

УДК 637.116:621.65

**В.М. Колончук,  
Ф.Д. Сапожников, Г.Г. Тычина**

*(УО «БГАТУ»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

**В.К. Клыбик, М.В. Колончук**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

## **БЕССМАЗОЧНЫЙ ПЛАСТИНЧАТЫЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС ДЛЯ УСТАНОВОК ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЕНИЯ КОРОВ**

### **Введение**

В настоящее время многие фирмы изготавливают насосы с прессованными графитовыми пластинами высокой прочности. Графитовые пластины успешно работают в вакуумных насосах, если точка росы всасываемого воздуха не опускается ниже 0 °С. Коэффициенты трения пластин из графитовых материалов по цилиндру и пазам ротора остаются постоянными в диапазоне изменения окружной скорости пластины до 13 м/с. Так, для марок АО-1500, ПК-0 и 2П-1000 они равны 0,2 при всасывании воздуха с точкой росы не ниже 0 °С. Материал пластин химически стоек, не впитывает воду. Износ графитовых пластин (в зависимости от марки графита) составляет 0,2—0,5 мм за 1000 ч работы. Характерной особенностью работы пластин из графитовых материалов при умеренных окружных скоростях является отсутствие износа цилиндра, так как частички графита вкрапливаются в неровности металлического цилиндра и на поверхности цилиндра образуется тонкая графитовая пленка, по которой скользят пластины. Специфика проектирования вакуумных насосов малой производительности для доильных установок индивидуального доения коров состоит в том, что их основные детали (корпус и ротор) имеют малые размеры – до 100...120 мм. Опытный образец пластинчатого вакуумного насоса производства ОАО «Завод Промбурвод» АВС-610 быстро нагревался, снижая быстроту действия.

Цель работы – выявление причин недостаточной надежности насоса.

### **Основная часть**

Нами проведен анализ конструктивных параметров насоса (таблица 1). Значение эксцентриситета принимают равным  $e = (0,095...0,17)R$ .

В насосах с тангенциальными пластинами отношение их ширины к эксцентриситету  $h/e = 5,0...6,6$ . У рассматриваемого насоса эта величина составляет 4,5. При значении  $R = 52,5$  мм эксцентриситет составляет от 5 до 9 мм. При значении  $h = 45$  мм эксцентриситет составляет от 5 до 7 мм. Принятый эксцентриситет (10 мм) насоса завышен исходя из обоих пока-

зателей. Тем самым повышена производительность насоса. Однако чрезмерное значение эксцентриситета увеличивает потери на трение пластин в пазах ротора, и возрастают угол между радиусом цилиндра и направлением паза, а также изгибающий момент, действующий на пластину, затрудняя ее движение по пазу ротора. Меньшее значение эксцентриситета рекомендуется для насосов, имеющих большое отношение давлений (к ним относятся и доильные установки). Значение эксцентриситета 10 мм завышено. Рекомендуется эксцентриситет, равный 7 мм.

Таблица 1. – Фактические геометрические параметры и фазы воздухораспределения вакуумного насоса ABC-610 для индивидуального доения коров

Параметры	Фактические
Диаметр корпуса, мм	105
Диаметр ротора, мм	85
Эксцентриситет, мм	10
Производительность геометрическая, м <sup>3</sup> /ч	39
Коэффициент откачки	0,5...0,7
Производительность номинальная, м <sup>3</sup> /ч	18...27
Угол обратного расширения $\delta_2$	40°
Угол всасывания $\alpha_{вс}$	60°
Полный угол всасывания	100°
Угол между нижней кромкой впускного окна и биссектрисой $\delta_1$	80°
Угол сжатия $\varphi_{сж}$	80°
Полный угол сжатия $\alpha_n$	170°
Угол нагнетания $\alpha_{наг}$	100°
Угол выпуска $\alpha$	60°
Угол сжатия заземленного объема $\delta_3$	40°
Угол вредного пространства $\delta$	80°

При конструировании вакуумных насосов практическое значение имеет правильный выбор отношения  $l/d$  длины ротора к его диаметру. Границы этого соотношения для вакуумных насосов, предназначенных для работы с доильными установками, составляют  $l/d = 0,5...1,8$ . Например, отношение  $l/d = 1,0$ , рекомендуемое для вакуумных насосов производительностью 40 м<sup>3</sup>/ч, окупается меньшей металлоемкостью и эффективностью процесса выталкивания воздуха из ячеек ротора. Большие значения отношения затрудняют процесс выталкивания воздуха из ячеек в полость нагнетания и увеличивают металлоемкость вакуумного насоса. При большой частоте вращения ротора сжатый воздух во время выталкивания не успевает весь выходить в нагнетательный трубопровод и перетекает во всасывающую полость насоса, уменьшая коэффициент подачи. Кроме

того, с увеличением отношения  $l/d$  увеличивается вероятность защемления пластины в пазу ротора. При выборе отношения для вакуумных насосов малой производительности нужно придерживаться нижнего предела. Однако уменьшение длины ротора повышает величину утечек в торцах ротора. Принятая длина ротора (70 мм) укладывается в требуемые границы.

Большое значение имеют фазы воздухораспределения (рисунок 1). Угол  $\delta$  в зоне защемленного объема колеблется в больших пределах. При  $z < 10$  угол вредного пространства рекомендуют принимать равным  $(1,0-2,5)\beta$ . То есть фактически от 40 до 90°. Этот угол равен сумме двух углов  $\delta_2$  и  $\delta_3$ . При угле  $\delta_2$  совершается процесс расширения воздуха, перенесенного из полости нагнетания, а  $\delta_3$  – угол сжатия воздуха в защемленном объеме в момент нагнетания. Углы  $\delta_2$  и  $\delta_3$  выбираются из конструктивных соображений, а имеющиеся рекомендации по данному вопросу относятся к насосам с большим числом пластин  $z = 20-30$  и не могут быть использованы для вакуумных насосов дольных установок с малым числом пластин  $z = 4$ .

Угол  $\delta_2$  влияет на температурный режим насоса. Малое значение этого угла (менее 30°) снижает производительность насоса примерно на 8%. При увеличении угла (более 90°) уменьшается температура нагрева корпуса насоса, но повышается потребляемая мощность. Рекомендуется принимать угол обратного расширения  $\delta_2 = \beta/2$ . Величина угла  $\delta_3$  принимается равной 5–25° при любом числе пластин (рисунок 2). Этот угол в зоне защемления мало влияет на производительность насоса, так как в момент разобщения полости насоса с нагнетательным окном воздух вытекает через зазоры, давление защемленного объема резко падает.

В вакуумных насосах с малой частотой вращения нижнюю кромку всасывающего окна целесообразно располагать так, чтобы угол  $\delta_1 = \beta/2$ . Такое конструктивное решение способствует разобщению ячейки со всасывающим патрубком в момент достижения ячейкой своего максимального объема. В вакуумных насосах с большой частотой вращения угол  $\delta_1 = \beta/2$  должен быть несколько меньше (с запаздыванием). Изменение угла  $\delta_1$  в пределах 37–43° мало влияет на быстроту действия насоса.

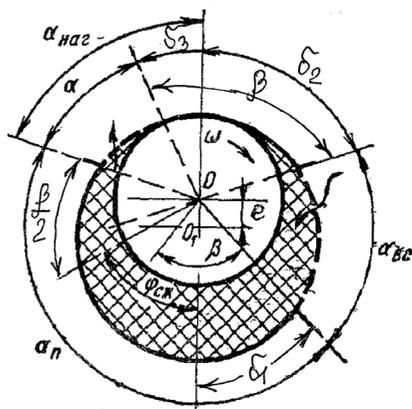


Рисунок 1. – Фазы воздухораспределения вакуумного насоса

Поэтому угол  $\delta_1$  целесообразно выбирать на  $3-5^\circ$  меньше, чем  $\beta/2$ , так как при этом происходит более полное наполнение ячеек воздухом и имеет место запаздывание процесса всасывания.

Полный угол сжатия  $\alpha_n$  характеризует угол поворота ротора относительно корпуса насоса от точки конца всасывания до начала нагнетания (рисунок 2). Оптимальное значение угла  $\alpha_n$  зависит от конструктивных особенностей насоса, монтажных зазоров и системы смазки. Меняется полный угол сжатия  $\alpha_n$  в интервале  $137-165^\circ$  и, соответственно, угол сжатия ( $\varphi_{сж} = 47-75^\circ$ ). Положение верхней кромки нагнетательного окна определяют по приближенной зависимости:

$$\alpha_n = \delta_1 + \varphi_{сж} + \frac{\pi}{z} + \frac{e}{R}\psi \rightarrow \alpha_n = 40^\circ + 70^\circ + 45^\circ + 5^\circ = 160^\circ,$$

где  $\psi$  – угол наклона пластины.

Форма и сечение впускных и выпускных окон, а также их размещение на корпусе оказывают существенное влияние на конструктивно-энергетическую характеристику насоса и, в частности, на избыточное давление в насосе, необходимое для выталкивания воздуха в атмосферу. Форму окон часто выбирают из технологических соображений, без учета других факторов. Овальная, прямоугольная или в виде канала в боковых крышках форма окон выгодна только с точки зрения технологии изготовления, но не преимуществ рабочего процесса выталкивания воздуха в атмосферу. Площадь проходного сечения впускного окна в вакуумных насосах доильных установок принята в 1,5–2 раза больше площади сечения выпускного окна и в 2–4 раза больше площади сечения впускного патрубка.

Приработка пластин завершается тогда, когда профиль верхней кромки пластины принимает определенную форму (рисунок 3) – дуговой периферийной кромки, радиус и положение центра которой определяются соотношениями:

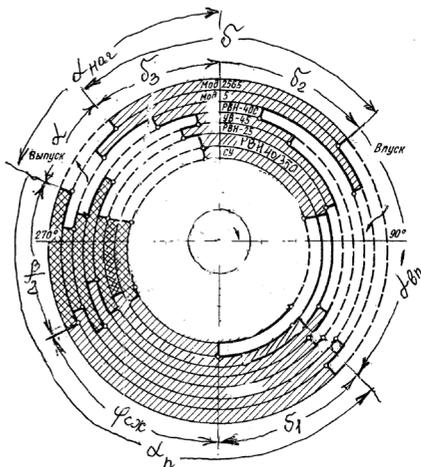
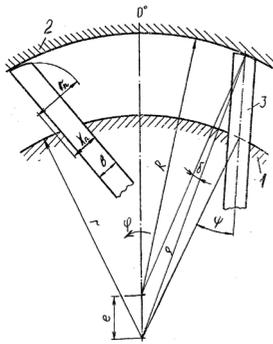


Рисунок 2. – Воздухораспределение вакуумных насосов доильных установок



- 1 – ротор;
- 2 – пластина;
- 3 – цилиндр;
- $e$  – эксцентриситет;
- $b$  – толщина пластины;
- $\psi$  – угол наклона пазов;
- $r_n, X_n$  – координаты центра дуги верхней кромки пластины;
- $R$  – радиус расточки цилиндра;
- $r$  – радиус ротора;
- $\delta$  – угол между прямыми, соединяющими периферийную точку пластины с центрами ротора и цилиндра;
- $\rho$  – текущий радиус

Рисунок 3. – Параметры пластинчатого насоса

$$r_n = \frac{R \cdot b}{2e \sqrt{1 - [(r/R) \sin \psi]^2} + b}; \quad X_n = \frac{r \cdot b}{2e \sqrt{1 - [(r/R) \sin \psi]^2} + b} \cdot \sin \psi + \frac{b}{2},$$

где  $e$  – эксцентриситет;  $b$  – толщина пластины;  $\psi$  – угол наклона пазов;  $r_n, X_n$  – координаты центра дуги верхней кромки пластины;  $R$  – радиус расточки корпуса;  $r$  – радиус ротора.

Выполнение дуги верхней кромки пластины по параметрам ( $r_n = 14$  мм,  $X_n = 6$  см), учитывающим наклон пластин, будет способствовать непрерывному перемещению линейной площадки контакта по всей дуге кромки пластин, устраняя необходимость приработки последних и перетечки воздуха (рисунок 4). Глубина паза должна быть на 0,5...1,0 мм больше длины пластины.

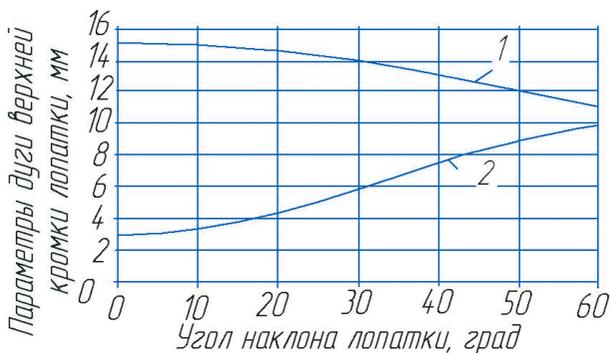


Рисунок 4. – Параметры кромки лопатки

С учетом вышеизложенного рекомендуем следующие геометрические параметры и фазы воздухораспределения изготавливаемого заводом пластинчатого вакуумного насоса АВС-610 (таблица 2).

Таблица 2. – Рекомендуемые геометрические параметры и фазы воздухораспределения изготавливаемого ОАО «Завод Промбурвод» вакуумного насоса АВС-610 для индивидуального доения коров

Параметры	Фактические	Рекомендуемые
Диаметр корпуса, мм	105	100
Диаметр ротора, мм	85	85
Эксцентриситет, мм	10	7
Производительность геометрическая, м <sup>3</sup> /ч	39	21
Коэффициент откачки	0,5...0,7	0,5...0,7
Производительность номинальная, м <sup>3</sup> /ч	18...27	10...15
Угол обратного расширения $\delta_2$	40°	40°
Угол всасывания $\alpha_{вс}$	60°	100°
Полный угол всасывания	100°	140°
Угол между нижней кромкой впускного окна и биссектрисой $\delta_1$	80°	40°
Угол сжатия $\varphi_{сжк}$	80	70°
Полный угол сжатия $\alpha_n$	170°	160°
Угол нагнетания $\alpha_{наг}$	100°	60°
Угол выпуска $\alpha$	60°	55°
Угол сжатия заземленного объема $\delta_3$	40°	5°
Угол вредного пространства $\delta$	80°	50°
Параметры верхней кромки пластины, мм	Требования отсутствуют	$r_n = 14 \text{ мм}$ , $X_n = 6 \text{ см}$

### Заключение

Для повышения производительности и улучшения конструктивно-энергетических показателей серийного вакуумного насоса АВС-610 рекомендуется углы всасывания увеличить с 60° до 100°. Углы сжатия и выпуска следует уменьшить на 6–8 %, а углы нагнетания и сжатия заземленного объема – на 40 и 85 % соответственно. При данных геометрических параметрах корпуса и ротора эксцентриситет насоса также следует уменьшить. Модернизация насоса позволит сохранить показатели надежности в соответствии с нормативными требованиями.

19.10.2015