

**Библиографические ссылки**

1. Шерешевский М. С., Гонтарев А. Н., Минаев Ю. В. Эффективность стрельбы из автоматического оружия. – М. : ЦНИИ информации, 1979. – 328 с.

2. Там же.

3. Там же.

4. Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия калибров 5,45 и 7,62 мм ТС/ГРАУ № 61. – М. : Воениздат, 1977. – 265 с.

5. Там же.

6. Шерешевский М. С., Гонтарев А. Н., Минаев Ю. В. Указ. соч.

7. Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия калибров 5,45 и 7,62 мм ТС/ГРАУ № 61.

Получено 03.04.15

УДК 621.914.6

**В. А. Иванов**, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**В. К. Первозников**, кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## **ПРОФИЛИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА БЛОКИРУЮЩИХ ЛИНИЙ**

Одной из наиболее сложных и трудоемких задач инструментального производства является профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей, работающих по методу бесцентроидного огибания. Особенностью профилирования инструментов в этом случае является несоответствие профиля обрабатываемой винтовой поверхности профилю инструмента в любом сечении, сложность решения задач по оптимизации параметров установки.

Существующие методы профилирования инструмента, как графические, так и в сочетании с аналитическими расчетами некоторых факторов преимущественно вспомогательного характера, являются довольно громоздкими и имеют невысокую точность, не всегда поддаются полной автоматизации, что серьезно сказывается на качестве и себестоимости продукции. Во многих методах задачи профилирования решаются без учета условий формообразования [1, 2, 3].

Поэтому в настоящее время разработка эффективных методов профилирования, обеспечивающих качественное решение вопросов проектирования инструментов, обрабатывающих винтовые поверхности, на современном техническом уровне, является актуальной научно-технической проблемой.

### **Постановка задачи**

Существующие методы профилирования при решении инструментальной (прямой) задачи нахождения параметров профилирующего режущего инструмента в зависимости от параметров профилируемой винтовой поверхности не позволяют решать вопросы комплексного профилирования инструментов с произвольными геометрическими параметрами, с учетом изменения формы режущих кромок, оценкой погрешности формы производящей поверхности

и профиля обрабатываемых деталей, оптимизацией параметров установки.

Предлагаемый метод профилирования позволяет расширить технологические возможности процедуры профилирования при формообразовании винтовых поверхностей на основе метода блокирующих линий, позволяет учитывать условия правильного касания поверхностей и определять формы режущих кромок инструмента с любым профилем и значением переднего угла.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи.

1. Определение исходной производящей поверхности дискового инструмента.

2. Определение формы режущей кромки инструмента.

3. Расширение возможностей метода профилирования за счет решения задач по оптимизации параметров установки инструмента на основе блокирующих линий.

### **Определение исходной производящей поверхности инструмента**

Производящая поверхность нового дискового инструмента называется исходной (ИПП). У переточенного инструмента диаметр производящей поверхности уменьшается. Поэтому и форма РК переточенного затылованного инструмента должна измениться.

Для определения ИПП необходимо знать уравнения винтовой поверхности, заданной в системе координат  $x_0, y_0, z_0$  дискового инструмента, которые определяются (рис. 1):

– через параметры заданной винтовой поверхности:  $r, \delta$  – полярные координаты торцового профиля;  $\xi$  – торцовый угол профиля в текущей точке (между

касательной к профилю и радиусом  $r$ );  $\rho$  – радиус кривизны в текущей точке торцевого профиля;  $u$ ,  $v$  – расстояние от оси детали до нормали и длина поднормали к профилю (приведенные координаты) [4];

– параметры установки инструмента:  $a_w$  – межосевое расстояние детали и ДИ;  $\varepsilon$  – угол скрещивания между положительным направлением оси детали и отрицательным направлением оси ДИ (межосевой угол);  $\psi$  – угол поворота торцевого профиля детали относительно линии межосевого перпендикуляра.

Координаты точек на винтовой поверхности в системе координат  $x_q y_q z_q$  детали вычисляются по уравнениям:

$$\begin{aligned} x_q &= r \cos(\delta + \varphi); \\ y_q &= r \sin(\delta + \varphi); \\ z_q &= P\varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол профиля в винтовом движении относительно начального положения, в котором  $z_q = 0$ ;  $P$  – винтовой параметр,  $P = T/2\pi$ .

Преобразование координат заключается в повороте и переносе систем координат. Для упрощения преобразование осуществляется последовательно. Вначале производится поворот систем  $x_q y_q z_q$  к системе  $x y z$  на угол  $\psi$ , далее – ее перенос на межосевое расстояние  $a_w$ , и затем – поворот к системе  $x_0 y_0 z_0$  на угол  $\varepsilon$  (рис. 1).

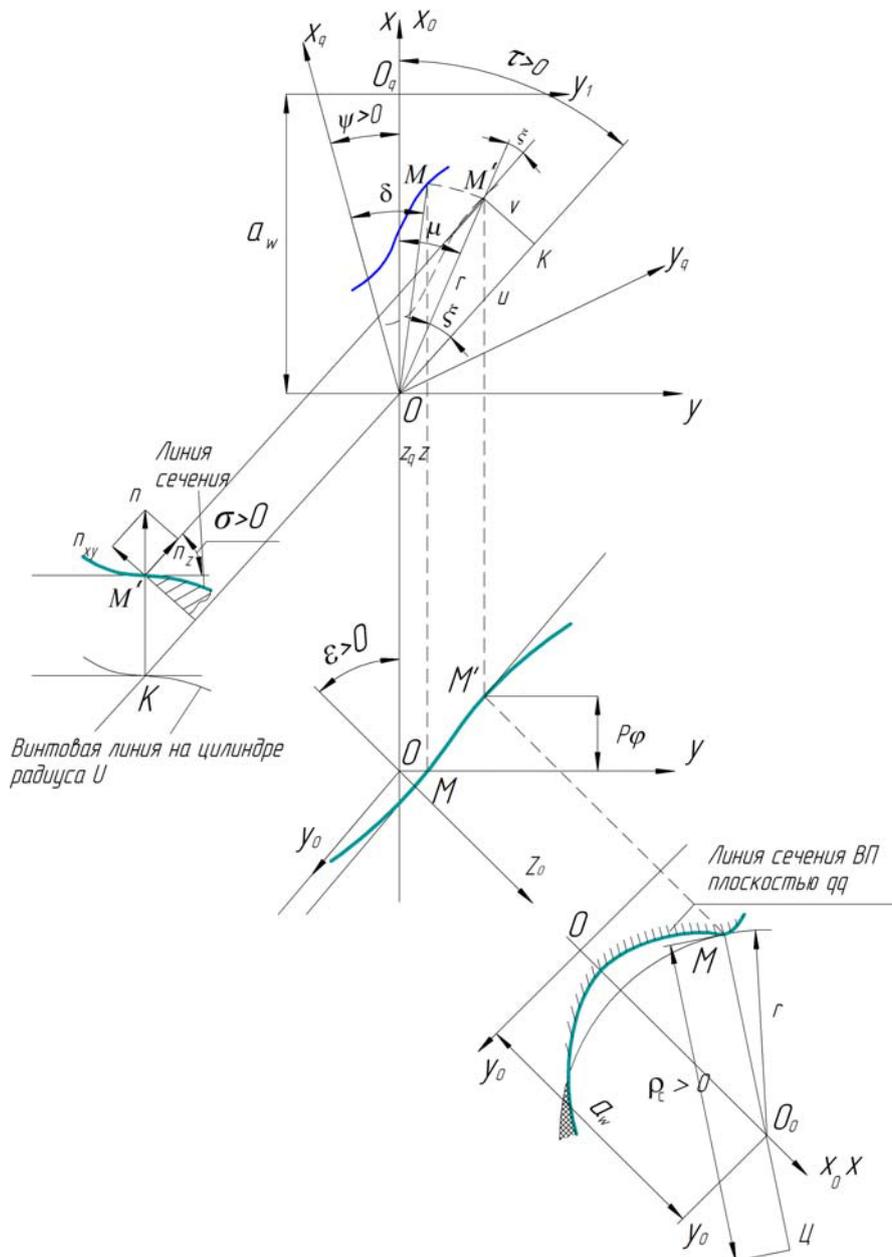


Рис. 1. К определению исходной производящей поверхности

Используя для поворота и переноса систем координат таблицы косинусов как операторы, облегчающие выбор знаков, получим формулы перехода от системы  $x_q y_q z_q$  к системе  $x_o y_o z_o$ :

$$\begin{aligned} \mu &= \delta + \varphi - \psi; \\ x_o &= r \cos \mu - a_w; \\ y_o &= -r \sin \mu \cos \varepsilon - P \sin \varepsilon; \\ z_o &= r \sin \mu \sin \varepsilon - P \cos \varepsilon. \end{aligned} \quad (2)$$

Совокупность точек касания представляет собой линию касания, которая должна быть непрерывной и являться одной и той же как на винтовой поверхности, так и на ИПП.

Профиль ИПП определится координатами:  $r_o, z_o$ ,  $r_o = \sqrt{y_o^2 + x_o^2}$ .

Для определения угла профиля дискового инструмента используем уравнение [5]

$$\cos \alpha_o = \frac{\cos \tau \sin \varepsilon + \frac{u}{P} \cos \varepsilon}{\sqrt{1 + \frac{u^2}{P^2}}}. \quad (3)$$

### Определение формы режущей кромки инструмента

Форма режущей кромки находится из условия пересечения ИПП с передней поверхностью (ПП) инструмента (рис. 2). Передняя поверхность обычно принимается плоской, параллельной оси  $z_o$ . При этом передний угол на наружном диаметре  $d_{a0}$  инструмента принимается как  $\gamma \geq 0$ .

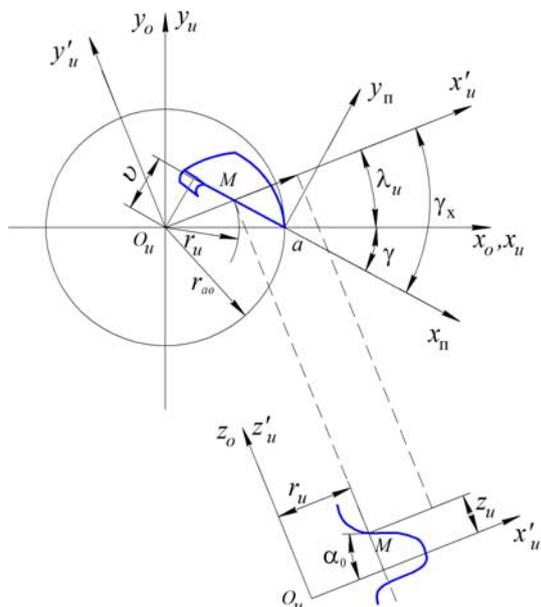


Рис. 2. К определению формы режущей кромки

Форма РК при  $\gamma > 0$  (рис. 2) определяется согласно координатам  $x_u, y_u, z_u$  или координатами текущей точки режущей кромки инструмента  $r_u, \lambda_u, z_u$ :

$$\begin{aligned} d_{a0} &= 2x_{o \max}, r_u = r_o, \\ v_u &= 0,5d_{a0} \sin \gamma, \\ \lambda_u &= \arcsin \left( \frac{v_u}{r_u} \right) - \gamma, \\ x_u &= r_u \cos \lambda_u, \\ y_u &= r_u \sin \lambda_u, z_u = z_o, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $v_u$  – расстояние передней поверхности инструмента от оси  $z_u$ .

Расширение возможностей метода профилирования за счет решения задач по оптимизации параметров установки инструмента на основе блокирующих линий рассмотрим на примере винтовых поверхностей, профиль которых задается конструктором в осевом сечении и подлежит перерасчету в торцовое сечение.

Профиль канавки винтовой протяжки задан в осевом сечении следующих размеров (рис. 3): наружный диаметр  $D = 28$  мм; диаметр сердцевины  $d_o = 18$  мм; шаг протяжки  $T = 18$  мм; радиус дна канавки  $\rho = 3,0$  мм; ширина зуба  $f_a = 6,5$  мм; число заходов  $Z = 4$ ; угол канавки  $\Theta = 45^\circ$ ; передний угол  $\gamma = 10^\circ$ .

Последовательность определения параметров установки следующая.

1. Выбрать узловые точки на профиле: точку  $K$ , относящуюся к дуге  $KE$ , в которой профиль имеет наибольшее поднутрение, точку  $E$  на вогнутом участке, которой соответствует наименьший угол профиля ДИ при обработке правой части ВСК, и точки  $A$  и  $C$  на наружном диаметре профиля.

2. Рассчитать параметры осевого профиля  $\xi, x_a, z_a$  в выбранных узловых точках (табл. 1) по известным формулам [6]:

$$\begin{aligned} \delta &= -\frac{Za}{P}; \\ \operatorname{tg} \xi &= -\frac{r}{P} \operatorname{tg} \xi_a; \\ \rho &= \frac{r}{\sin \xi (1 + \cos^2 \xi) - \frac{r^2 \cos^3 \xi}{\rho_a P \cos^3 \xi_a}}. \end{aligned} \quad (5)$$

3. Рассчитать параметры торцового профиля  $r, \delta, \xi, u, V, \rho$  [7] в выбранных узловых точках (табл. 2).

4. Полагая, что канавку будут фрезеровать, примем  $a_w = 33$  мм. При необходимости эту величину можно скорректировать.

5. Выбрать базовые точки на профиле – точки  $A, K$  и  $E$ .

6. По методике [8] рассчитать значения  $\varepsilon''_{1,2}$  и соответствующие ему значения  $\psi''_{1,2}$  (табл. 3), построить графики блокирующих линий для точек  $K$  и  $E$  (рис. 4). Для упрощения графики  $\psi''_{1,2}$  для точки  $C$  можно не строить. Найти при помощи графиков значения параметров установки:  $\psi = 167,11$ ;  $\varepsilon = 46^\circ$ .

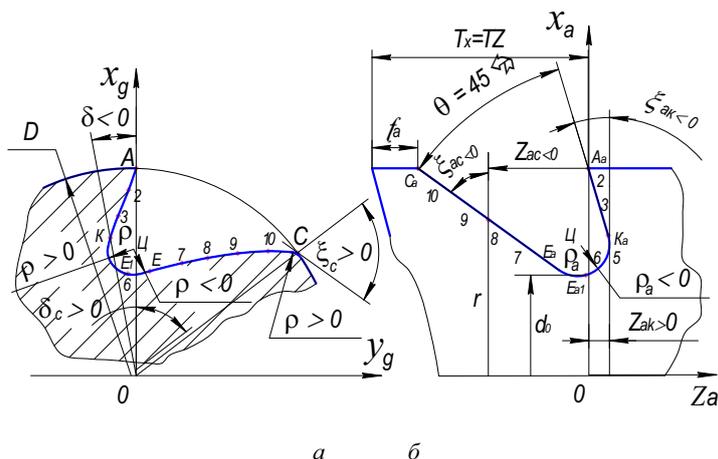


Рис. 3. Схема для определения параметров винтовой канавки протяжки: а – торцового профиля; б – осевого профиля

Таблица 1. Параметры осевого профиля канавки винтовой протяжки

Точки профиля	$\xi$ , рад	$x_a$ , мм	$z_a$ , мм
$A_a$	0,175	14,00	0
2	0,175	13,51	-0,087
3	0,175	13,01	-0,174
$K_a$	0,175	12,52	-0,261
5	0,240	11,34	-0,235
6	0,624	10,17	0,314
$E_{a1}$	1,57	9,00	2,694
$E_a$	0,785	9,88	4,815
7	0,785	10,71	5,639
8	0,785	11,53	6,463
9	0,785	12,35	7,288
10	0,785	13,18	8,112
$C_a$	0,785	14,00	8,936

Таблица 2. Параметры торцового профиля канавки винтовой протяжки

Точки профиля	$r$ , мм	$\delta$ , рад	$\xi$ , рад	$x_a$ , мм	$y_a$ , мм	$\rho$ , мм
A	14,00	0	0,212	14,00	0	35,61
2	13,51	-0,098	0,205	13,51	-0,10	35,39
3	13,01	-0,015	0,198	13,01	-0,19	35,17
K	12,52	-0,023	0,190	12,52	-0,28	3,02
5	11,34	-0,020	-0,233	11,34	-0,23	3,34
6	10,17	0,027	-0,308	10,17	0,28	3,02
$E_1$	9,00	0,240	1,571	8,75	2,10	-1,54
E	9,87	0,420	0,711	9,02	4,03	-2,90
7	10,70	0,492	0,751	9,43	5,06	26,04
8	11,53	0,564	0,733	9,74	6,16	33,10
9	12,35	0,636	0,823	9,93	7,34	43,45
10	13,18	0,708	0,855	10,00	8,57	59,81
C	14,00	0,780	0,885	9,95	9,84	88,88

Таблица 3. Результаты вычислений параметров установки

Расчетные базовые точки	Расчетные величины, град.					
	$\tau$	$\varepsilon_1''$	$\varepsilon_2''$	$\psi_1''$	$\psi_2''$	$\varepsilon'$
A	0	39,947	39,931	0	0	39,939
	-10	41,448	20,662	97,716	-725,298	44,878
	-20	45,062	9,711	148,637	-1078,556	47,229
	-30	51,118	3,906	192,244	-1868,774	45,722
	-40	59,939	0,955	226,853	-5131,887	38,883
	-50	71,651	-0,408	252,142	-7163,584	25,864
K	0	42,935	42,985	0	0	0
	10	44,408	41,951	83,840	30,530	30,530
	20	47,703	41,078	129,772	64,829	64,829
	30	52,365	40,724	163,323	102,974	102,974
	40	60,043	41,099	200,905	143,332	143,332
	50	69,253	42,392	226,017	184,306	184,306
E	0	56,858	56,858	0	0	56,858
	10	55,002	48,799	98,222	224,626	51,493
	20	54,435	42,409	63,937	194,566	44,575
	30	55,021	37,532	30,339	157,350	36,570
	40	56,678	33,269	-1,584	112,887	28,060
	50	59,332	31,543	-31,103	61,749	19,623

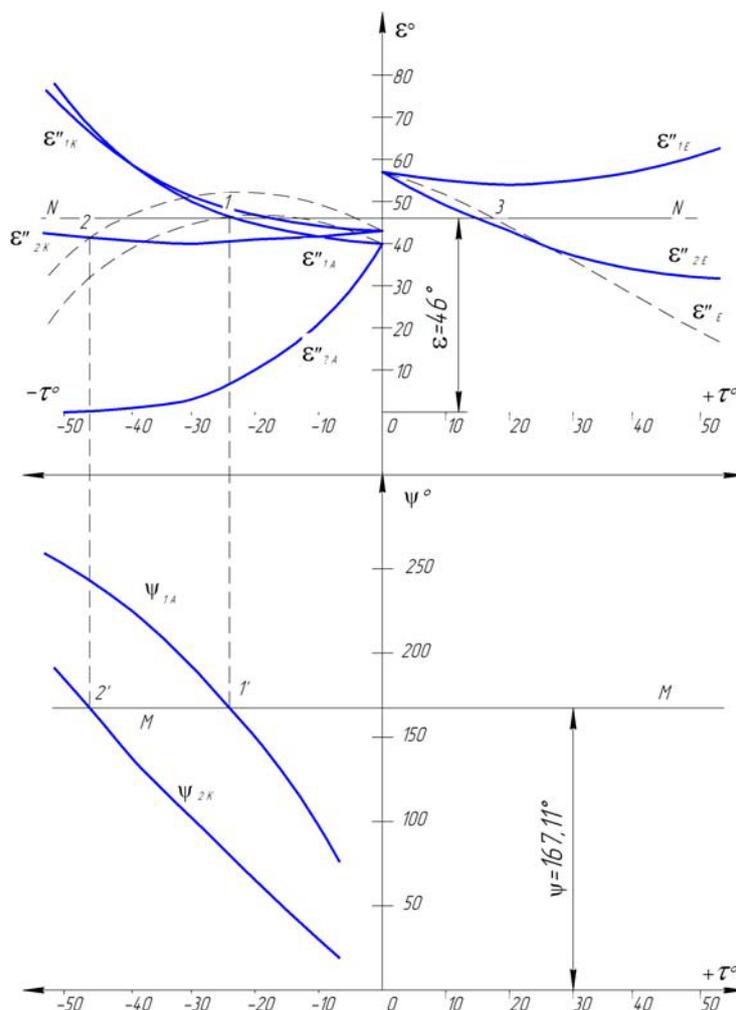


Рис. 4. Блокирующие линии для поиска параметров установки ДИ

При найденных значениях ПУ рассчитать профиль ДИ по уравнению (2), величину угла профиля  $\alpha_0$  по уравнению (3) и радиус кривизны  $\rho_c$  [9]. Результаты расчета для всех точек профиля приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты вычислений координат профиля инструмента

Узловые точки	$\tau^\circ$ , град	$r_0$ , мм	$z_0$ , мм	$\alpha_0$ , град	$\rho_c$ , мм
A	-29,25	25,338	-24,125	20,69	264,48
2	-34,25	25,943	-23,816	23,83	-63,65
3	-38,29	26,579	-23,575	26,61	-36,65
K	-41,91	27,220	-23,236	29,17	211,36
5	-63,56	27,950	-22,689	44,57	-50,53
6	-81,26	28,690	-21,732	59,75	-41,61
E <sub>1</sub>	53,64	28,923	-20,133	65,76	-75,41
E	18,08	28,030	-19,451	17,76	-23,53
7	17,66	26,779	-19,073	16,71	-6,72
8	17,38	25,611	-18,732	15,88	-7,54
9	17,26	24,524	-18,430	15,26	-8,72
10	17,29	23,514	-18,158	14,83	-10,56
C	17,48	22,573	-17,911	14,59	-13,81

Профиль ДИ показан на рис. 5. Из расчетов видно, что углы профиля в наименее благоприятных

точках A и C (с точки зрения боковых задних углов и стойкости ДИ) незначительно отличаются друг от друга.

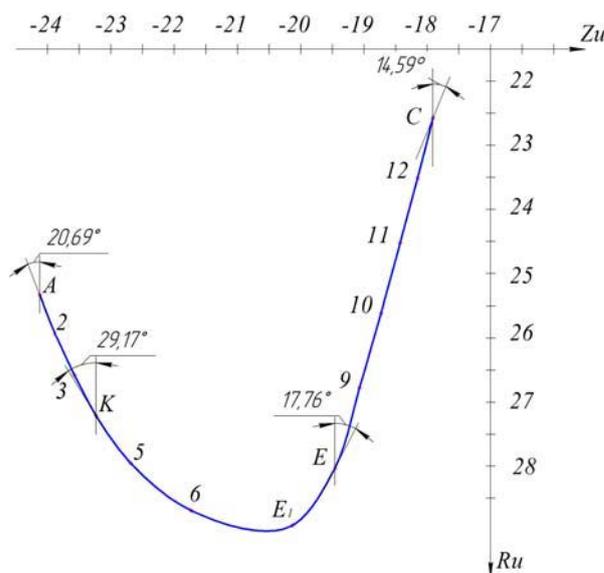


Рис. 5. Профиль дискового инструмента для обработки канавок винтовой протяжки

Предложенная методика комплексного профилирования дисковых инструментов, обрабатывающих винтовые поверхности, на основе использования метода блокирующих линий при нахождении параметров установки позволяет определять формы режущих кромок инструмента с любым профилем и значением переднего угла.

#### Библиографические ссылки

1. Кирсанов Г. Н. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов / под ред. Г. Н. Кирсанова. – М. : Машиностроение, 1986. – 285 с.
2. Проектирование фрез для обработки винтовых каналов сверл аналитическим (с использованием ЭВМ) и гра-

Получено 22.05.15

фическим методами : учеб. пособие / Ю. В. Федоров, С. Л. Леонов, А. А. Хоменко, Э. В. Кениг. – Барнаул : Изд-во Алтайского гос. тех. ун-та, 2008. – 96 с.

3. Щуров И. А. Расчет профиля дискового инструмента для обработки винтовой поверхности // Станки и инструменты. – 1996. – № 1. – С. 19–21.
4. Проектирование режущих инструментов / В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, В. А. Иванов, В. К. Перевозников, И. А. Коротков. – М. : Глобус, 2006. – 272 с.
5. Лапшев С. И., Юликов М. И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М. : Машиностроение, 1975. – 385 с.
6. Там же.
7. Проектирование режущих инструментов.
8. Там же.
9. Там же.

УДК 532.5, 532.529.5

**А. Н. Мусинский**, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
**С. Н. Пещеренко**, доктор физико-математических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ НА НАПОРНЫЕ И СЕПАРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГРУЖНЫХ ГАЗОСЕПАРАТОРОВ

**П**овышение эффективности работы электроцентробежного насоса на смеси жидкости и попутного газа достигается комплектацией их центробежными газосепараторами [1]. Однако добиться эффективного отделения газа центробежными газосепараторами при высоких подачах (например, более 500 м<sup>3</sup>/сут для установок 5А габарита) не удастся, так как при увеличении подачи время нахождения газожидкостной смеси в газосепараторе, следовательно, и время сепарации уменьшается. Для увеличения времени сепарации, казалось бы, можно увеличить длину газосепаратора, но это не так: происходит срыв струйного течения, появляются вихри в проточных каналах, и сепарация ухудшается. Кроме того, увеличение длины газосепаратора приводит к увеличению времени воздействия на него абразивных частиц, т. е. к гидроабразивному разрушению.

Для решения второй проблемы – гидроабразивного разрушения – было предложено [2, 3] часть длины сепарационного узла центробежного газосепаратора заменить вихревой камерой, где вращение газожидкостной смеси продолжится по инерции. Также проводились исследования фазоразделения газожидкостного потока в вихревой трубе (аналог вихревой камеры) [4, 5]. Однако задача о влиянии длины вихревой камеры на напор и сепарационные характеристики центробежных газосепараторов не была решена.

Целью данной работы является изучение зависимости напорной характеристики и коэффициента сепарации устройства от длины вихревой камеры.

#### План и методика экспериментальных исследований

Схема испытательного стенда представлена на рис. 1.

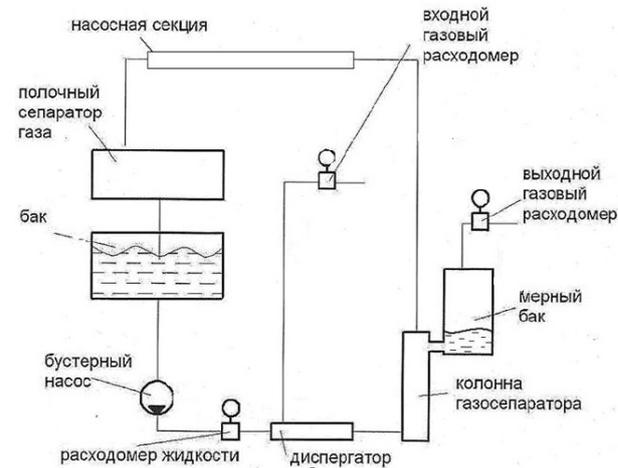


Рис. 1. Схема испытательного стенда

Измеряли напор и коэффициент сепарации вихревых газосепараторов с вихревой камерой различной длины. В качестве рабочей жидкости использовали смесь воды, воздуха и ПАВ (дисолван 4411, 0,05 % от объема жидкости), моделирующей пластовую жидкость.

Испытания проводили следующим образом.