

DOI: 10.53078/20778481\_2022\_3\_69

УДК 621.9.042

*С. Г. Полторацкий, В. М. Шеменков*

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ТИПА TORX И КОНТУРОВ СТАТОРА РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

*S. G. Paltaratski, V. M. Shemenkov*

## THEORETICAL MODEL FOR PRODUCING TORX TYPE HOLES AND STATOR CONTOURS OF A ROTARY PISTON ENGINE

### Аннотация

Представлены теоретические основы и методика формирования отверстий типа TORX и контуров статора роторно-поршневого двигателя.

### Ключевые слова:

TORX, статор, роторно-поршневой двигатель, осевой инструмент, траектория, Ванкель.

### Для цитирования:

Полторацкий, С. Г. Теоретическая модель получения отверстий типа TORX и контуров статора роторно-поршневого двигателя / С. Г. Полторацкий, В. М. Шеменков // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 3 (76). – С. 69–76.

### Abstract

Theoretical foundations and methods for forming TORX holes and stator contours of a rotary piston engine are presented.

### Keywords:

TORX, stator, rotary piston engine, rotary cutting tools, trajectory, Wankel.

### For citation:

Paltaratski, S. G. Theoretical model for producing TORX type holes and stator contours of a rotary piston engine / S. G. Paltaratski, V. M. Shemenkov // The Belarusian-Russian university herald. – 2022. – № 3 (76). – P. 69–76.

### Введение

В настоящее время зарубежные и отечественные производители выпускают широкую гамму инструментов для обработки отверстий. Отечественный инструмент, изготовленный в соответствии с ГОСТом, занимает определенную нишу на рынке металлорежущего инструмента стран ЕАЭС в связи с тем, что это, во-первых, качественный инструмент, во-вторых, он совместим не только со старым советским, но и с российским, белорусским

и большинством моделей импортного оборудования и, в-третьих, имеет невысокую стоимость [2–4].

При рассверливании, зенкерования и развертывании отверстий концевым инструментом на станках, как правило, для каждого отверстия в соответствии с требованиями технической документации необходим соответствующий инструмент, что увеличивает номенклатуру применяемого инструмента. Кроме этого, изменение геометрии режущих лезвий при износе и последующей заточке концевого инструмента

значительно влияет на геометрию формируемого отверстия и смещение его оси [5–7]. В отличие от концевого инструмента, расточные резцы универсальные, т. е. способны обработать определенный диапазон размеров отверстий. Вместе с тем с их помощью можно более точно обработать отверстие за счет того, что они являются более жестким инструментом.

Однако существует возможность разработки новых конструкций инструмента на основе отечественного, изготовленного по ГОСТу, с целью уменьшения упругого смещения вершины режущей кромки и, соответственно, с лучшей жесткостью, чем стандартный.

Кроме того, весь вышеперечисленный режущий инструмент предназначен для обработки цилиндрических отверстий и совсем не подходит для гранных. В результате в последнее время особое внимание уделяется разработке универсального инструмента, при

помощи которого возможно получение отверстий любой гранности и любого периодического профиля.

Далее приведены результаты моделирования процесса получения универсальным каплевидным осевым режущим инструментом, наиболее интересным с точки зрения прикладной математики, отверстий типа TORX и контуров статора роторно-поршневого двигателя.

### *Теоретическая модель получения отверстий типа TORX*

TORX – вид углубления в головке резьбовых крепежных изделий в форме шестилучевой звезды с закругленными лучами (рис. 1). Официальное название в зарубежном варианте – hexalobular internal [1]; в российском варианте – углубление звездообразное под ключ для болтов и винтов [2].

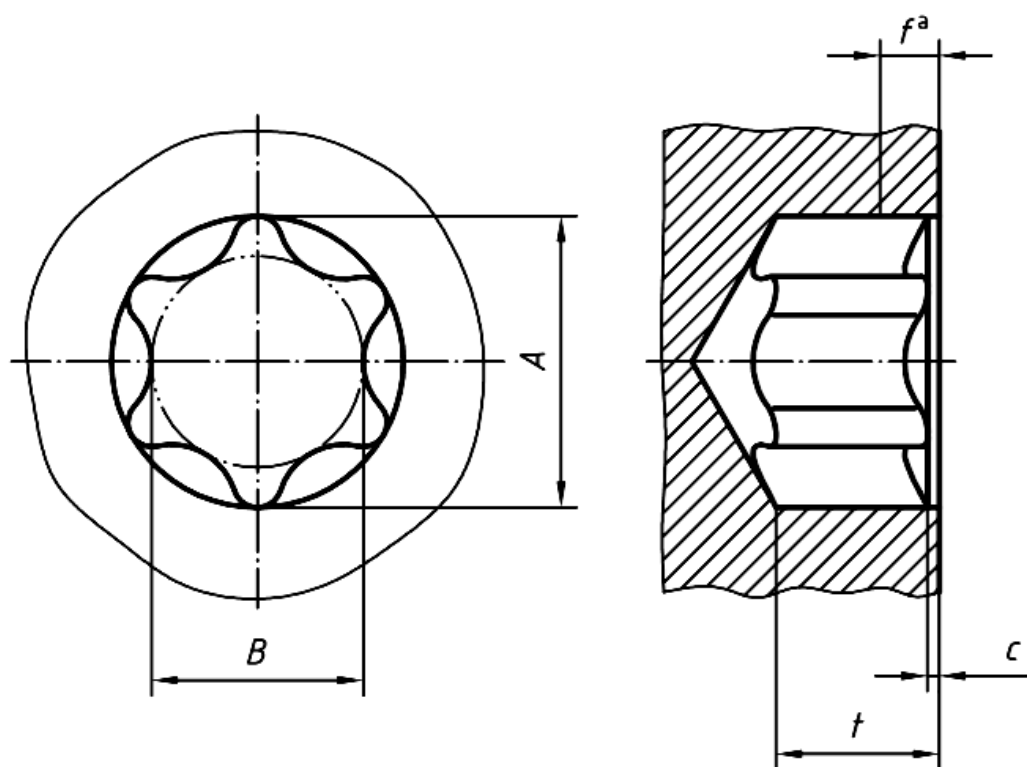


Рис. 1. Отверстие с профилем TORX

Классический способ получения таких отверстий заключается в прошивании фигурными прошивками на специализированном оборудовании. Недостатками этого метода является необходимость предварительного получения в заготовке круглого отверстия, наличие дорогостоящего специализированного оборудования с возможностью совершения больших осевых усилий [3].

Теоретически можно предложить новый способ получения таких отвер-

стий, формируемых осевым лезвийным инструментом, работающим по принципу обкатывания.

Главной особенностью данной обработки является то, что, помимо вращения инструмента вокруг своей оси и продольного перемещения вдоль своей оси по направлению к обрабатываемой поверхности, центр инструмента перемещается по определенной траектории (рис. 2).

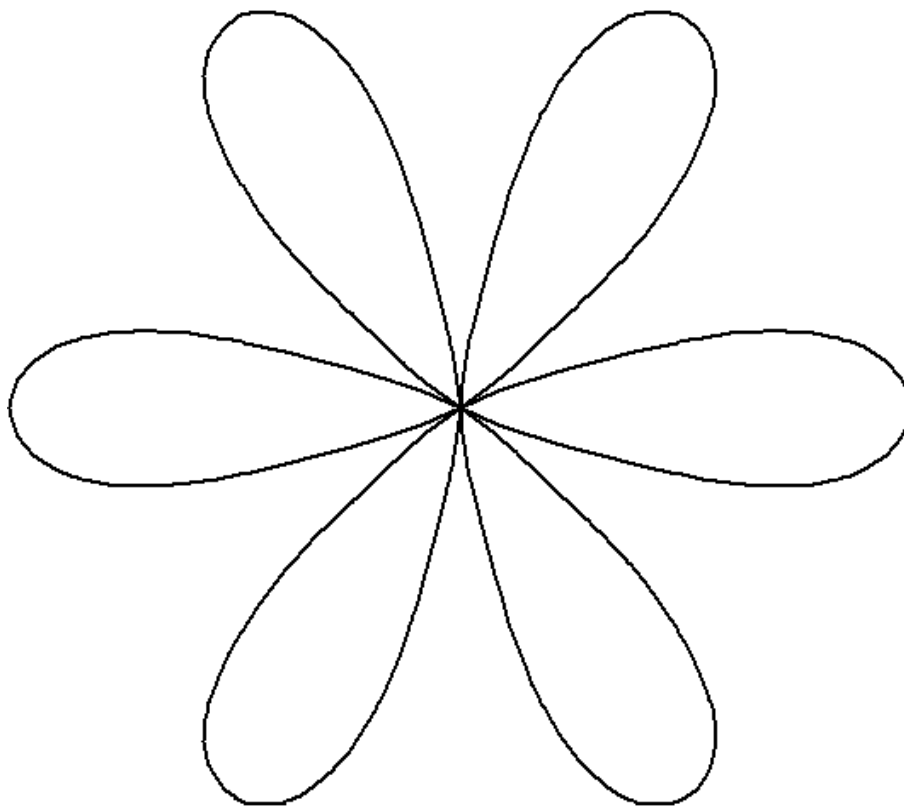


Рис. 2. Теоретическая траектория перемещения инструмента при обработке профиля TORX

Данная траектория похожа на геометрические фигуры, называемые «розы Гранди» [4] в честь итальянского математика Гранди Луиджи Гвидо. Математически эту фигуру можно описать с помощью параметрического уравнения

$$\begin{cases} X(\varphi) = (R \cdot \cos(k \cdot \varphi) + R) \cdot \cos(\varphi); \\ Y(\varphi) = (R \cdot \cos(k \cdot \varphi) + R) \cdot \sin(\varphi), \end{cases} \quad (1)$$

где  $R$  – радиус розы Гранди,  $R = 0,4 B$ ;  $k$  – количество лепестков розы,  $k = 6$ .

Данным уравнением можно описать лишь приближенную к истине траекторию.

Инструмент для такой обработки будет иметь форму капли (рис. 3). Такую же форму имел инструмент для обработки гранных отверстий.

Таким образом, теоретический процесс обработки отверстий типа TORX

можно представить на рис. 4.

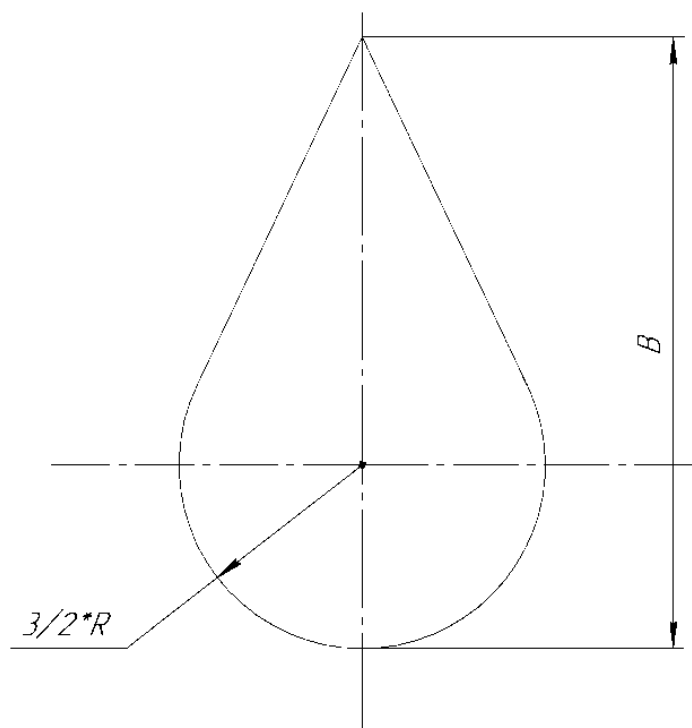


Рис. 3. Форма инструмента для формирования отверстий типа TORX

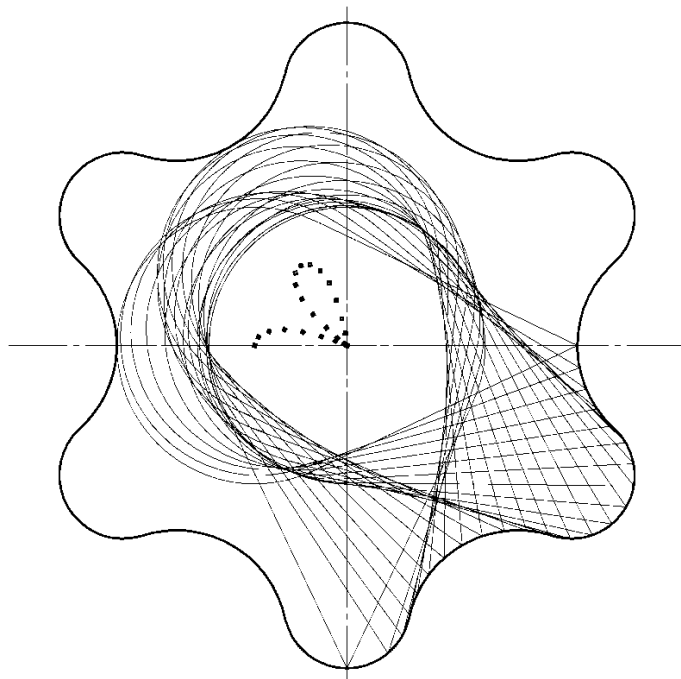


Рис. 4. Теоретический процесс обработки отверстий типа TORX

### Теоретическая модель получения контуров статора роторно-поршневого двигателя

Роторно-поршневой двигатель (РПД), или двигатель Ванкеля (рис. 5), – это двигатель внутреннего сгорания, разработанный Феликсом Ванкелем в 1957 г. в соавторстве с Вальтером Фройде [5].

В РПД весь рабочий процесс – газообмен, сжатие, расширение рабочего тела осуществляется при изменении объемов полостей, которые образуются между корпусом (статором) и ротором треугольной формы, совершающим сложное планетарное движение, которое рассматривается как абсолютное вращение по отношению к неподвижным осям координат [6, 7].

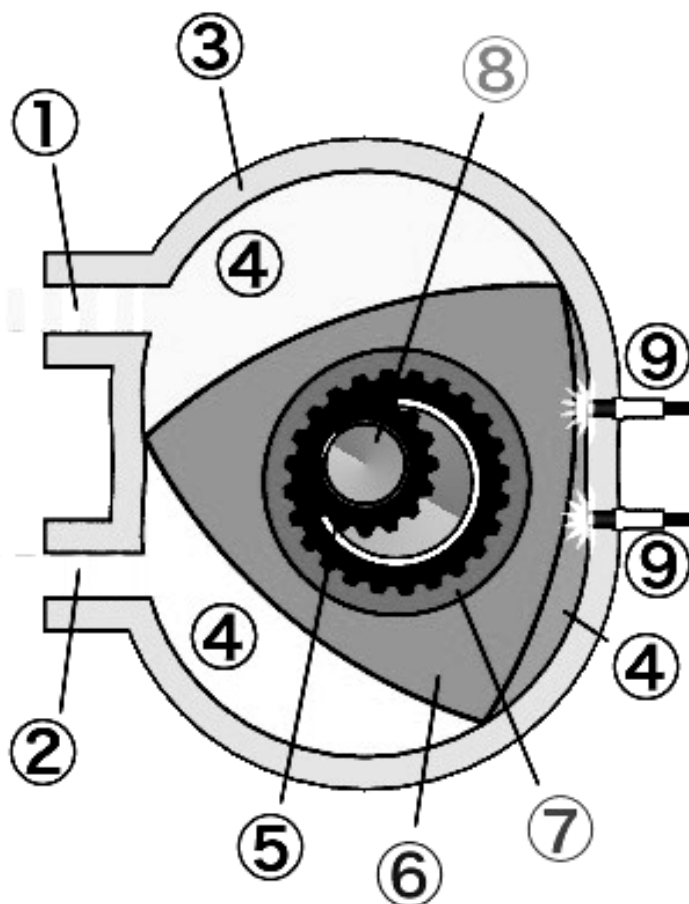


Рис. 5. Схема роторно-поршневого двигателя: 1 – впускное окно; 2 – выпускное окно; 3 – корпус; 4 – камера сгорания; 5 – неподвижная шестерня; 6 – ротор; 7 – подвижное зубчатое колесо; 8 – вал; 9 – свеча зажигания

Трехгранный ротор вращается внутри цилиндра специального профиля, поверхность которого выполнена по особой математической кривой – эпитрохоиде (рис. 6). Именно эта кривая с точки зрения ее применения в автомобилестроении и стала объектом данного исследования.

Существующая технология получения специализированного профиля рабочего цилиндра роторно-поршневого двигателя характеризуется использованием специализированного технологического оборудования и высококвалифицированного производственного персонала.

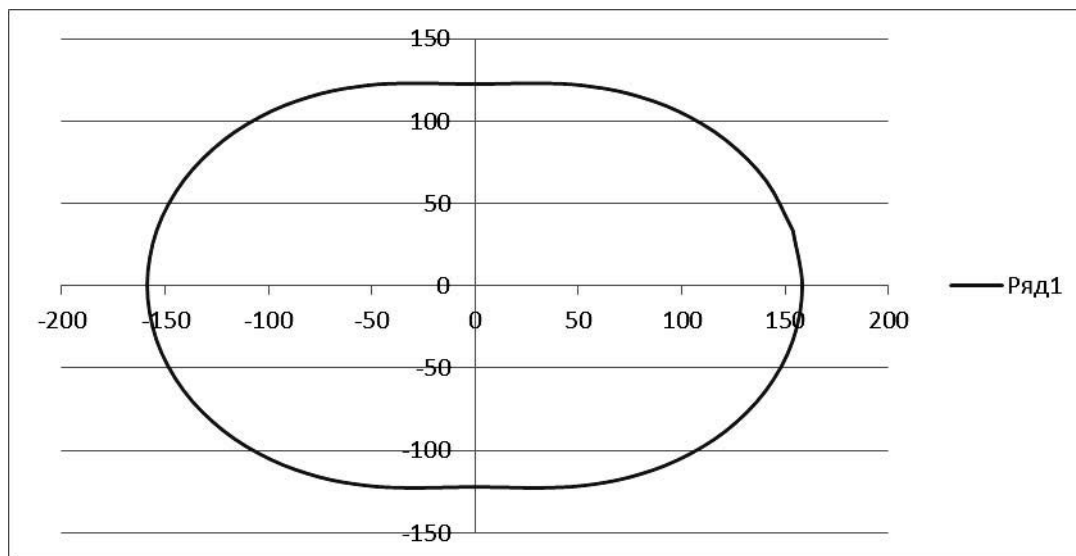


Рис. 6. Эпитрохоида

Как известно, на практике используются двигатели Ванкеля с трёхгранными роторами, в которых отношение радиусов подвижного зубчатого колеса  $R$  и неподвижной шестерни  $r$  рассматривается как  $3/2$ . При выборе радиусов синхронизирующих шестерён  $r$  и  $R$  с определённым эксцентриситетом ( $e = R - r$ ) необходимо учесть возможность прохода эксцентрикового вала отбора мощности через центральное отверстие малой неподвижной шестерни радиусом  $r$ .

Математически эту фигуру можно описать с помощью параметрического уравнения [8]

$$\begin{cases} X(\varphi) = (R-r) \cdot \cos(3\varphi) + R \cdot C \cdot \cos(\varphi); \\ Y(\varphi) = (R-r) \cdot \sin(3\varphi) + R \cdot C \cdot \sin(\varphi), \end{cases} \quad (2)$$

где  $R$  – радиус подвижного зубчатого колеса;  $r$  – радиус неподвижной шестерни;  $C$  – безразмерный параметр, определяющий размеры двигателя,  $C = 2,1 \dots 2,7$  [9].

Проанализировав форму статора и методы его получения, можно предложить способ получения такой поверхности осевым лезвийным инструментом, работающим по принципу обкатывания.

Для этого необходимо сделать инструмент такой же формы, что и ротор двигателя. Такая фигура в математике называется «треугольник Рёло» и относится к фигурам постоянной ширины. Этот же инструмент использовался для формирования гранных отверстий (рис. 7).

Траекторией при данной обработке будет простая окружность, имеющая радиус  $e = R - r$ . Параметрическое уравнение такой окружности

$$\begin{cases} X(\varphi) = e \cdot \sin(\varphi); \\ Y(\varphi) = e \cdot \cos(\varphi). \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, теоретический процесс формирования контура статора РПД методом обкатывания специальным каплевидным осевым инструментом можно представить на рис. 8.

Еще одним отличием данной обработки будет количество полных проходов по траектории для формирования полного профиля вершиной инструмента. Так как инструмент имеет один выпуклый режущий зуб, формирующий контур эпитрохоиды, то инструменту необходимо сделать три полных прохода по траектории.

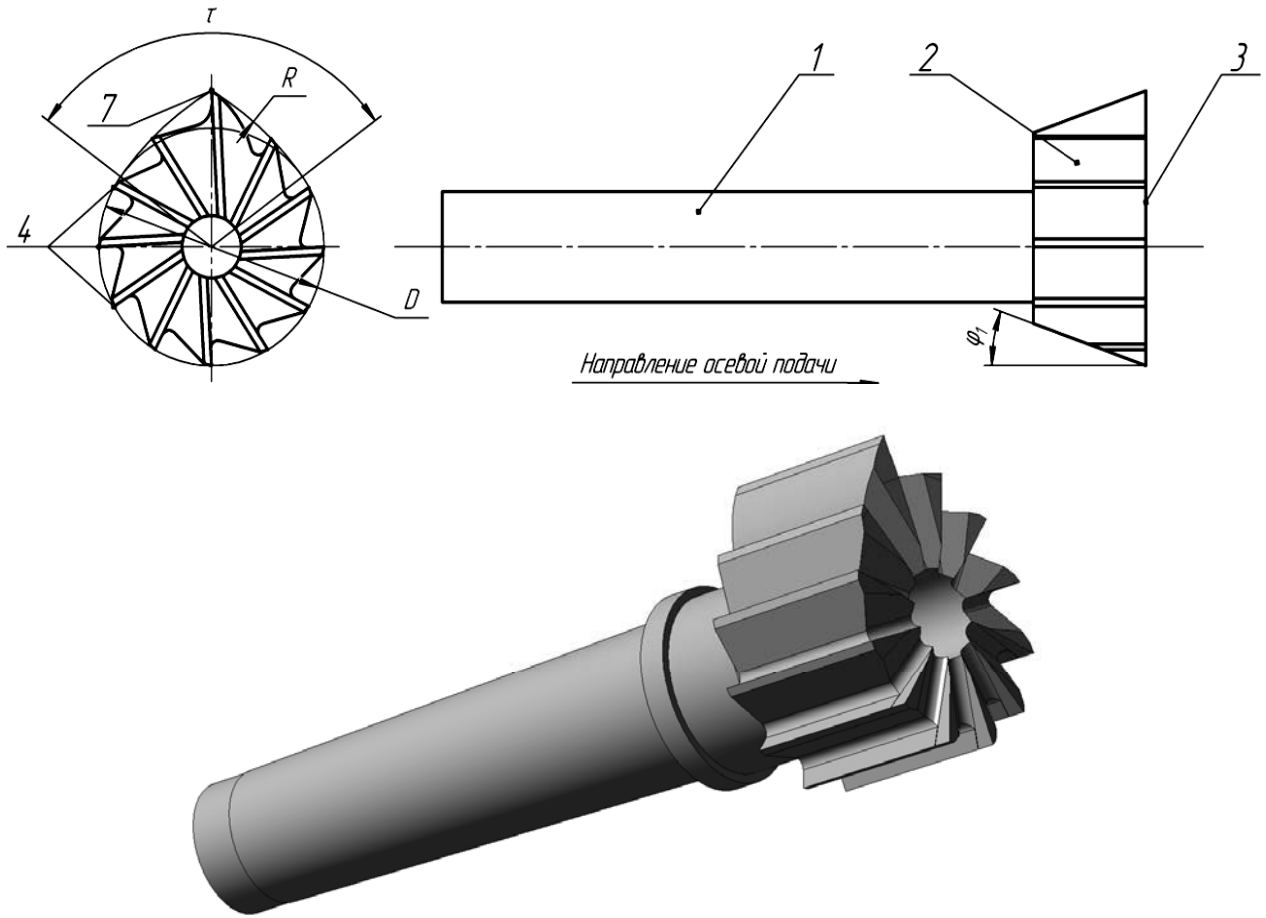


Рис. 7. Инструмент для формирования контура статора роторно-поршневого двигателя

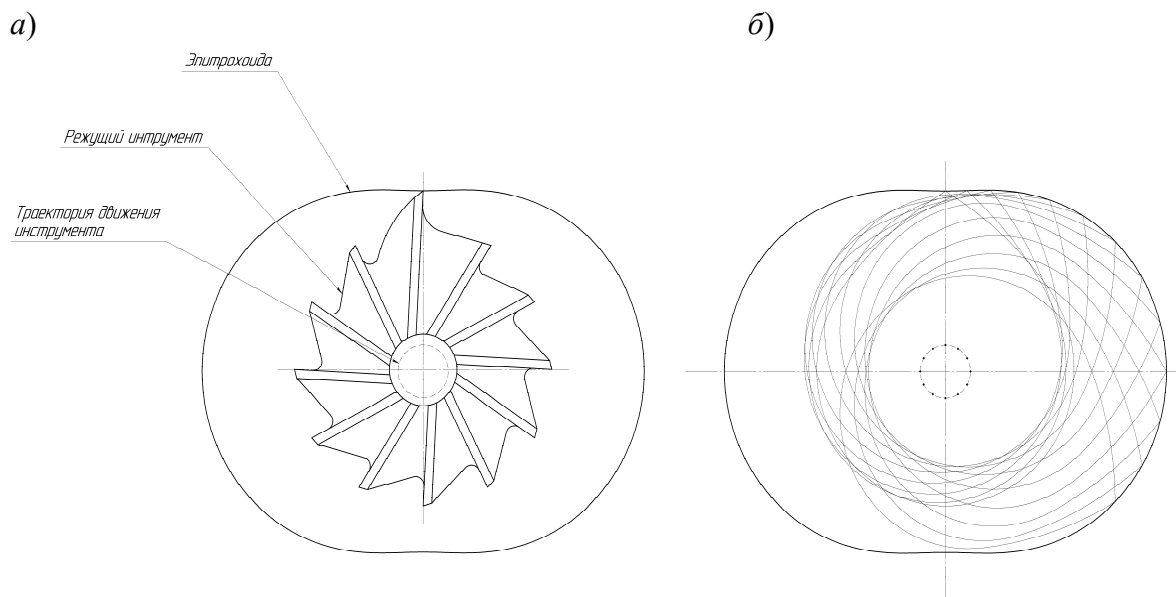


Рис. 8. Формирование контура статора РПД: а – начальное положение инструмента относительно эпитрокоиды; б – процесс обработки

Как видно из схемы обработки, представленной на рис. 8, получение эпитрохоиды статора двигателя можно осуществлять и на фрезерном станке с ЧПУ.

### **Заключение**

Существующие методы получения отверстий с периодическим профилем типа TORX и профилем в виде эпитрохоиды требуют использования специализированного оборудования, дорого-

стоящего инструмента и предварительной подготовки отверстий.

Предложенный вариант получения специфических отверстий каплевидным осевым режущим инструментом имеет преимущество, заключающееся в универсальности получения отверстий любой гранности и с любым периодическим профилем одним и тем же инструментом с использованием классических станков с ЧПУ.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Hexalobular internal driving feature for bolts and screws [Electronic resource]. – Mode of access: [https://willrich.com/wp-content/uploads/2017/11/ISO-10664\\_.pdf](https://willrich.com/wp-content/uploads/2017/11/ISO-10664_.pdf). – Date of access: 01.09.2021.
2. **ГОСТ Р ИСО 10664–2007.** Углубление звездообразное под ключ для болтов и винтов. – Москва: Изд-во стандартов, 2009. – 11 с.
3. **Полторацкий С. Г.** Основные способы получения гранных отверстий в современном машиностроении / С. Г. Полторацкий, В. М. Шеменков // Менеджмент качества производственных, социально-экономических и технических систем: развитие и совершенствование. – Брянск: БГТУ, 2022. – 260 с.
4. **Гильберт, Д.** Наглядная геометрия / Д. Гильберт, С. Кон-Фоссен. – Москва: Наука, 1981. – 410 с.
5. Альтернативные двигатели внутреннего сгорания / А. Е. Ломовских [и др.] // Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения: сб. тр. конф. – Мичуринск, 2017. – С. 322–329.
6. Введение в специальность: методические указания к практическим работам по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Сост. Ю. П. Макушев, А. А. Скок. – Омск: СибАДИ, 2008. – 48 с.
7. Интегральные и дифференциальные исчисления в приложении к технике: монография / Ю. П. Макушев [и др.]; под ред. Ю. П. Макушева. – Павлодар: Кереку, 2013. – 330 с.
8. **Косенок, Б. Б.** Кинематический и динамический анализ основного механизма двигателя Ванкеля на основе его векторной модели / Б. Б. Косенок // Вестн. Самарского гос. аэрокосмического ун-та. – 2011. – № 1 (25). – С. 69–75.
9. **Ханин, Н. С.** Автомобильные роторно-поршневые двигатели / Н. С. Ханин, С. Б. Чистозвонов. – Москва: Машгиз, 1964. – 184 с.

*Статья сдана в редакцию 15 июня 2022 года*

**Сергей Григорьевич Полторацкий**, аспирант, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-336-27-57-38. E-mail: poltos17@gmail.com.

**Владимир Михайлович Шеменков**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-447-40-06-64. E-mail: VShemenkov@yandex.ru.

**Siarhei Grigorevich Paltaratski**, PhD student, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-336-27-57-38. E-mail: poltos17@gmail.com.

**Vladimir Mikhailovich Shemenkov**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-447-40-06-64. E-mail: VShemenkov@yandex.ru.