

УДК 62-13354

Расчет образующих поверхностей рабочих элементов конусно-винтовых компрессоров

Б.И. Айметдинов¹, В.Н. Сызранцев¹, Л.А. Черная²

¹ Тюменский государственный нефтегазовый университет, 625000, Тюменская область, Тюмень, Российская Федерация, ул. Володарского, д. 38.

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Calculation of the generating lines of working surfaces of conical screw compressors

B.I. Aymetdinov¹, V.N. Syzrantsev¹, L.A. Chernaya²

¹ Tyumen State Oil and Gas University, Volodarskogo str., 38, 625000, Tyumen, Russian Federation.

² Bauman Moscow State Technical University, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation.



e-mail: bulagen@mail.ru, v_syzrantsev@mail.ru, ChernayaLA@yandex.ru



В современном парке насосной техники широкое применение нашли винтовые насосы Муано, конструктивная простота и высокие характеристики которых позволяют использовать их во многих технологических процессах. Одним из направлений развития данного вида техники является реализация конусно-винтового варианта геометрии рабочих элементов. Основная проблема при переходе от плоской геометрии к сферической состоит в размыкании либо взаимном пересечении сопряженных образующих профилей при перекатывании без проскальзывания производящего конуса по базовому конусу, аналогичного плоскому перекатыванию производящей окружности по базовой окружности. Разработаны алгоритмы расчета сопряженных образующих профилей, на основе которых создана наглядная модель, демонстрирующая принципиальную возможность практической реализации конусно-винтовых героторных устройств.

Ключевые слова: сопряженные образующие профили, базовый конус, производящий конус, героторные устройства, конусно-винтовой рабочий элемент.



Moineau pumps are widely used in many industrial processes due to their structural simplicity and high performance. One of the main trends in the development of this type of pumps is the implementation of conical actuating elements. The main problem when changing from a plane geometry to a spherical one is that the conjugate generating lines either do not contact or intersect each other when the generating cone rolls without slipping over the base cone. Algorithms for calculating conjugate generating profiles have been developed. These algorithms formed the basis for creating an example model to demonstrate the fundamental possibility of implementing conical screw gerotor devices.

Keywords: conjugate generating lines, base cone, generating cone, gerotor device, conical screw actuating elements.

Сопряженные сечения героторных устройств, запатентованных 27 декабря 1932 г. французским инженером Рене Жозефом Луи Муано (Rene Jozerph Louis Moineau) [1], образуются либо как семейства эпициклоид, чередующихся с гипоциклоидами, подобранными в определенных геометрических пропорциях, либо

как семейства эквидистант, откладываемых от гипоциклоид. Известны также и гипотрохоидные варианты сопряженных сечений [2, fig. 14].

Количество винтовых заходов для внутреннего сечения n_1 и для внешнего сечения n_2 всегда подчиняется соотношению $n_2 = n_1 + 1$ [2].

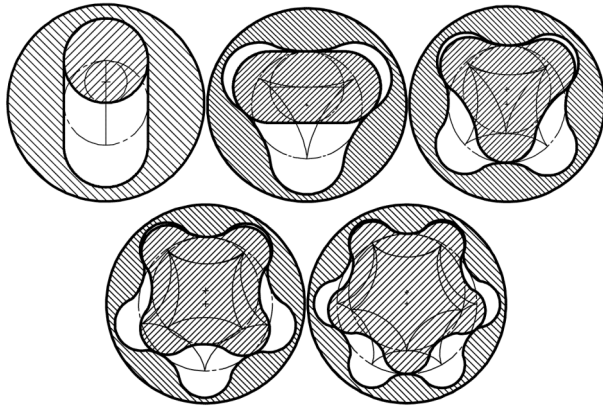


Рис. 1. Пример эквидистантных профилей

В настоящее время в большинстве героторных устройств используются профили, представляющие собой семейство эквидистант к гипоциклоидам (рис. 1). Это обусловлено тем, что у профилей, образованных последовательностями эпи- и гипоциклоид, вход выступа внутреннего профиля в нишу наружного происходит с обхватывающим замыканием. Кроме того, такой профиль имеет бесконечную кривизну в окрестностях точек перехода от участка гипоциклоиды к участку эпициклоиды [2].

Перспективным, по мнению авторов данной статьи, является развитие героторных устройств в направлении освоения конической и уплощенной компонок [2–5].

Цель работы — поиск решения проблемы размыкания или взаимного пересечения сопряженных образующих профилей и практическая реализация конической компоновки винтовых героторных устройств.

Следует отметить, что возможность реализации конической компоновки была рассмотрена еще Рене Муано [1, fig. 13]. Подробные математические изыскания плоской геометрии машин Муано были осуществлены группой исследователей в работе [2]. По аналогии с этой работой было проведено настоящее исследование, в ходе которого сделаны попытки найти сопряженные пары кривых, описывающих внутреннюю и наружную части рабочих поверхностей. Искомые пары кривых должны контактировать друг с другом по касательной и не должны пересекаться, что можно определить как требование взаимной сопряженности.

Сначала принципы построения сопряженных профилей в плоской геометрии были применены в сферической геометрии. Детальное рассмотрение полученных результатов с наглядным визуальным моделированием их перекатывания показало размыкание, а значит и

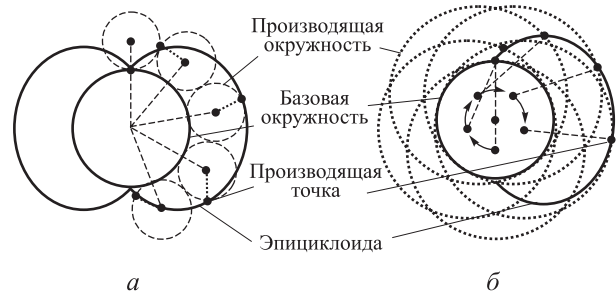


Рис. 2. Плоское построение эпициклоиды: а — обычное; б — альтернативное

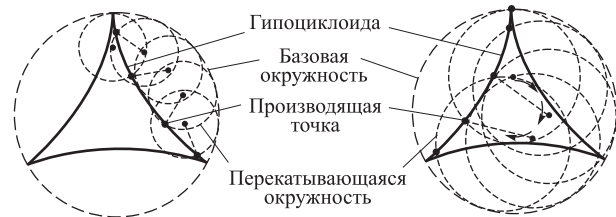


Рис. 3. Плоское построение гипоциклоиды: а — обычное; б — альтернативное

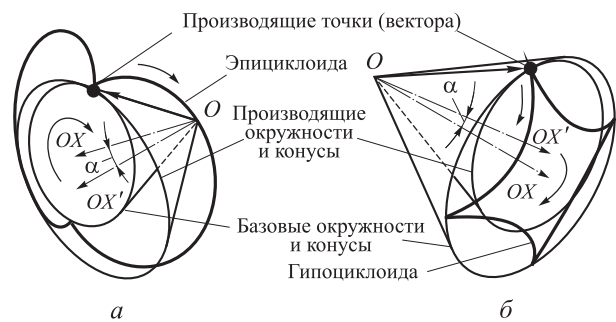


Рис. 4. Сферическое построение эпициклоиды (а) и гипоциклоиды (б)

нарушение постоянства круговой взаимной сопряженности полученных профилей. Использование альтернативного традиционному [6] метода построения циклоидальных кривых (рис. 2, 3), а также применение переносного построения сопряженных кривых позволило обеспечить постоянство круговой взаимной сопряженности профилей.

Моделирование сопряженных профилей можно осуществить перекатыванием производящих конусов внутри или снаружи базовых конусов (рис. 4). Как видно на рисунке, производящий конус для эпициклоиды больше, чем базовый конус. Для гипоциклоиды производящий конус тоже меньше базового, но больше, чем производящий конус, который используется при традиционном построении.

Исходя из этого возникает необходимость описать такое движение математически, т. е. составить несколько ключевых преобразующих ориентацию геометрии операторов (тензоров) [7].

Построим тензор P_B , реализующий прецессию с углом α между осью OX фиксированной системы координат и осью OX' подвижной системы координат:

$$P_B(\alpha, t) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \sin t & \sin \alpha \cos t \\ \sin \alpha \sin t & \cos^2 t + \cos \alpha \sin^2 t & (1 - \cos \alpha) \sin t \cos t \\ -\sin \alpha \cos t & (1 - \cos \alpha) \sin t \cos t & \sin^2 t + \cos \alpha \cos^2 t \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Прецессия производится против часовой стрелки (если смотреть навстречу оси OX) и начинается от самого нижнего положения оси OX' подвижной системы при $t = 0$.

Таким же образом строится тензор P_T прецессии, направленной против часовой стрелки вокруг OX , начиная от самого верхнего положения оси OX' с углом прецессии равным α :

$$P_T(\alpha, t) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \sin t & -\sin \alpha \cos t \\ -\sin \alpha \sin t & \cos^2 t + \cos \alpha \sin^2 t & (1 - \cos \alpha) \sin t \cos t \\ \sin \alpha \cos t & (1 - \cos \alpha) \sin t \cos t & \sin^2 t + \cos \alpha \cos^2 t \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Очевидно, прецессия в противоположную сторону (по часовой стрелке) может быть получена изменением знака перед аргументом t на противоположный в формулах (1), (2).

В качестве операторов вращения используются следующие матрицы:

$$R_{ccw}(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos t & -\sin t \\ 0 & \sin t & \cos t \end{pmatrix}$$

— матрица, вращающая подвижную систему против часовой стрелки вокруг оси OX (если смотреть навстречу оси) на угол, равный t ;

$$R_{cw}(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos t & \sin t \\ 0 & -\sin t & \cos t \end{pmatrix}$$

— матрица, вращающая подвижную систему по часовой стрелке вокруг оси OX (если смотреть навстречу оси) на угол, равный t .

Для построения сферических циклоидальных кривых кроме угла прецессии α необходимы углы конусности базового λ_B и производящего λ_X конусов, которые определяются на основании соотношений специально подобранных значений радиусов базовой окружности R_B , производящей окружности R_X и радиуса R несущей эти окружности сферы. Взаимосвязь параметров при построении одиночной конкретной гипо- или эпициклоиды определяется соотношениями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Построение сферических гипо- и эпициклоид

Параметр	Гипоциклоида	Эпициклоида
Требуемое количество лепестков (задается)	$n, n \in \mathbb{N}$	
Радиус несущей сферы (задается)	R	
Радиус базовой окружности (задается)	$R_B, R_B \leq R$	$R_B, R_B \leq R \left(\frac{n}{n+1} \right)$
Радиус производящей окружности	$R_X = R_B \left(\frac{n-1}{n} \right)$	$R_X = R_B \left(\frac{n+1}{n} \right)$
Угол базового конуса	$\lambda_B = 2 \arcsin(R_B/R)$	
Угол производящего конуса	$\lambda_X = 2 \arcsin R_X/R$	
Угол прецессии	$\alpha = \lambda_B - \lambda_X / 2$	
Производящий вектор	$V_X = \begin{pmatrix} R \cos \lambda_X / 2 \\ 0 \\ R \sin \lambda_X / 2 \end{pmatrix}$	
Тензор производящего вектора	$M_{XG}(t) = P_T[\alpha, (n-1)t] R_{cw}(t), t \in 0, \dots, 2\pi;$ $M_{XE}(t) = P_B[\alpha, (n+1)t] R_{ccw}(t), t \in 0, \dots, 2\pi$	

Количество лепестков n , а также радиус несущей сферы R и радиус базовой окружности R_B определяются произвольно в соответствии с потребностями, предъявляемыми к искомой конечной геометрии. При этом следует иметь в виду, что поскольку и базовая окружность и производящая лежат в пространстве несущей сферы, то R_B и R_X по определению не могут быть больше R .

Геометрическое место точек для гипоциклоид определяется параметрически как радиус вектор по формуле

$$V_G(t) = M_{XG}(t)V_X,$$

а для эпициклоид по формуле

$$V_E(t) = M_{XE}(t)V_X,$$

где V_X — производящий вектор; $M_{XG}(t)$, $M_{XE}(t)$ — тензоры производящего вектора.

Разработав методику построения сфериче-

ских гипоциклоид и эпициклоид (см. табл. 1), установим круг подлежащих рассмотрению вариантов построения взаимно сопряженных образующих:

1) первообразной кривой в виде «чистой» гипоциклоиды и производной* от нее — «перенесенной**» гипоциклоиды;

2) первообразной эпициклоиды и производной от нее перенесенной эпициклоиды аналогично п. 1;

3) чередующихся перенесенных кривых.

Визуальное моделирование вариантов построения № 1–3 при ближайшем рассмотрении не выявило нарушения ими постоянства круговой взаимной сопряженности. Докажем этот факт теоретически.

Составим таблицы формул для построения сопряженных кривых по вариантам № 1–3, реализующих перенос построения первообразных кривых при построении производных (табл. 2, 3).

Таблица 2

Построение первообразной и производной сопряженных гипоциклоид (вариант № 1)

Параметр	Внутренняя гипоциклоида	Наружная гипоциклоида
Количество лепестков (задается)	n_1	$n_2 = n_1 + 1$
Радиус базовой окружности (задается)	R_1	$R_2 = R_1 n_2 / n_1$
Радиус несущей сферы (задается)	R	
Радиус производящей окружности	—	$R_{X_2} = R_1$
Угол базового конуса	—	$\lambda_2 = 2 \arcsin(R_2 / R)$
Угол производящего конуса	—	$\lambda_{X_2} = 2 \arcsin(R_1 / R)$
Угол прецессии	$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = (\lambda_2 - \lambda_{X_2}) / 2$	
Производящий вектор	$V_{X_1}(t) = V_{G_2}(t)$	$V_{X_2} = \begin{pmatrix} R \cos(\lambda_{X_2} / 2) \\ 0 \\ R \sin(\lambda_{X_2} / 2) \end{pmatrix}$
Тензор производящего вектора	$M_{X_2}(t) = P_T(\alpha, (n_2 - 1)t / n_2) R_{cw}(t / n_2), t \in 0, \dots, 2\pi;$ $M_{X_1}(t) = P_B(\alpha, -t / n_1) R_{cw}(t / (n_1 n_2)), t \in 0, \dots, 2\pi$	
Параметрический радиус-вектор кривой	$V_{G_2}(t) = M_{X_2}(t)V_{X_2};$ $V_{G_1}(t) = M_{X_1}(t)V_{G_2}(t) = M_{X_1}(t)M_{X_2}(t)V_{X_2}$	

* В контексте данной работы смысловое значение определений «первообразной кривой» и «производной кривой» принципиально отличается от используемых в дифференциальном, интегральном исчислениях и математическом анализе терминов «первообразная функция» и «производная функция».

** В данном случае термин «перенесенный» означает, что производная кривая строится посредством «переноса» (или транспозиции) процесса построения первообразной кривой в пространство производной. При этом осуществляется построение первообразной кривой внутри некоторой подвижной системы координат, привязанной к базовому конусу первообразной кривой, который сопряженно перекачивается внутри (или вокруг — в зависимости от варианта построения) базового конуса производной кривой. При этом происходит как бы одновременное построение обеих кривых одной и той же производящей точкой в двух системах координат, одна из которых совершает сопряженное движение относительно неподвижной.

Если принять во внимание, что построение каждой кривой осуществляется поворотным «клонированием» исходных составляющих кривых, а также учитывая необходимость переносного построения, целесообразно нормализовать коэффициенты перед параметрическим аргументом таким образом, чтобы за одно приращение аргумента на 2π осуществлялось построение одного лепестка искомой составляющей. Далее для удобства идентификации параметры, относящиеся к внутреннему сопряженному профилю, обозначены индексом «1»,

к наружному сопряженному профилю — индексом «2».

Вариант № 3 построения сопряженных кривых может быть реализован четырьмя способами, представленными в табл. 4. Очевидно, что оптимальными для построения являются способы № 1 и 2.

Вариант № 3 построения сопряженных кривых в данной работе реализуется по способу № 1 (см. табл. 4), в качестве первообразной выбрана эпициклоида внутренней кривой (табл. 5).

Таблица 3

Построение первообразной и производной сопряженных эпициклоид (вариант № 2)

Параметр	Внутренняя эпициклоида	Наружная эпициклоида
Количество лепестков (задается)	n_1	$n_2 = n_1 + 1$
Радиус базовой окружности (задается)	R_1	$R_2 = R_1 n_2 / n_1$
Радиус несущей сферы (задается)	R	
Радиус производящей окружности	$R_{X_1} = R_2$	—
Угол базового конуса	$\lambda_1 = 2 \arcsin(R_1 / R)$	—
Угол производящего конуса	$\lambda_{X_1} = 2 \arcsin(R_2 / R)$	—
Угол прецессии	$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = (\lambda_{X_1} - \lambda_1) / 2$	
Производящий вектор	$V_{X_1} = \begin{pmatrix} R \cos(\lambda_{X_1} / 2) \\ 0 \\ R \sin(\lambda_{X_1} / 2) \end{pmatrix}$	$V_{X_2}(t) = V_{E_1}(t)$
Производящий тензор	$M_{X_1}(t) = P_B \left(\alpha, \frac{n_1 + 1}{n_1} t \right) R_{\text{ccw}} \left(\frac{t}{n_1} \right); t \in 0, \dots, 2\pi;$ $M_{X_2}(t) = P_B \left(\alpha, \frac{1}{n_2} t \right) R_{\text{ccw}} \left(\frac{t}{n_1 n_2} \right), t \in 0, \dots, 2\pi$	
Параметрический радиус-вектор кривой	$V_{E_1}(t) = M_{X_1}(t) V_{X_1};$ $V_{E_2}(t) = M_{X_2}(t) V_{E_1}(t) = M_{X_2}(t) M_{X_1}(t) V_{X_1}$	

Таблица 4

Способы последовательностей построения чередующихся перенесенных сферических кривых

Номер способа	Первообразная	Производная		
		первая	вторая	третья
1	Внутренняя эпициклоида	Наружная эпициклоида, наружная гипоциклоида	Внутренняя гипоциклоида	—
2	Наружная гипоциклоида	Внутренняя гипоциклоида, внутренняя эпициклоида	Наружная эпициклоида	—
3	Наружная эпициклоида	Внутренняя эпициклоида	Наружная гипоциклоида	Внутренняя гипоциклоида
4	Внутренняя гипоциклоида	Наружная гипоциклоида	Внутренняя эпициклоида	Наружная эпициклоида

Таблица 5

Построение первообразной эпициклоиды для чередующихся перенесенных кривых (вариант № 3)

Параметр	Определение параметра
Количество лепестков внутренней гипоциклоиды (задается)	n_1
Радиус базовой окружности (задается)	R_1
Радиус несущей сферы (задается)	R
Доля эпициклоиды в периоде (задается)	Ω
Радиус производящей окружности	$R_{XE_1} = R_1 \left(\frac{n_1 + \Omega}{n_1} \right)$
Угол базового конуса	$\lambda_1 = 2 \arcsin(R_1/R)$
Угол производящего конуса	$\lambda_{XE_1} = 2 \arcsin(R_{XE_1}/R)$
Угол прецессии	$\alpha_{E_1} = \frac{\lambda_{XE_1} - \lambda_1}{2}$
Производящий вектор	$V_{XE_1} = \begin{pmatrix} R \cos(\lambda_{XE_1}/2) \\ 0 \\ R \sin(\lambda_{XE_1}/2) \end{pmatrix}$
Тензор производящего вектора внутренней эпициклоиды (первообразной)	$M_{XE_1}(t) = P_B \left(\alpha_{E_1}, \left(1 + \frac{\Omega}{n_1} \right) t \right) R_{ccw} \left(\frac{\Omega}{n_1} t \right), t \in 0, \dots, 2\pi$
Уравнение внутренней эпициклоиды (первообразной)	$V_{E_1}(t) = M_{XE_1}(t) V_{XE_1}$
Тензор производящего вектора наружной гипоциклоиды (производной кривой 1-го порядка)	$M_{XG_2}(t) = P_B \left(\alpha, \frac{n_1 + \Omega}{n_2} t \right) R_{ccw} \left(\frac{n_1 + \Omega}{n_1 n_2} t \right), t \in 0, \dots, 2\pi$
Уравнение наружной гипоциклоиды (производной кривой 1-го порядка)	$V_{G_2}(t) = M_{XG_2}(t) V_{E_1}(t)$
Тензор производящего вектора наружной эпициклоиды (производной кривой 1-го порядка)	$M_{XE_2}(t) = P_T \left(\alpha, \frac{\Omega}{n_2} t \right) R_{cw} \left(\frac{\Omega}{n_1 n_2} t \right), t \in 0, \dots, 2\pi$
Уравнение наружной эпициклоиды (производной кривой 1-го порядка)	$V_{E_2}(t) = M_{XE_2}(t) V_{E_1}(t)$
Тензор производящего вектора внутренней гипоциклоиды (производной кривой 2-го порядка)	$M_{XG_1}(t) = P_B \left(\alpha, -\frac{1 - \Omega}{n_1} t \right) R_{cw} \left(\frac{1 - \Omega}{n_1 n_2} t \right), t \in 0, \dots, 2\pi$
Уравнение внутренней эпициклоиды (производной кривой 2-го порядка)	$V_{G_1}(t) = M_{XG_1}(t) V_{G_2}(t)$

Алгоритм построения сопряженной пары, представленный в табл. 5, для $n_1 = 1, n_2 = 2; \Omega = 0,6$ показан на рис. 5.

Следует отметить, что в табл. 2–5 приведен неполный перечень найденных решений. Интересны реализации сопряженных профилей в виде сферических эквидистант к гипоциклоидальным кривым и несферический уплощенный вариант геометрии [3]. Также представляется возможной и перспективной для дальней-

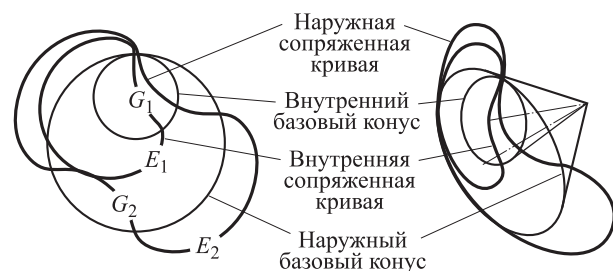


Рис. 5. Пример сферических сопряженных профилей для $n_1 = 1, n_2 = 2, \Omega = 0,6$

ших исследований реализация гипотрохоидной конусно-винтовой геометрии.

Пример сферически эквидистантных конусно-винтовых не эластичных рабочих элементов представлен на рис. 6.

Практическая реализация компоновки конических винтовых героторных устройств в настоящее время осуществлена в виде изготовленной на 3D принтере физической модели из гипса сферически эквидистантных конусно-винтовых не эластичных рабочих элементов, представленной на рис. 6. Компьютерное моделирование и физическая модель свидетельствуют об отсутствии размыкания и взаимного пересечения сопряженных образующих профилей, что позволяет на базе разработанного математического аппарата рассчитывать различные варианты конусно-винтовой геометрии и на ее основе изготавливать широкий класс новых устройств объемного принципа действия в областях машиностроения, связанных с производством компрессоров, экспандеров и двигателей.

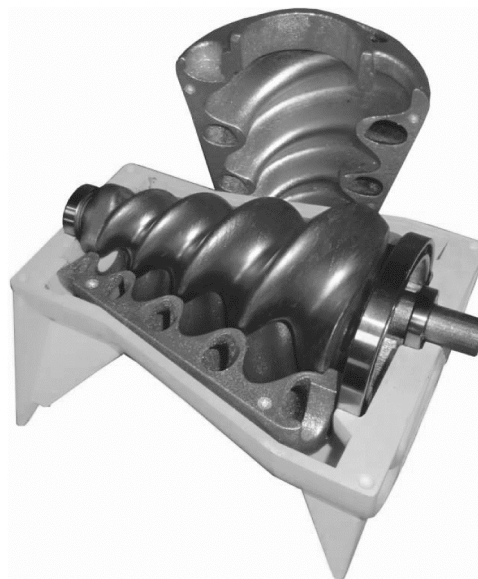


Рис. 6. 3D-модель конусно-винтовых рабочих элементов для $n_1 = 2$, $n_2 = 3$

Литература

- [1] Moineau R.J.L. *Gear Mechanism*. Patent US no. 1892217, 1932.
- [2] Niels Aage John Donaldson, Yuyang Feng, Yves van Gennip, Helge Grann, Jens Gravesen, Andriy Hlod, Troels Steenstrup, Jensen, Anders Astrup Larsen, Kamyar Malakpoor, Steen Markvorsen, David Moreno, Jos in 't panhuis, Peter in 't panhuis, Peter Roggen, Erwi Mathematical problems for Moineau pumps. *Europe an Study Group Mathematics with Industry*, Lyngby, Denmark, 2006. 48 p.
- [3] Arnold Felix Michael. *Rotary piston machine having cycloid teeth*. Patent US no. 6494698, 2002.
- [4] Айметдинов Б.И. *Роторный конусно-винтовой двигатель*. Пат. РФ № 2377414, F01C, 2007.
- [5] Седунов И.П. *Роторно-волновой двигатель*. Пат. РФ № 2155272, С1, 2000.
- [6] Выгодский М.Я. *Справочник по высшей математике*. Москва, АСТ: Астрель, 2006. 991 с.
- [7] Шафаревич И.Р., Ремизов А.О. *Линейная алгебра и геометрия*. Москва, Физматлит, 2009. 513 с.

References

- [1] Moineau R.J.L. *Gear Mechanism*. Patent US no. 1892217, 1932.
- [2] Niels Aage John Donaldson, Yuyang Feng, Yves van Gennip, Helge Grann, Jens Gravesen, Andriy Hlod, Troels Steenstrup, Jensen, Anders Astrup Larsen, Kamyar Malakpoor, Steen Markvorsen, David Moreno, Jos in 't panhuis, Peter in 't panhuis, Peter Roggen, Erwi Mathematical problems for Moineau pumps. *Europe an Study Group Mathematics with Industry*, Lyngby, Denmark, 2006. 48 p.
- [3] Arnold Felix Michael. *Rotary piston machine having cycloid teeth*. Patent US no. 6494698, 2002.
- [4] Aimetdinov B.I. *Rotorny konusno-vintovoi dvigatel'* [Rotary cone-screw motor]. Patent RF no. 2377414, F01C, 2007.
- [5] Sedunov I.P. *Rotorno-volnovoi dvigatel'* [Rotary-wave engine]. Patent RF no. 2155272, S1, 2000.
- [6] Vygodskii M.Ia. *Spravochnik po vysshei matematike* [Handbook of higher mathematics]. Moscow, AST: Astrel' publ., 2006. 991 p.
- [7] Shafarevich I.R., Remizov A.O. *Lineinaia algebra i geometriia* [Linear algebra and geometry]. Moscow, Fizmatlit publ., 2009. 512 p.

Статья поступила в редакцию 17.04.2014

Информация об авторах

АЙМЕТДИНОВ Булат Илдарович (Тюмень) — аспирант кафедры «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности». Тюменский государственный нефтегазовый университет (625000, Тюменская область, Тюмень, Российская Федерация, Володарского ул., д. 38, e-mail: bulagen@mail.ru).

СЫЗРАНЦЕВ Владимир Николаевич (Тюмень) — доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности». Тюменский государственный нефтегазовый университет (625000, Тюменская область, Тюмень, Российская Федерация, Володарского ул., д. 38, e-mail: v_syzrantsev@mail.ru).

ЧЕРНАЯ Людмила Александровна (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория механизмов и машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: ChernayaLA@yandex.ru).

Information about the authors

AYMETDINOV Bulat Ildarovich (Tyumen) — Post-Graduate of «Machines and equipment of oil and gas industry» Department. Tyumen State Oil and Gas University (TSOGU, Volodarskogo str., 38, 625000, Tyumen, Russian Federation, e-mail: bulagen@mail.ru).

SYZRANTSEV Vladimir Nikolaevich (Tyumen) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of «Machinery and Equipment of Oil and Gas Industry» Department. Tyumen State Oil and Gas University (TSOGU, Volodarskogo str., 38, 625000, Tyumen, Russian Federation, e-mail: v_syzrantsev@mail.ru).

CHERNAYA Lyudmila Aleksandrovna (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Theory of Mechanisms and Machines» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: ChernayaLA@yandex.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие в 2-х томах

А.Л. Воронцова «Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением»

В первом томе учебного пособия изложены теория процессов обработки металлов давлением и результаты теоретических и экспериментальных исследований различных операций. Приведены формулы и методы расчета основных технологических параметров с учетом исходной анизотропии свойств штампуемого материала, деформационной анизотропии, упрочнения, а также упругих деформаций формообразующего инструмента. Уточнены важные положения теории обработки металлов давлением, относящиеся к кривым упрочнения, а также к учету влияния масштаба обрабатываемой заготовки, скорости деформации и температурного эффекта. Рассмотрены теоретические методы прогнозирования разрушения заготовки и анализа распределения волокон структуры в получаемых изделиях, образования утяжин и застойных зон.

Во втором томе учебного пособия рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов комбинированного выдавливания, радиального выдавливания, выдавливания с комбинированным нагружением, осадки, высадки, прошивки, вытяжки с утонением стенки, контурной осадки, калибровки, закрытой объемной штамповки, чеканки, формовки, секционной штамповки, дорнования, а также специальные операции гибки волокнистых композиционных материалов, сжатия порошковых заготовок в закрытой матрице и осадки малоластичных материалов в оболочках. Приведены формулы и методы расчета основных технологических параметров различных способов волочения труб и прутков. Изложен метод функции напряжений.

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