

### Список литературы

1. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач / И. А. Болотовский [и др.] ; под ред. И. А. Болотовского. – 2-е изд. – М. : Машиностроение, 1986. – 448 с.

2. Гольдфарб В. И., Ткачев А. А. Проектирование эвольвентных цилиндрических передач. Новый подход. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2004. – 94 с.

3. Громан М. Б. О блокирующих контурах эвольвентного зацепления // Вестник машиностроения. – 1962. – № 12. – С. 12–17.

A. A. Tkachev, Candidate of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University

### Educational Version of CAD-System for Spur and Helical Gears

The article describes the main principles of application of CAD-system for spur and helical gears in educational process. The system has been created on the base of an original conception and allows making the process of computerized gear design much more effective. Some features of the system increasing the understanding of the material being studied and the quality of educational process are also described.

**Key words:** gear, computerized design, blocking contour.

УДК 621.9.06-229

**Б. А. Сентяков**, доктор технических наук, профессор, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета

**Н. А. Тишкова**, аспирант, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета

## ВЫБОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО ЗАВИХРИТЕЛЯ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВИХРЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрены многофункциональные пневматические вихревые элементы и определены их основные геометрические параметры, методика их расчета. Методика расчета геометрических параметров шнекового завихрителя позволяет облегчить работу конструктора при выборе и проектировании многофункциональных пневматических вихревых элементов.

**Ключевые слова:** вихревой элемент, вращающийся шнек, диаметр, угол подъема винтовой линии.

Многофункциональные пневматические вихревые элементы, рассмотренные в работах [1, 2], предназначены для совершенствования станочных приспособлений, используемых на станках с программным управлением, работающих в условиях гибкого автоматизированного производства. Такие элементы, встроенные в конструкции стандартных опорных пластин или штыревых опор с плоской рабочей поверхностью, позволяют удалять с них перед установкой обрабатываемых деталей стружку закрученным потоком сжатого воздуха и проверять правильность базирования деталей в приспособлениях. Экспериментально доказано, что эффективность удаления стружки с установочных элементов повышается при использовании в конструкциях таких элементов свободно установленных и вращающихся при истечении из них потоков воздуха шнековых завихрителей.

Схема одного из вариантов многофункционального пневматического вихревого элемента показана на рис. 1. Элемент представляет собой стандартную штыревую опору 2 с плоской рабочей частью, в которой выполнена расточка диаметром 6...12 мм и два радиальных канала: к одному через радиальные каналы, выполненные в корпусе приспособления 1, подводится сжатый воздух давлением 0,01...0,1 МПа, а дру-

гой через дроссель 5 сообщен с атмосферой. В расточке свободно размещен шнековый завихритель 3 с кольцевой проточкой и цилиндрическим участком. В нижней части опоры размещен установочный винт 4, на который опирается завихритель. Полость А между нижним торцом завихрителя и установочным винтом соединен с прибором для измерения давления.

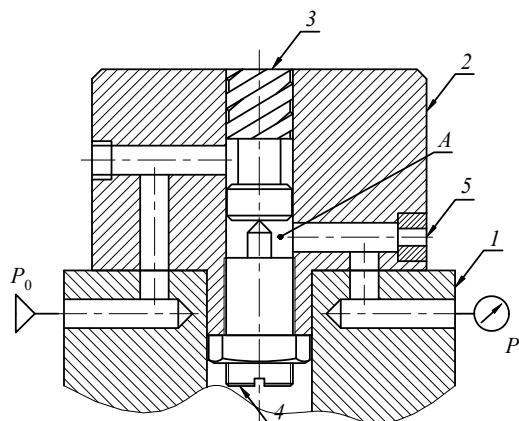


Рис. 1. Многофункциональный пневматический вихревой элемент: 1 – корпус приспособления; 2 – штыревая опора; 3 – шнековый завихритель; 4 – установочный винт; 5 – дроссель

Вихревой элемент работает следующим образом. После подключения питания элемента сжатым воздухом, последний, заполнив кольцевую проточку, через винтовые каналы завихрителя свободно истекает в атмосферу. При этом благодаря эффекту Коанда [3] струи, истекающие из каналов завихрителя, «прилипают» к рабочей поверхности штыревой опоры и, продолжая движение, удаляют с нее стружку (на схеме не показано). Под действием горизонтальных проекций реактивных сил, направленных тангенциально наружной поверхности завихрителя, последний вращается вокруг своей оси, создавая на поверхности опоры непрерывный веерный поток, обеспечивающий эффективное удаление с нее стружки. После установки на опору обрабатываемой детали, давление воздуха в полости *A* повышается. Это свидетельствует о правильном базировании детали в приспособлении.

При проектировании шнекового завихрителя для многофункциональных пневматических вихревых элементов требуется установить зависимости угла подъема винтовой линии шнека  $\gamma$  и площади сечения его каналов *s*, которые определяют эффективность работы таких элементов, от геометрических параметров резьбы, образующей эти каналы. Требуется также определить рациональную длину *L* резьбовой части завихрителя. Резьба шнека может быть нестандартной (прямоугольного сечения) или стандартной (трапецидальной сечения) по ГОСТ 24739–81 «Резьба трапецидальная многозаходная» с центральным углом профиля 30 град. Приемлемые для рассматриваемой задачи геометрические параметры стандартной трапецидальной резьбы, профиль которой показан на рис. 2, представлены в табл. 1. Заметим, что резьбы диаметром менее 10 мм стандартом не предусмотрено, а вихревой элемент с завихрителем, имеющим диаметр резьбы более 20 мм, в конструкциях станочных приспособлений неприемлем ввиду больших габаритов. Резьбы с числом заходов больше четырех не рассматриваются, потому что они имеют угол подъема винтовой линии больше угла, при котором обеспечивается «прилипание» струи воздуха, истекающего из каналов завихрителя к рабочей поверхности установочного элемента. А именно это явление обеспечивает возможность удаления стружки с поверхности установочного элемента.

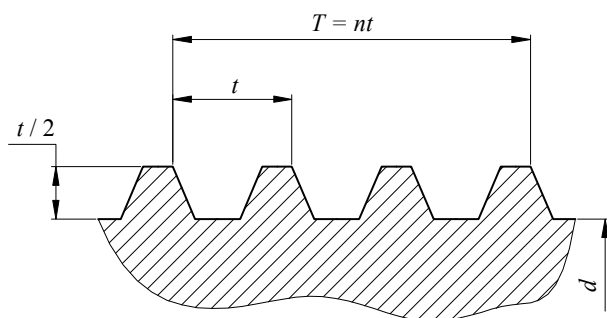


Рис. 2. Профиль трехзаходной трапецидальной резьбы шнекового завихрителя

Таблица 1. Параметры стандартной трапецидальной резьбы по ГОСТ 24739–81

Наружный диаметр <i>d</i> , мм	Шаг резьбы, <i>t</i> , мм	Число заходов, <i>n</i>		
		2	3	4
		Ход резьбы <i>T = nt</i> , мм		
10	1,5	3	4,5	6
	2	4	6	8
12	2	4	6	8
	3	6	9	12
16	2	4	6	8
	4	8	12	16
20	2	4	6	8
	4	8	12	16

Угол подъема винтовой линии шнека независимо от профиля резьбы определяется по формуле

$$\gamma = \arctg(T / \pi d). \quad (1)$$

Площадь сечения каждого канала, образованного внутренней поверхностью цилиндрической расточки и винтовыми канавками установленного в нее шнека с трапецидальной резьбой при глубине профиля в соответствии с ГОСТ 24739–81 равной половине шага резьбы *t*, определяется по формуле

$$s = t^2 / 4. \quad (2)$$

Длина каналов шнека *l<sub>k</sub>* для создания сформированного профиля скорости потока воздуха на выходе его в атмосферу должна составлять 4...6 диаметров *d<sub>y</sub>* его условного проходного сечения и определяется по известной из геометрии формуле

$$l_k = \sqrt{T^2 + \pi^2 d^2} \frac{L}{T}. \quad (3)$$

Выразив диаметр условного проходного сечения канала шнека через его площадь и приняв *l<sub>k</sub> / d<sub>y</sub> = 5*, имеем:

$$10 \sqrt{\frac{s}{\pi}} = \sqrt{T^2 + \pi^2 d^2} \frac{L}{T}, \quad (4)$$

откуда определяется длина резьбовой части завихрителя *L*:

$$L = 10T \sqrt{\frac{s}{\pi(T^2 + \pi^2 d^2)}}. \quad (5)$$

Результаты расчета угла подъема винтовой линии завихрителя, площади сечения его каналов и длины резьбовой части представлены в табл. 2. В обозначении резьбы, например Tr 10-4,5(P1,5)-7e, первое число – диаметр шнека в мм (10), второе число – ход резьбы (4,5), третье – шаг резьбы (1,5), четвертое – степень точности (7e).

Как следует из табл. 2, при использовании стандартной трапецидальной резьбы (рис. 2) для конструирования шнекового завихрителя площадь сечения его каналов весьма мала – при работе вихревого элемента это может приводить к засорению каналов и нарушению его работоспособности. Расчетные значения длины резьбовой части завихрителя *L* также

оказываются весьма малыми. При конструировании завихрителей возникает необходимость увеличения их длины по крайней мере до нескольких миллиметров. Это приведет к увеличению длины каналов завихрителя, повышению вероятности их засорения при недостаточном качестве очистки сжатого воздуха и увеличению сопротивления истечению струй воздуха, что снижает коэффициент полезного действия вихревого элемента.

Таблица 2. Геометрические параметры шнековых завихрителей с трапецидальной резьбой

Обозначение резьбы	Угол подъема винтовой линии $\gamma$ , град	Площадь сечения каналов $s$ , мм <sup>2</sup>	Длина резьбовой части завихрителя $L$ , мм
Tr 10-3(P1,5)-7e	6	0,56	1,26
Tr 10-4,5(P1,5)-7e	8	0,56	1,88
Tr 10-6(P1,5)-7e	11	0,56	2,49
Tr 10-4(P2)-7e	7	1,0	2,2
Tr 10-6(P2)-7e	11	1,0	3,3
Tr 10-8(P2)-7e	14	1,0	4,4
Tr 12-4(P2)-7e	6	1,0	1,9
Tr 12-6(P2)-7e	9	1,0	2,8
Tr 12-8(P2)-7e	12	1,0	3,7
Tr 12-6(P3)-7e	9	2,25	4,2
Tr 12-9(P3)-7e	14	2,25	6,2
Tr 12-12(P3)-7e	18	2,25	8,1
Tr 16-8(P4)-7e	9	4,0	5,57
Tr 16-12(P4)-7e	14	4,0	8,2
Tr 20-12(P4)-7e	11	4,0	6,65

Большую площадь сечения каналов при конструктивно приемлемых значениях длины резьбовой части завихрителя можно получить при использовании нестандартного профиля прямоугольного сечения с разными значениями ширины канавок и выступов, как показано на рис. 3. Глубина канавки может быть принята, по аналогии со стандарт-

ными резьбами, равной половине шага  $t$  резьбы. Ширина канавки  $a$  принимается больше, чем ширина выступа  $b$ . Минимальная ширина выступа может быть определена из условия прочности этого элемента резьбы при обработке завихрителя. В процессе вращения завихрителя под действием подводимого к вихревому элементу воздуха он не испытывает существенных напряжений, поэтому ширина выступа может быть принята конструктивно в пределах  $b = 0,6 \dots 2$  мм.

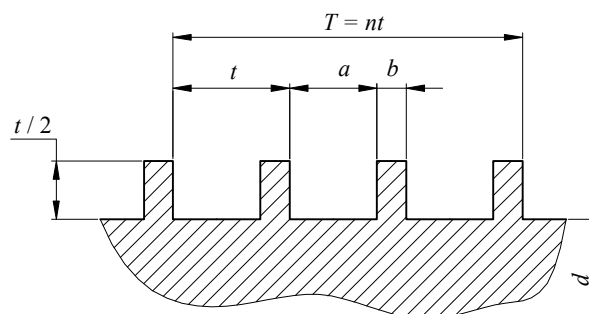


Рис. 3. Профиль трехзаходной прямоугольной резьбы шнекового завихрителя

Примеры результатов расчета геометрических параметров шнековых завихрителей с прямоугольным профилем резьбы представлены в табл. 3.

Экспериментальные исследования вихревого элемента с трехзаходным шнековым завихрителем диаметром 8,8 мм с указанными в табл. 3 расчетными параметрами подтвердили эффективность удаления элементной стальной стружки со средним размером  $b = 3,5$  мм с макета штыревой опоры с плоской рабочей поверхностью. При давлении питания элемента сжатым воздухом  $p_0 = 0,04$  МПа радиус очищенной от стружки поверхности составляет 40 мм, а максимальное удаление некоторых элементов стружки от оси опоры – 150 мм.

Таблица 3. Геометрические параметры шнековых завихрителей с прямоугольной резьбой

Диаметр шнека $d$ , мм	Шаг резьбы $t$ , мм	Число заходов $n$	Ширина впадины $a$ , мм	Ширина выступа $b$ , мм	Угол подъема винтовой линии $\gamma$ , град	Площадь сечения каналов $s$ , мм <sup>2</sup>	Длина резьбовой части завихрителя $L$ , мм
8	2	2	1,2	0,8	9	1,2	3,05
8	2	3	1,2	0,8	13	1,2	4,5
8	3	2	2	1	13	3	7,1
8	3	3	2	1	20	3	10,4
8,8	2,5	3	1,5	1	15	1,87	6,35
10	2	2	1,2	0,8	7	1,2	2,45
10	2	3	1,2	0,8	11	1,2	3,64
10	3	2	2	1	11	3	5,8
10	3	3	2	1	16	3	8,46
12	2	2	1,2	0,8	6	1,2	2,05
12	2	3	1,2	0,8	9	1,2	3,05
12	3	2	2	1	9	3	4,83
12	3	3	2	1	13	3	7,1

Таким образом, представленные выше рекомендации по конструированию многофункциональных пневматических вихревых элементов и расчету геометрических характеристик шнековых завихрителей

могут быть использованы при расчете и конструировании станочных приспособлений, предназначенных для эксплуатации в условиях гибкого автоматизированного производства в тех случаях, когда требуется

автоматически удалять стружку с установочных элементов и проверять правильность базирования обрабатываемых заготовок.

### Список литературы

1. Б. А. Сентяков, Н. А. Тишкова. Автоматизация удаления стружки с установочных элементов приспособлений. «МК-91-95» Приволжский Дом знаний : сб. тр. науч.-метод. конф. (Пенза, 2005 г.). – Пенза : Знание, 2005. – 330 с.

2. Вологжанина Н. А. Пневматические вихревые элементы как средство автоматизации удаления стружки с установочных элементов приспособлений // Значение научной работы в процессе подготовки конкурентоспособных специалистов для предприятий Удмуртской Республики : сб. тр. науч.-метод. конф. Воткинского филиала ИжГТУ (10–11 мая 2006 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2006. – 324 с.

3. Фабер Т. Е. Гидроаэродинамика : учеб. пособие ; пер. с англ. – Постмаркет, 2001. – 543 с.

*B. A. Sentyakov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Votkinsk Branch of Izhevsk State Technical University  
*N. A. Tishkova*, Postgraduate Student, Votkinsk Branch of Izhevsk State Technical University

### A Method of Calculating the Basic Parameters of Screw Swirler in Designing Multifunction Air Vortex Elements

*The multi-functional pneumatic vortex elements, their basic geometrical parameters, as well as their calculation are considered. The proposed screw swirler calculation method can facilitate the designer work in selecting and designing multifunction air vortex elements.*

**Key words:** vortex element, rotating auger, diameter, helix angle.

УДК 629.3.024

**Р. Ф. Шаихов**, аспирант, Ижевский государственный технический университет

**Н. М. Филькин**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

## РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА АМОРТИЗАЦИОННЫХ ОПОР

*Представлен подход к повышению технико-эксплуатационных характеристик верхней опоры амортизаторной стойки легкового автомобиля. Получены графические зависимости фактора формы упругого элемента от его угла наклона для различных материалов и условий закрепления опорных поверхностей, позволяющие упростить расчет упругого элемента подвески.*

**Ключевые слова:** автомобиль, расчет, подвеска, опора.

**А**мортизационные опоры работают как правило при действии на них комбинированных нагрузок. К таким опорам относятся верхние опоры амортизаторных стоек подвесок автомобилей, которые воспринимают статические и динамические вертикальные нагрузки от веса автомобиля, а также горизонтальные динамические инерционные нагрузки при его разгоне и торможении.

На рис. 1 изображена верхняя опора стойки амортизаторной легкового автомобиля, конструкция которой широко применяется в автомобилестроении, например, на автомобилях производства ОАО «АвтоВАЗ», ОАО «ИжАвто» и др. Опора состоит из верхней 1 и внутренней 2 конических металлических обойм, между которыми расположен упругий (резиновый) демпфирующий элемент 3. Для данного типа амортизационных деталей, испытывающих одновременное действие сил сжатия  $P_{сж}$  и сдвига  $P_{сд}$  от действия осевой силы  $P$  в результате наклона демпфирующего элемента, в ряде работ рекомендуется при проектировании выбирать угол наклона  $B^\circ$  (см. выносной элемент  $A$  на рис. 1) в пределах  $29^\circ$ , например работа [1]. Эта рекомендация приближенная и не

учитывает ряд факторов, влияющих на работу амортизационных опор, таких как конфигурация (размеры) упругих элементов (УЭ), условия закрепления опорных поверхностей и параметры применяемых материалов.

Поэтому на практике угол наклона УЭ выбирается экспериментально, что является дорогостоящей работой, так как требуется доработка прессформ, участвующих в изготовлении УЭ.

Условия работы конструкций УЭ амортизационных опор данного типа разнообразны. Существуют конструкции, в которых УЭ работает только на сжатие или на сдвиг [2]. Работая на сжатие, т. е. когда сила  $P$  по направлению совпадает с силой  $P_{сж}$ , опора имеет жесткую, монотонно прогрессирующую характеристику. Работая же только на сдвиг (сила  $P$  по направлению совпадает с силой  $P_{сд}$ ) опора имеет мягкую, монотонно регрессирующую характеристику. В связи с этим можно предположить, что при действии на одинаковые конфигурации таких опор одной и той же силой опора, имеющая жесткую характеристику, выполняет меньшую работу, чем опора, имеющая мягкую характеристику, т. е. опора,