

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ НАКЛОННЫХ ПЛАСТИН РОТАЦИОННЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Миклуш В.П., к.т.н., профессор, Колончук М.В., инженер
(Белорусский государственный аграрный технический университет)

Науменко А.А., к.т.н., профессор
(Харьковский национальный технический университет сельского
хозяйства им. Петра Василенка)

Рассмотрены условия применения наклонных пластин в ротационных вакуумных насосах. Разработаны предложения по проектированию элементов конструкций насосов

Введение. При определении угла наклона пластины вакуумного насоса необходимо учитывать, что с его увеличением уменьшаются габариты насоса, а при достижении большого значения возможно заклинивание пластин в пазах ротора. Таким образом, угол наклона пластин следует максимально увеличивать, одновременно обеспечивая отсутствие заклинивания пластин. Очевидно, что заклинивание может иметь место только в том случае, когда при повороте ротора высота пластины уменьшается. Наиболее неблагоприятным будет такое положение, при котором пластина имеет наибольший вылет. При дальнейшем повороте ротора высота пластины будет уменьшаться, и она будет входить в паз ротора. Если угол ее наклона превысит допустимое значение, то сопротивление в пазах ротора будет больше, чем сила, заставляющая входить пластину в паз. В этом случае насос либо остановится или произойдет поломка пластин. Так как инерция ротора значительна, то поломка пластин наиболее вероятна. Цель работы – определить граничные условия применения наклонных пластин в ротационных вакуумных насосах.

Основная часть. Угол давления радиальной пластины на корпус ротора ψ не должен быть больше максимально допустимого значения ψ_{\max} с целью предотвращения заклинивания. Из рисунка 1 следует

$$\psi = \arcsin \frac{e}{r} \sin \phi = \arcsin \frac{1}{a+1} \sin \phi \quad (1)$$

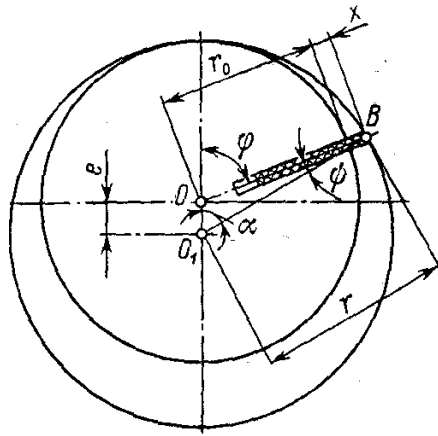


Рис. 1. Параметры радиальной пластины

При $\varphi = 90^\circ$ условие незаклинивания пластин

$$\sin \psi_{\max} \geq \frac{1}{a_{\min} + 1} \rightarrow \sin \psi_{\max} \geq \frac{1}{\frac{r_0}{e} + 1}. \quad (2)$$

Исходя из полученного соотношения, следует, что угол давления радиальной пластины на корпус ротора должен превышать 10 градусов для применяемых конструктивных параметров насосов.

Из $\triangle AOB$ (рис. 2) наклонной пластины имеем

$$\frac{OA}{\sin(180^\circ - \alpha_1)} = \frac{AB}{\sin \omega} \rightarrow \frac{r_0 + x'}{\sin \alpha_1} = \frac{y_0}{\sin \omega} \rightarrow y_0 = (r_0 + x') \frac{\sin \omega}{\sin \alpha_1}. \quad (3)$$

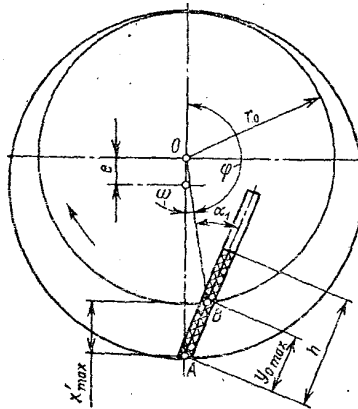


Рис. 2. Определение высоты наклонной пластины

Из рисунка 3 следует

$$\frac{OA}{\sin(180^\circ - \alpha_1)} = \frac{OB}{\sin(\alpha_1 - \omega)} \rightarrow \frac{r_0 + x'}{\sin \alpha_1} = \frac{r_0}{\sin(\alpha_1 - \omega)}. \quad (4)$$

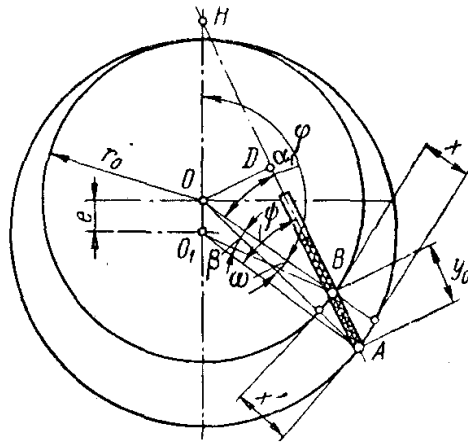


Рис. 3. Геометрические параметры наклонной пластины: r_0 - радиус ротора; e - эксцентриситет; φ - угол поворота ротора относительно оси эксцентрисета; α_1 - угол наклона пластины; ψ - угол между пластиной и прямой, соединяющей центр статора с концом пластины; β - угол между линиями, соединяющими точку пересечения пластины с окружностью ротора с центрами ротора и статора; ω - центральный угол, соответствующий выступающей части пластины y_0 ; x - условная высота радиальной пластины, соответствующей углу поворота ротора φ ; x' - условная высота радиальной пластины, соответствующей углу поворота ротора $\varphi + \omega$.

Отсюда следует

$$(r_0 + x')(\sin \alpha_1 \cos \omega - \sin \omega \cos \alpha_1) = r_0 \sin \alpha_1. \quad (5)$$

Практически величина ω не превышает 10° , поэтому с ошибкой не более 1,5% можно принять $\cos \omega = 1$. В этом случае

$$(r_0 + x')(\sin \alpha_1 - \sin \omega \cos \alpha_1) = r_0 \sin \alpha_1. \quad (6)$$

Отсюда находим

$$\sin \omega \approx \frac{x'}{r_0 + x'} \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (7)$$

Подставляя значение $\sin \omega$, получим

$$y_0 = \frac{x'}{\cos \alpha_1}. \quad (8)$$

Из рассмотрения полученной формулы и рисунка 3 следует, что величины x' и y_0 получают максимальное значение одновременно. Максимальная величина $y_{0\max}$ из $\triangle AOB$ (рис. 3) определяется уравнением

$$y_{0\max} = r_0 \left[\sqrt{\cos^2 \alpha_1 + \frac{4}{a^2}(a+1)} - \cos \alpha_1 \right]. \quad (9)$$

В этом случае отношение линейных размеров выступающей части пластины и радиуса ротора будет определяться формулой

$$K_{y_{0\max}} = \frac{y_{0\max}}{r_0} = \sqrt{\cos^2 \alpha_1 + \frac{4}{a^2}(a+1)} - \cos \alpha_1. \quad (10)$$

Графическое изображение приведенной формулы свидетельствует об увеличении выступающей из паза ротора части пластины при углах ее наклона больших 15 градусов (рис. 4).

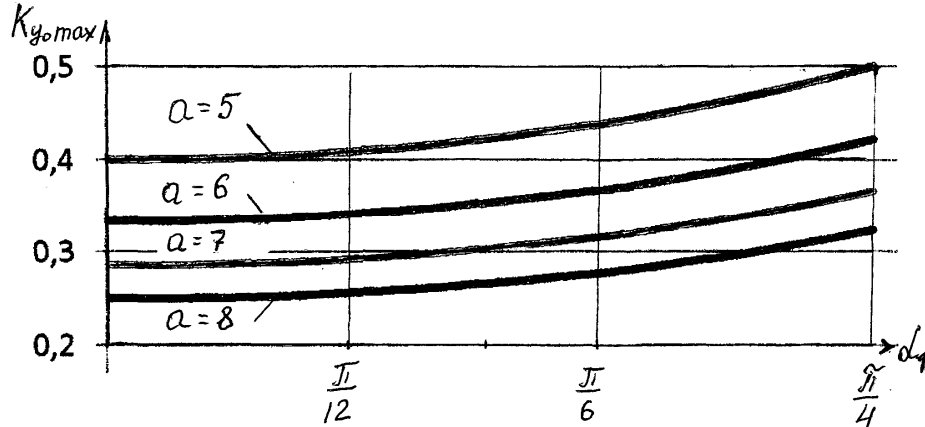


Рис. 4. Графики зависимости вылета пластины от угла ее наклона

Равновесие пластины длиной h , наклоненной под углом α (рис. 5), определяется равенством нулю суммы моментов сил относительно точки пересечения линий действия центробежной силы $m\omega^2 r$ и приложенной к пластине силы F (точка O). Условие равновесия пластины под действием перпендикулярной силы (плечо $h/\sin \alpha + h \sin \alpha$) и реакции корпуса насоса F (плечо $h \cos \alpha$) записывается в виде

$$Nh \cos \alpha = F_{mp} h(1/\sin \alpha + \sin \alpha) = F h \frac{1 + \sin^2 \alpha}{\sin \alpha}, \quad (11)$$

отсюда

$$F_{mp} = N \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{1 + \sin^2 \alpha} \rightarrow F_{mp} = N \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \rightarrow F_{mp} = N \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha}. \quad (12)$$

С другой стороны, сила трения не может превышать значения μN — силы трения скольжения, поэтому

$$\mu \geq \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha}. \quad (13)$$

Это неравенство должно выполняться при всех значениях угла α . Следовательно, минимальный коэффициент трения μ определяет максимум функции $(2x^2 + 1/x^2)^{-1}$, где $x^2 = \operatorname{tg} \alpha$.

Из тождества $2x^2 + 1/x^2 = (\sqrt{2}x - 1/x)^2 + 2\sqrt{2}$ следует, что максимальное значение $\frac{1}{2\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{ctg}\alpha}$ равно $\frac{1}{2\sqrt{2}} = \sqrt{2}/4$ и достигается при $x^2 = \operatorname{tg}\alpha = \sqrt{2}/2$. Таким образом, искомый минимальный коэффициент трения равен $\mu_{\min} = \sqrt{2}/4$.

Направление силы может меняться в пределах $\pm\varphi$. Тогда (рис. 5)

$$\frac{h\operatorname{ctg}\alpha}{\sin[180^\circ - (\alpha + \varphi)]} = \frac{x_1}{\sin\varphi} \rightarrow x_1 = \frac{h\operatorname{ctg}\alpha \sin\varphi}{\sin[180^\circ - (\alpha + \varphi)]} \rightarrow x_1 = h \frac{\sin\varphi}{\sin(\alpha + \varphi)} \operatorname{ctg}\alpha; \quad (14)$$

$$x_2 = h \frac{\sin\varphi}{\sin(\alpha - \varphi)} \operatorname{ctg}\alpha. \quad (15)$$

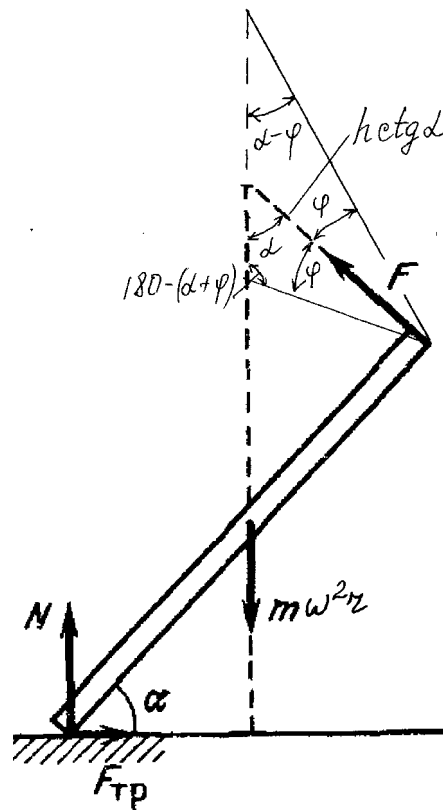


Рис. 5. Схема действия сил наклонной пластины

В этом случае $\mu \geq \frac{\cos\alpha}{\frac{1 + \sin^2\alpha}{\sin\alpha}}$.

Минимальный коэффициент трения для силы направленной вверх

$\mu \geq \frac{\cos\alpha}{\frac{1 + \sin^2\alpha}{\sin\alpha} - \frac{\sin\varphi}{\sin(\alpha + \varphi)} \operatorname{ctg}\alpha}$, а для силы направленной вниз

$\mu \geq \frac{\cos\alpha}{\frac{1 + \sin^2\alpha}{\sin\alpha} + \frac{\sin\varphi}{\sin(\alpha - \varphi)} \operatorname{ctg}\alpha}$.

Графическое изображение условий равновесия сил представлено на рисунке 6.

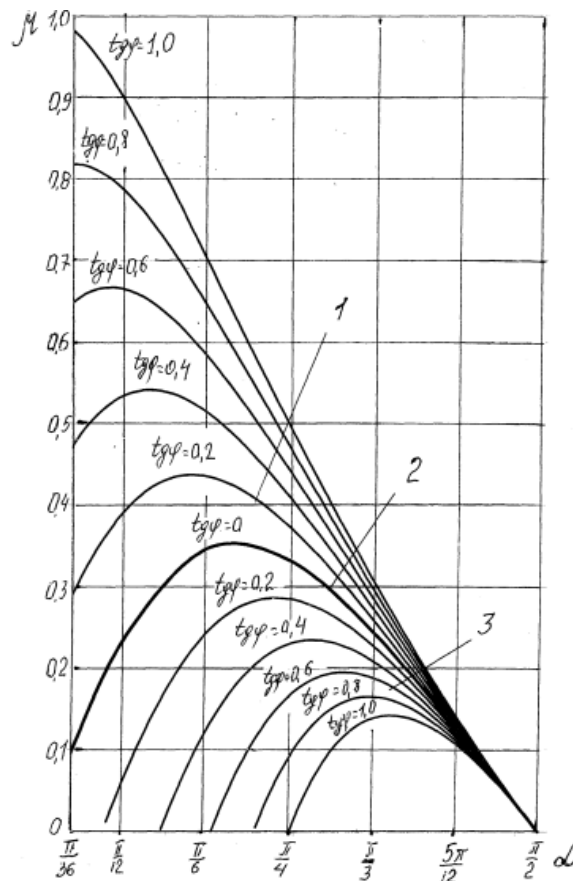


Рис. 6. Коэффициенты трения наклонных пластин при движении в пазу ротора: 1 – пластина движется вверх; 2 – перемена движения; 3 – пластина движется вниз

Заключение. Наклон пластин снижает проводимость щели в месте контакта верхней кромки пластины с корпусом насоса в сравнении со щелью, образуемой радиальной пластиной. Увеличению межремонтного срока службы насосов способствуют углы их наклона в интервале $15-45^\circ$, вызывающие рост выступающей части пластины. Угол наклона пластины определяется коэффициентом скольжения пластины по корпусу насоса.

Список использованных источников

1. Зеленецкий С.Б. Ротационные пневматические двигатели / С.Б. Зеленецкий, Е.Д. Рябков, А.Г. Микеров // – Л. Машиностроение, 1976. – 240с.
2. Передня В.И. Исследование параметров вакуумных насосов / В.И. Передня, М.В. Колончук // Научно-технический прогресс в животноводстве – перспективные ресурсосберегающие машинные технологии : Сб. науч. трудов 8-ой междунар. науч.-практ. конф.; / Всерос. науч.-исслед. и проектно-технологический ин-т механизации животноводства, том 15, Ч.2 ; редкол. : Ю.А. Иванов [и др.]. – Подольск, 2005. –с. 106–115
3. Казаровец Н.В. Современные технологии и технический сервис в животноводстве: монография / Н.В. Казаровец, В.П. Миклуш, М.В. Колончук. – Минск : БГАТУ, 2008. – 788 с.

Аннотация

Определение граничных условий применения наклонных пластин ротационных вакуумных насосов

Миклуш В.П., Колончук М.В., Науменко А.А.

Рассмотрены условия применения наклонных пластин в ротационных вакуумных насосах. Разработаны предложения по проектированию элементов конструкций насосов

Abstract

Definition of boundary conditions of application of inclined plates in rotational vacuum pumps

V. Miklush, M. Kolonchuk, A. Naumenko

Investigations of vacuum pump's theoretical and experimental researches are considered. Recommendations are given for it's construction