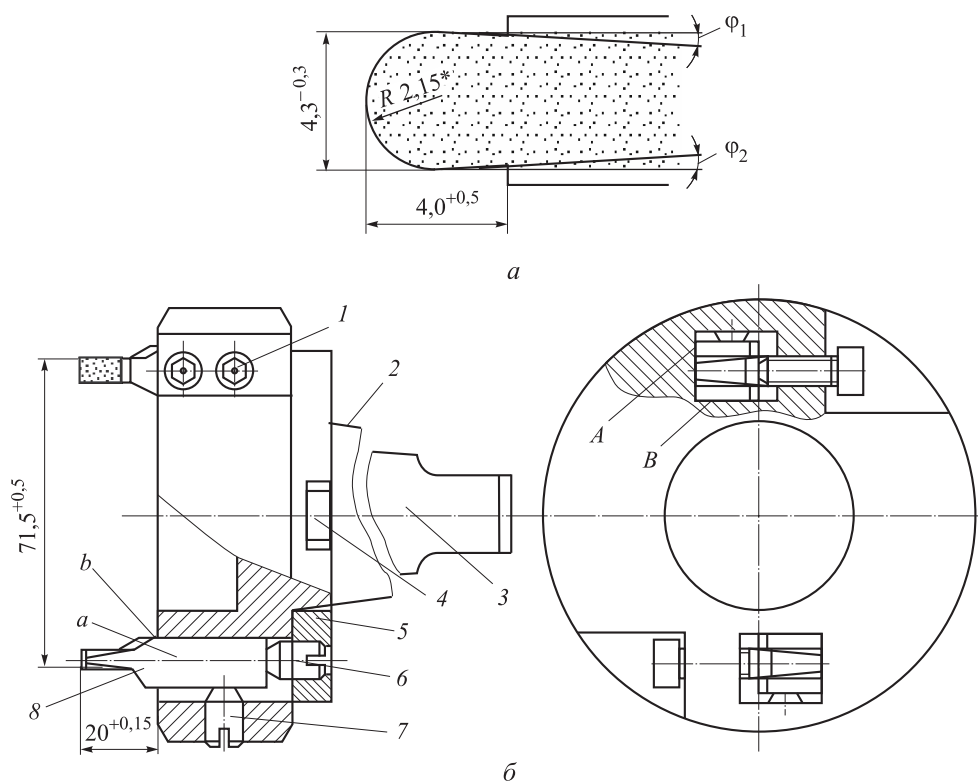


Рис. 4. Конструкции режущей части инструмента (а) и инструментальной головки (б)

режущая часть инструмента для обработки канавки (рис. 4, а) [8, 9]. При назначении геометрических параметров учтены и конструктивные особенности обрабатываемой поверхности. В частности, при определении вспомогательных углов в плане φ_1 и φ_2 учтено, что при резании уже сформированная наружная вогнутая поверхность канавки направлена в тело инструмента, а внутренняя вогнутая поверхность — от него. Поэтому было принято $\varphi_1 > \varphi_2$.

Учтена и заточка инструмента, а также интенсивный износ его режущих кромок в начале работы. Ширина формирующей рабочей части инструмента эффективно увязана с шириной канавки и обеспечен максимальный, на наш взгляд, срок службы инструмента в сочетании с требуемой точностью обработки [8, 9].

Расположение размерных связей канавки учтено в конструкции инструментальной головки. Основными частями головки являются корпус 3 и опорное кольцо 5 (рис. 4, б). Корпус имеет с одной стороны хвостовик с конусом Морзе 2 для установки головки в шпинделе станка, а с другой стороны два отверстия прямоугольного сечения для установки режущих инструментов — резцов 8. Опорное кольцо 5 закреплено на корпусе болтами 4.

Для относительной наладки такого положения режущих лезвий резцов на головке, которое обеспечивает равномерное распределение снимаемого материала между резцами, предусмотрены регулировочные винты 6. Винты 7 предназначены для обеспечения высокой точности и надежности базирования резцов в радиальном направлении.

Вспомогательные базы корпуса (А и В) и основные базы резцов (а и б) имеют относительно высокое качество обработки по сравнению с другими, нерабочими, поверхностями.

При заточке инструментов поверхности а и б принимают в качестве технологических баз, что создает условия для эффективной наладки положения резцов на головке. Резцы закреплены болтами 1 (рис. 4, б).

Разработанный вихревой метод применен на машиностроительном заводе им. Б. Сардарова при серийном изготовлении кранов типа SK 50×70.

Выводы

1. Для обработки кольцевых канавок на боковых поверхностях вращения разработан вихревой метод, который основан на имитации

размерных связей, присущих конструкции канавки, в технологических и кинематических размерных связях при обработке, что позволяет упростить геометрические технологические связи, накладываемые на операцию.

2. Разработаны конструкции формирующей части инструмента и инструментальной головки.

Литература

- [1] Дружинский П.Ф. *Сложные поверхности. Математическое описание и технологическое обеспечение: справочник*. Ленинград, Машиностроение, 1985. 264 с.
- [2] Базров Б.М. *Основы технологии машиностроения*. Москва, Машиностроение, 2005. 736 с.
- [3] Nadirov U.M., Məmmədov K.S., Rəsulov N.M. Firlanma yan səthlərində yerləşən novların burulğan üsulu ilə emal keyfiyyətinin əsasları. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri*, 2014, cild 6, № 3, ss. 41–48.
- [4] Расулов Н.М., Надиров У.М., Мамедов К.С. Разработка вихревого метода обработки профилей, предусмотренных на боковых поверхностях вращения. *Вестник Азербайджанской инженерной академии*, 2013, т. 5, № 3, с. 50–56.
- [5] Расулов Н.М. *Технология машиностроения (Повышение эффективности обработки сложных поверхностей вращения)*. Баку, Элм, 1997. 134 с.
- [6] Дальский А.М., Сулов А.Г., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. В 2 т. Москва, Машиностроение, 2003. т. 1, 912 с., т. 2, 944 с.
- [7] Расулов Н.М. Управление технологическими размерными связями и эффективность обработки деталей машин. *Техника машиностроения*, 2003, № 3, с. 18–22.
- [8] Ординарцев И.А., ред. *Справочник инструментальщика*. Ленинград, Машиностроение, 1987. 846 с.
- [9] Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. *Металлорежущие инструменты. Справочник конструктора*. Минск, Новое знание, 2009. 1039 с.

References

- [1] Druzhinskii P.F. Slozhnye poverkhnosti. *Matematicheskoe opisanie i tekhnologicheskoe obespechenie: spravochnik* [Sophisticated surface. Mathematical description and technological support. Directory]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1985. 264 p.
- [2] Bazrov B.M. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniia* [Fundamentals of Manufacturing Engineering]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2005. 736 p.
- [3] Nadirov U.M., Məmmədov K.S., Rəsulov N.M. Firlanma yan səthlərində yerləşən novların burulğan üsulu ilə emal keyfiyyətinin əsasları [Quality of the side surfaces of the processing method in the gutters vortex rotation basis]. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri* [News of the Azerbaijan Academy of Engineering]. 2014, vol. 6, no. 3, pp. 41–48.
- [4] Rasulov N.M., Nadirov U.M., Mamedov K.S. Razrabotka vikhrevogo metoda obrabotki profilei, predusmotrennykh na bokovykh poverkhnostiakh vrashcheniia [Development profiles vortex processing method provided on the side surfaces of rotation]. *Vestnik Azerbaidzhanskoi inzhenernoi akademii* [Bulletin of the Azerbaijan Academy of Engineering]. 2013, vol. 5, no. 3, pp. 50–56.
- [5] Rasulov N.M. *Tekhnologiia mashinostroeniia (Povyshenie effektivnosti obrabotki slozhnykh poverkhnostei vrashcheniia)* [Engineering Technology (Improved processing of complex surfaces of revolution)]. Baku, Elm publ., 1997. 134 p.
- [6] *Spravochnik tekhnologa mashinostroitelia* [Manual machinist technologist]. Eds. Dal'skii A.M., Suslov A.G., Kosilova A.G., Meshcheriakov R.K. In 2 vols. Moscow, Mashinostroenie publ., 2003. vol. 1, 912 p., vol. 2, 944 p.
- [7] Rasulov N.M. Upravlenie tekhnologicheskimi razmernymi sviaziami i effektivnost' obrabotki detalei mashin [Management of technological dimensional relations and efficiency of processing machine parts]. *Tekhnika mashinostroeniia* [Construction machinery]. 2003, no. 3, pp. 18–22.

- [8] *Spravochnik instrumental'shchika* [Directory toolmaker]. Eds. Ordinartsev I.A. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1987. 846 p.
- [9] Fel'dshtein E.E., Kornievich M.A. *Metallorazhushchie instrumenty. Spravochnik konstruktora* [Metal cutting tools. Reference Design]. Minsk, Novoe znanie publ., 2009. 1039 p.

Статья поступила в редакцию 10.10.2015

Информация об авторах

РАСУЛОВ Нариман Могбил оглы (Баку) — доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения». Азербайджанский технический университет (AZ1073, Баку, Азербайджан, пр-т Г. Джавида, 25, e-mail: nariman.rasulov@yahoo.com).

НАДИРОВ Угурлу Магоммед оглы (Баку) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика». Азербайджанский технический университет (AZ1073, Баку, Азербайджан, пр-т Г. Джавида, 25, e-mail: n_ugurlu@mail.ru).

Information about the authors

RASULOV Nariman Mogbil oglu (Baku) — Doctor of Science (Eng.), Mechanical Engineering Department. Azerbaijan Technical University (AZ1073, Baku, Azerbaijan, H. Javid Ave. 25, e-mail: nariman.rasulov@yahoo.com).

NADIROV Ugurlu Mohammed oglu (Baku) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Engineering Graphics Department. Azerbaijan Technical University (AZ1073, Baku, Azerbaijan, H. Javid Ave. 25, e-mail: n_ugurlu@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышел в свет учебник
М.В. Добровольского

«Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования»

Изложены основы проектирования жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). Даются основные положения теории, методы расчета и описание узлов и агрегатов двигательных установок с ЖРД. Рассмотрены процессы расширения газов в соплах, смесеобразования и теплообмена, а также методы профилирования сопел, расчета форсунок, определения форм и объема камеры сгорания. Приведены системы подачи с турбонасосными агрегатами и вытеснительные системы подачи с газовым, пороховым и жидкостным аккумуляторами давления. Изложены методики и примеры расчетов элементов конструкции и ЖРД в целом.

Третье издание (1-е — 1968 г., 2-е — 2005 г.) дополнено параметрами отечественных и зарубежных ЖРД конца XX в. Соответствует курсам лекций, читаемых в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов и магистрантов высших технических учебных заведений. Может быть полезен также инженерам и аспирантам, специализирующимся в области ракетной техники.

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