

Перспективы применения частотного регулирования водокольцевых вакуумных насосов в машинном доении коров

***И.З. Аширов, к.т.н., А.П. Козловцев, к.т.н.,
А.А. Сорокин, к.т.н., ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ***

В условиях современного состояния мирового рынка, когда в результате межгосударственной политической борьбы продовольственная безопасность страны встаёт на первый план, доминирующее

положение занимает решение проблемы импорто-замещения. Собственное производство продукции народного потребления в России не позволяет в полной мере удовлетворить потребности населения. Особенно острой является ситуация в обеспечении потребителя качественной и доступной продукцией мясного и молочного животноводства, так

как в этих отраслях доля импорта очень высока. Экономическая эффективность молочного животноводства и качественные показатели молока далеко не в последнюю очередь зависят от уровня механизации технологических процессов.

В настоящее время молочно-товарные фермы оснащены современными доильными установками. При работе доильных установок одним из важных факторов, влияющих на эффективность работы доильных аппаратов и здоровье лактирующих животных, является постоянство вакуумного режима.

С целью определения перспективы применения частного регулирования водокольцевых вакуумных насосов в машинном доении коров была проведена оценка их технико-экономических показателей.

Объекты и методы исследования. Анализ современных доильных установок показал, что производители всё чаще комплектуют вакуумные установки водокольцевыми вакуумными насосами (ВВН). Причинами такой популярности ВВН перед другими типами вакуумных машин являются высокая объёмная производительность, отсутствие трущихся деталей, простота конструкции, высокие эргономические показатели.

Водокольцевые вакуумные установки (ВВУ) изготавливаются с замкнутым контуром циркуляции рабочей жидкости (рис. 1). Эта конструкция позволяет использовать выделенную тепловую энергию при работе ВВН, экономить потребление воды и увеличивает ресурс ВВН. Основным недостатком таких ВВУ, с которым приходится мириться, является высокий нагрев рабочей жидкости (достигает 80°C) в процессе эксплуатации.

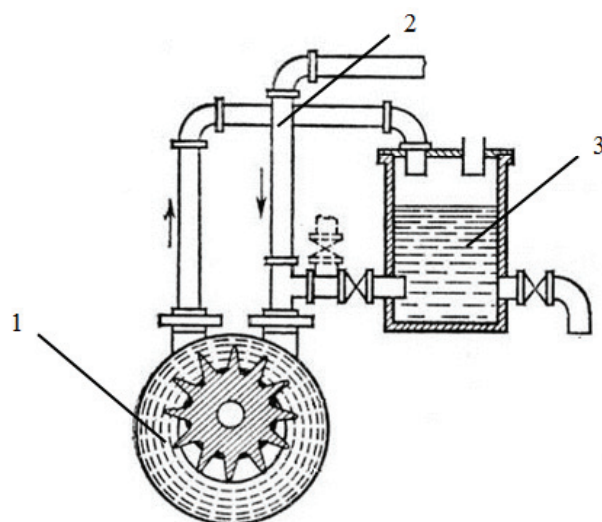


Рис. 1 – Водокольцевая вакуумная установка:
1 – водокольцевой вакуумный насос; 2 – вакуум-провод; 3 – ёмкость для рабочей жидкости

Особенность режима машинного доения заключается в поддержании постоянного значения вакуума в интервале времени. Однако нагрев рабо-

чей жидкости не позволяет использовать традиционный способ регулирования вакуумного режима (дроссельный). При использовании этого способа давление на входе в насос снижается до 20 кПа, что соответствует давлению насыщенного пара воды при 60°C, а температура воды достигает 80°C. Это приводит к частичному вскипанию поверхностного слоя жидкостного кольца и образованию кавитации. Продолжительная работа насоса при кавитации приводит к разрушению лопастей рабочего колеса. В соответствии с вышеизложенным регулирование вакуумного режима ВВУ осуществляется методом подсоса дополнительного воздуха.

Результаты исследований. Совместную работу ВВУ и доильной установки с тремя доильными аппаратами можно графически показать следующим образом (рис. 2).

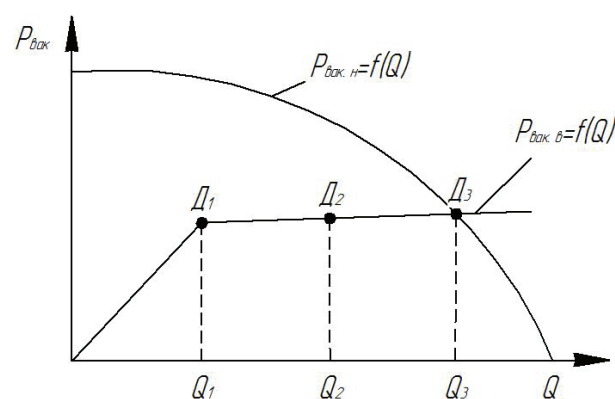


Рис. 2 – Режимная характеристика совместной работы ВВУ и доильной установки:

$P_{\text{вак.н}} = f(Q)$ – характеристика насоса; $P_{\text{вак.в}} = f(Q)$ – характеристика вакуум-провода; D_1, D_2, D_3 – рабочие точки вакуумпровода соответственно с одним, двумя, тремя доильными аппаратами

Из графика видно, что ВВН выбран по максимальному расходу воздуха доильной установки, когда одновременно работают три доильных аппарата. Но в процессе машинного доения доильные аппараты периодически отключаются от вакуум-провода, что приводит к снижению потребляемого воздуха. Чтобы исключить изменение вакуумного режима, стандартный регулятор компенсирует недостачу воздуха, тем самым поддерживая вакуум на необходимом уровне.

Вследствие этого режим ВВН постоянен и не зависит от количества потребителей, что ведёт к снижению КПД доильной установки, который в первом приближении можно определить:

$$\eta_{\text{дв}} = \eta_{\text{дв}}^{\text{н}} \cdot k, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{дв}}$ – КПД доильной установки в реальном режиме;
 $\eta_{\text{дв}}^{\text{н}}$ – КПД доильной установки в номинальном режиме;
 k – коэффициент режима работы доильной установки.

В свою очередь:

$$k = \frac{n - n_0}{n}, \quad (2)$$

где n – номинальное количество доильных аппаратов;

n_0 – количество отключенных доильных аппаратов.

Для регулирования вакуумного режима предлагается плавно изменять частоту вращения рабочего колеса ВВН адекватно потребной производительности за счёт использования преобразователя частоты (ПЧ) электрического тока. В настоящее время ПЧ нашли широкое применение в различных отраслях производства, что показывает эффективность и надёжность их использования.

Совместная работа ВВУ с частотным регулятором и доильной установки с тремя доильными аппаратами графически показана на рисунке 3.

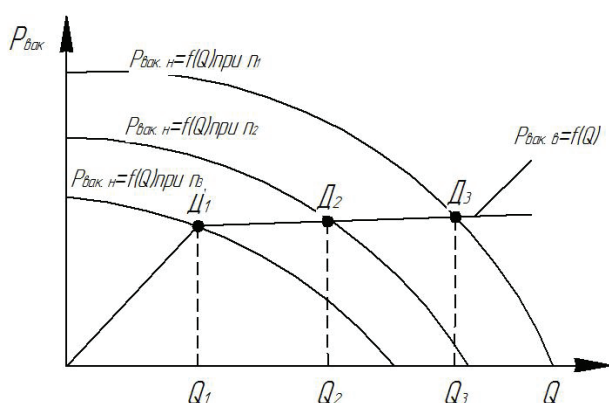


Рис. 3 – Режимная характеристика при частотном регулировании ВВН

ВВН выбран также по максимальному расходу воздуха доильной установки, когда одновременно работают три доильных аппарата. Но в процессе регулирования, чтобы исключить изменение вакуумного режима, меняется характеристика насоса, тем самым поддерживая вакуум на необходимом уровне. Таким образом, применение частотного регулирования режима работы вакуумного насоса позволяет повысить КПД доильной установки, а следовательно, повысить экономическую эффективность машинного доения.

С другой стороны, преимущество данного способа регулирования можно оценить, рассматривая баланс мощности самого ВВН. Мощность N на валу ВВН [1, 2] складывается из мощности $N_{сж}$, затрачиваемой на сжатие и перекачку воздуха; мощности N_z , затрачиваемой на преодоление гидравлических сопротивлений, возникающих в жидкостном кольце; мощности N_m , затрачиваемой на преодоление механических потерь:

$$N = N_{сж} + N_z + N_m. \quad (3)$$

Мощность сжатия газа в ВВН описывается выражением:

$$N_{сж} = P \cdot Q \frac{n}{n-1} \left[\left(\frac{P_n}{P} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \cdot \lambda, \quad (4)$$

где P – абсолютное давление во всасывающей полости, Па;

Q – расход воздуха, м³/с;

n – показатель политропы;

P_n – абсолютное давление в нагнетающей полости, Па;

λ – коэффициент откачки.

Мощность $N_{тр}$, затрачиваемая на преодоление сил трения, не превышает 1–1,5% эффективной мощности, определяется:

$$N_{тр} = M_{тр} \cdot \omega, \quad (5)$$

где $M_{тр}$ – момент сил трения, Нм;

ω – угловая скорость рабочего колеса, с⁻¹.

Мощность, затрачиваемая на перемещение жидкости в кольце N_z , складывается из мощности $N_{дл}$, затрачиваемой на преодоление сил трения при движении жидкости в безлопаточном пространстве, и мощности N_k , затрачиваемой на преодоление сил трения и потерь на вход и выход жидкости при движении её в колесе. Существующие методики [1, 2] определения мощности N_z предполагают громоздкую формулировку, из которой следует, что мощность N_z насоса с определёнными конструктивными параметрами является функцией от числа Рейнольдса Re и угловой скорости ω рабочего колеса:

$$N_z = f(Re; \omega). \quad (6)$$

Выводы. При изменении производительности ВВН уменьшением частоты вращения рабочего колеса за счёт частотного регулирования снижается потребляемая мощность и возрастает КПД установки.

Однако использование этого метода регулирования требует теоретической и экспериментальной верификации, в процессе которой необходимо определить:

- геометрические параметры жидкостного кольца при работе в переходных процессах;
- зависимость КПД ВВН от частоты вращения рабочего колеса;
- скорость отклика системы на изменения вакуумного режима;
- граничные значения регулирования.

Литература

1. Райзман И.А. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры. Казань, 1995.
2. Тетерюков В. И. Ротационные вакуум-насосы и компрессоры с жидкостным поршнем. М.: Машгиз, 1960. 250 с.