

## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**УДК 621.658.562**

**В. А. Полетаев, И. В. Кулак**

### **ФОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТВЕРСТИЯ СТАТОРА ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА СО СТАНИНОЙ**

При статистическом анализе технологического процесса изготовления статоров ВАД было установлено, что после запрессовки сердечника статора в станину отверстие статора имеет значительные погрешности формы, которые последующей обработкой раскатыванием не устраняются [1, 2]. Это обусловлено отсутствием научно обоснованной методики назначения номинальных размеров и допусков геометрических параметров сборочных единиц статоров ВАД.

Погрешности формы наружной поверхности сердечника статора допуском вообще не регламентируется. Диаметр отверстия сердечника статора до запрессовки в станину и натяг в сопряжении сердечника со станиной назначаются без учета "усадки" отверстия при запрессовке сердечника в станину.

Острота проблемы усугубляется тем, что обработка отверстия сердечников статоров ВАД с высотой оси вращения 200 мм и более существующей технологией не предусматривается. В данном случае значительные погрешности, приобретаемые отверстием сердечника при взаимодействии со станиной, являются окончательными и непосредственно определяют точность воздушного зазора двигателя.

Для выявления факторов, определяющих погрешность диаметра и формы отверстия статора, а также степени и характера влияния факторов на указанные погрешности прове-

дано корреляционное исследование технологического процесса изготовления статоров ВАД типоразмера В, ВРП180S4 и В, ВРП180M6,8 (табл. 1) [1, 2, 5].

Корреляционный анализ показывает, что погрешности размера и формы отверстия сердечника статора после запрессовки в станину имеют значительную корреляционную связь с погрешностями размера и формы наружной и внутренней поверхностей сердечника и внутренней поверхности станины до запрессовки, а также с натягом в сопряжении сердечника со станиной.

Полученные данные позволяют произвести обоснованное

назначение геометрических параметров сборочных единиц статоров и их допусков.

При отсутствии статистического анализа технологического процесса для обоснованного назначения рассматриваемых геометрических параметров и их допусков необходима разработка математических моделей, отражающих совместное влияние входных геометрических параметров на погрешности отверстия статора при запрессовке пакета статора в отверстие станины (рисунок):

$b_{cm} < a_{cm} ; b_{nh} > a_{nh} ; b_n < a_n$ , (1)  
где  $b_{cm}$ ,  $b_{nh}$ ,  $b_n$  – величины вертикальных полусосей овальных профилей, соответственно, от-

Таблица 1  
Влияние точностных параметров сборочных единиц статоров на погрешности диаметра и формы отверстия статора

Типоразмер двигателя	Уравнения регрессии	Коэффициент корреляции
B, ВРП180S4	$\Delta_{Dc} = 0,574 \Delta_{Dn} + 0,0115$	0,560
	$\Delta_{Dc} = 0,078 \bar{\Delta}_i + 0,0173$	0,123
	$\Delta_{Dc} = 0,334 \rho_{cm} + 0,0153$	0,390
	$\Delta_{Dc} = 0,040 \rho_{n,n} + 0,0210$	0,290
	$\rho_c = 0,530 \rho_n + 0,0232$	0,400
	$\rho_c = 0,363 \bar{\Delta}_i + 0,0737$	0,330
	$\rho_c = 0,530 \rho_{cm} + 0,0360$	0,494
	$\rho_c = 0,118 \rho_{n,n} + 0,0316$	0,350
B, ВРП160M6,8	$\Delta_{Dc} = 0,600 \Delta_{Dn} + 0,0129$	0,590
	$\Delta_{Dc} = 0,627 \bar{\Delta}_i + 0,0431$	0,343
	$\Delta_{Dc} = 0,546 \rho_{cm} + 0,0170$	0,610
	$\Delta_{Dc} = 0,171 \rho_{n,n} + 0,0316$	0,350
	$\rho_c = 1,047 \rho_n + 0,0257$	0,640
	$\rho_c = 0,963 \bar{\Delta}_i + 0,0671$	0,617
	$\rho_c = 0,638 \rho_{cm} + 0,0647$	0,616
	$\rho_c = 0,351 \rho_{n,n} + 0,0490$	0,400

верстия станины, наружной поверхности и отверстия пакета до запрессовки в станину;  $a_{cm}$ ,  $a_{nh}$ ,  $a_n$  – соответствующие величины горизонтальных полуосей.

Теоретическая разработка задачи взаимодействия двух цилиндров, внутренние и наружные поверхности которых имеют форму овала, с использованием теории взаимодействия двух полых цилиндров А.В. Гадолина и Г. Ламе [3] позволила получить математические модели изменения овальности и усадки отверстия пакета при запрессовке в станину [4, 5]:

$$\Delta\rho_n = c \left( 1 - \frac{1}{\pi} \right) \times \left[ \bar{\Delta}_n + \frac{\rho_{nh} + \rho_{cm}}{2} - \Delta_{ha} \right]; \quad (2)$$

$$\Delta\bar{R}_n = -\frac{c}{2} \left( 1 + \frac{1}{\pi} \right) \times \left[ \bar{\Delta}_n + \frac{\rho_{nh} + \rho_{cm}}{2} - \Delta_{ha} \right], \quad (3)$$

где  $\Delta_{ha}$  – натяг на сторону по полуоси  $a_{nh}$  в сопряжении пакета со станиной (рисунок);  $c$  – коэффициент, характеризующий влияние конструктивных факторов.

Для конечных значений овальности и среднего радиуса отверстия пакета после запрессовки в станину имеем

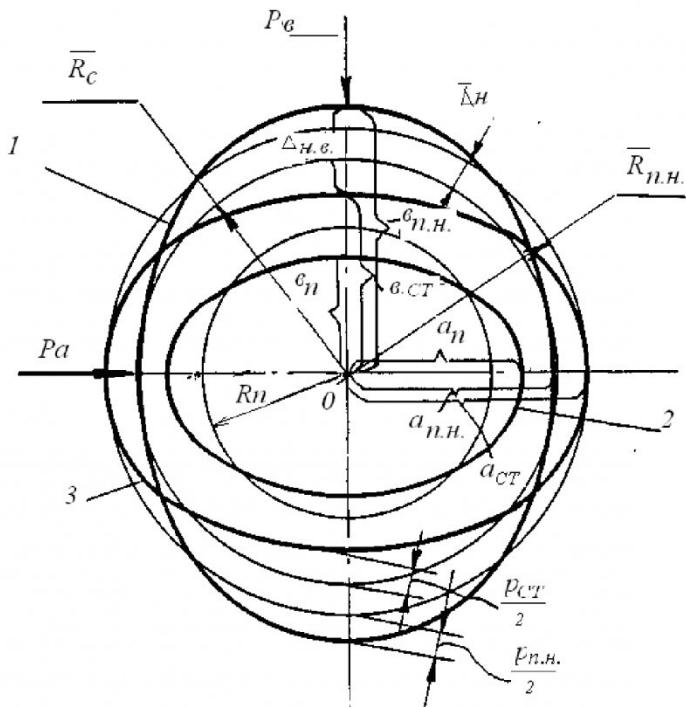


Схема взаимодействия пакета статора со станиной: 1, 2, 3 – реальные профили, соответственно, наружной поверхности и отверстия пакета, отверстия станины

$$\rho_{cm} = \rho_n + c \left[ 1 - \frac{1}{\pi} \right] \times \left[ \bar{\Delta}_n + \frac{\rho_{nh} + \rho_{cm}}{2} - \Delta_{ha} \right]; \quad (4)$$

$$R_c = \bar{R}_n - \frac{c}{2} \left[ 1 + \frac{1}{\pi} \right] \times \left[ \bar{\Delta}_n + \frac{\rho_{nh} + \rho_{cm}}{2} - \Delta_{ha} \right]; \quad (5)$$

$$c = R_{n,n} \left( R_{cm,n}^2 - R_{n,n}^2 \right) \times \left[ R_{n,n} \left( R_{cm,n}^2 - R_{n,n}^2 \right) \right]^{-1}, \quad (6)$$

где  $R_{cm,n}$ ,  $R_{n,n}$ ,  $R_{n,n}$  – номинальные радиусы, соответственно наружной поверхности обечайки станины, наружной поверхности пакета статора и поверхности дна пазов пакета под обмотку, мм.

Исходные данные для расчета геометрических параметров сборочных единиц статоров, мм

Типоразмер двигателя	Статистические данные								Конструктивные данные по чертежу			
	$\bar{\Delta}_i$	$\bar{\Delta}_{i\dot{a}}$	$\bar{\rho}_{\ddot{n}\dot{o}}$	$\bar{\rho}_{\ddot{i}\dot{i}}$	$\omega_{\bar{\Delta}_i}$	$\omega_{\rho_{cm}}$	$\omega_{\rho_{nh}}$	$\omega_{\rho}$	$\delta_{\rho_n}$	$\delta_{\rho_c}$	$\delta_{\Delta\rho_n}$	$D_c$
B,BP1180S4	– 0,0055	– 0,1061	0,1750	0,0386 0,2994	0,2804 0,1384	0,8631	0,1783 0,1955	0,1783 0,1955	0,0145	0,0610 0,0523	205 <sup>+0,058</sup> –0,065	
B,BP1180M6,8	– 0,0023	– 0,0052		0,0427 0,2201						0,0600 0,0514	210 <sup>+0,088</sup> –0,031	

Таблица 2

Результаты расчета средних значений величин  $\Delta\bar{\rho}_n$  и  $\Delta\bar{R}_n$ , их полей рассеяния и степени влияния

на них входных параметров в существующем производстве

Типоразмер двигателя	$\omega_{\Delta\rho_i}$ , мм	$\omega_{\rho_c}$ , мм	$\Delta\bar{\rho}_n$ , мм	Степень влияния входных параметров $d_i$ на $\Delta\rho_n$ , %			$ \Delta\bar{R}_n $ , мм	Степень влияния входных параметров $d_i$ на $\Delta\bar{R}_n$ , %		
				$d_{\bar{\Delta}_i}$	$d_{\rho_{\ddot{n}\dot{o}}}$	$d_{\rho_{\ddot{i}\dot{i}}}$		$d_{\bar{\Delta}_i}$	$d_{\rho_{\ddot{n}\dot{o}}}$	$d_{\rho_{\ddot{i}\dot{i}}}$
B,BP1180S4	0,0910	0,1804	0,0159	-5,44	86,62	18,82	0,0155	-5,40	85,92	19,48
B,BP1180M6,8	0,1091	0,2451	0,0214	-2,16	82,10	20,06	0,0207	-2,16	82,09	20,07

Таблица 3

Таблица 4

Результаты расчета геометрических параметров статора, мм

Типоразмер двигателя	$\delta_{\rho cm}$		D	
	по чертежу в существующем производстве	значения, рассчитанные по приведенной методике	по чертежу в существующем производстве	значения, рассчитанные по приведенной методике
B,BP180S4	0,25	0,18	205h6 <sub>(-0,029)</sub>	205,042h6 <sub>(-0,029)</sub> <sup>-z</sup>
B,BP180M6,8		0,14	210h6 <sub>(-0,029)</sub>	210,084h6 <sub>(-0,029)</sub> <sup>-z</sup>

Исходные данные для расчета геометрических параметров сборочных единиц статоров сведены в табл. 2. Исходя из них, согласно (5) и (6) рассчитаны величины  $\Delta\rho_i$  и  $\Delta R_i$  для указанных двигателей (табл. 3).

Поле рассеяния  $\omega_{\Delta\rho n}$  изменения овальности отверстия пакета и  $\omega_{\rho c}$  овальности отверстия пакета после запрессовки в станину рассчитаны по формуле

$$\omega_{\Delta\rho n}(\rho_c) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial F}{\partial X_i} \right)^2 K_i^2 \omega_i^2}, \quad (7)$$

где  $K_i$  – коэффициент относительного рассеяния  $i$ -го параметра;

$n$  – число входных параметров;  $\omega_i$  – поле рассеяния  $i$ -го входного параметра.

Допуск  $\delta_{\Delta\rho n}$  на изменение овальности отверстия пакета

$$\delta_{\Delta\rho n} = \frac{1}{K_\rho} \sqrt{\delta_{\rho c}^2 - K_\rho^2 \delta_{\rho n}^2} \quad . \quad (8)$$

Допуск  $\delta_{\rho cm}$  на овальность отверстия станины

$$\delta_{\rho cm} = \left( \frac{\partial F}{\partial \rho_c} \right)^{1/2} \times \sqrt{\delta_{\Delta\rho n}^2 - \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{\partial F}{\partial X_i} \right)^2 K_i^2 \omega_i^2}. \quad (9)$$

Диаметр  $D_n$  отверстия пакета [4]

$$D_n = D_c + c \left[ 1 + \frac{1}{\pi} \right] \times \left[ \bar{\Delta}_n + \frac{\rho_{nh} + \rho_{cm}}{2} + \Delta_{na} \right] - z, \quad (10)$$

где  $z$  – припуск на обработку отверстия статора.

Рассчитанные величины по формулам (9) и (10) приведены в табл. 4.

Разработанная методика обеспечивает обоснованное корректирование и назначение геометрических параметров АД на стадиях изготовления и разработки новых моделей двигателей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Повышение качества функционирования взрывозащищенных асинхронных электродвигателей на стадии конструкторско-технологической подготовки производства в условиях CALS- технологий // Отчет по ведомственной научной программе "Развитие научного потенциала высшей школы", подпрограмма № 3, раздел № 3.3. – Кемерово: КузГТУ, 2006. – 250 с.
- Кулак И.В., Полетаев В.А. Статистические исследования процесса формирования воздушного зазора взрывозащищенного асинхронного двигателя // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Труды III Всероссийской научно-практической конференции. – Юрга: Изд-во ТПУ, 2005. – Т. 1. – С. 48-49.
- Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – Киев: Техника, 1977. – 766 с.
- Полетаев В.А. Обеспечение точности выходных энергетических показателей взрывозащищенных асинхронных двигателей // Горный журнал, 2000. – № 5. Известия высших учебных заведений. – С. 136-138.
- Полетаев В.А., Сорокин А.В., Розенко Н.Г. Управление качеством при проектировании и изготовлении взрывозащищенных асинхронных двигателей. – Кемерово: Изд-во Кузбасс. политехн. ин-та, 1993. – 357 с.

□ Авторы статьи:

Полетаев  
Вадим Алексеевич  
– докт.техн.наук, проф., зав. каф.  
информационных и автоматизиро-  
ванных производственных систем

Кулак  
Илья Валерьевич  
– аспирант каф. информационных и  
автоматизированных производст-  
венных систем