

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 637.116.4

МЕТОДИКА АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

А. В. КИТУН

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: ktmg@batu.edu.by

П. Ю. КРУПЕНИН

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: pavel@krupenin.com

(Поступила в редакцию 17.05.2021)

Животноводство является важнейшим звеном агропромышленного комплекса. Рост производства продукции животноводства, снижение затрат кормов и труда на единицу продукции невозможны без рационального использования средств механизации технологических процессов на животноводческом предприятии.

К сожалению, в ряде сельскохозяйственных предприятий все еще сохраняется поверхностный подход к средствам механизации, используемым на животноводческих фермах и комплексах. В результате небрежного отношения к технике, неправильной ее эксплуатации и плохой организации технического обслуживания такие предприятия несут существенные потери. Своевременная диагностика и обслуживание доильного оборудования позволяют избежать негативных последствий, проявляющихся в падении продуктивности животных и росте числа заболеваний.

Решению этой проблемы должно содействовать расширение практики диагностирования доильного оборудования с использованием специализированного оборудования, позволяющего с высокой точностью определять такие рабочие параметры технического состояния узлов доильной установки, как вакуумметрическое давление и расход воздуха. Однако на этом пути имеются подводные камни в виде различий в нормативно-технической документации стран СНГ и дальнего зарубежья, регламентирующей порядок проведения диагностических операций и анализ получаемых данных.

Из отечественных образцов диагностического оборудования заслуживает внимания прибор проверки доильных установок ППДУ-01, позволяющий измерять уровень вакуумметрического давления в статических и динамических режимах работы доильного оборудования и расход воздуха. В связи с тем, что объем воздуха изменяется при изменении его температуры и давления, то измеренные значения подлежат приведению к определенным стандартным условиям. Математические зависимости, используемые для этого приведения, установлены в соответствующей нормативно-правовой документации.

Ключевые слова: диагностирование, доильная установка, вакуумная насосная станция, неисправность, водокольцевой насос.

Livestock raising is the most important link in the agro-industrial complex. An increase in the production of livestock products, a decrease in the cost of feed and labor per unit of production is impossible without the rational use of means of mechanizing technological processes at a livestock enterprise.

Unfortunately, a number of agricultural enterprises still retain a superficial approach to the means of mechanization used on livestock farms and complexes. As a result of neglect of equipment, improper operation and poor organization of maintenance, such enterprises incur significant losses. Timely diagnostics and maintenance of milking equipment allow avoiding the negative consequences manifested in a drop in animal productivity and an increase in the number of diseases.

The solution to this problem should be facilitated by the expansion of the practice of diagnosing milking equipment with the use of specialized equipment that makes it possible to determine with high accuracy such operating parameters of the technical condition of the milking installation units as vacuum pressure and air flow. However, this path has pitfalls in the form of differences in the normative and technical documentation of the CIS countries and far abroad, which regulates the procedure for conducting diagnostic operations and analyzing the data obtained.

Of the domestic samples of diagnostic equipment, the device for checking milking installations PPDU-01 deserves attention, which allows you to measure the level of vacuum pressure in static and dynamic modes of operation of milking equipment and air consumption. Due to the fact that the volume of air changes with a change in its temperature and pressure, the measured values must be brought to certain standard conditions. The mathematical dependencies used for this reduction are established in the corresponding regulatory documents.

Key words: diagnostics, milking machine, vacuum pumping station, malfunction, water ring pump.

Введение

Животноводство является важнейшим звеном агропромышленного комплекса. Эта отрасль дает человеку ценные продукты питания, а также сырье для промышленности. Рост производства продукции животноводства, снижение затрат кормов и труда на единицу продукции немислимы без рационального использования средств механизации технологических процессов на животноводческом предприятии [1].

К сожалению, в ряде сельскохозяйственных предприятий все еще сохраняется поверхностный подход к средствам механизации животноводческих ферм и комплексов. В результате небрежного отношения к технике, неправильной ее эксплуатации и плохой организации технического обслуживания такие предприятия несут существенные потери. Своевременная диагностика и обслуживание доильного оборудования позволяют избежать негативных последствий, проявляющихся в падении продуктивности и росте числа больных животных [2].

Решению этой проблемы может содействовать расширение практики диагностирования доильного оборудования с использованием специализированного оборудования, позволяющего с высокой точностью определять такие параметры технического состояния узлов доильной установки, как вакуумметрическое давление и расход воздуха [3]. Однако на этом пути имеются подводные камни в виде различий в нормативно-технической документации стран СНГ и дальнего зарубежья, регламентирующей порядок проведения диагностических операций и анализ получаемых данных.

Основная часть

Целью диагностирования вакуумной насосной станции доильной установки является оценка показателей ее работы на предмет соответствия требованиям нормативно-технической документации. Для определения подачи вакуумного насоса могут применяться как простейшие расходомеры, например, индикатор производительности вакуумных насосов КИ-4840 [2], так и современные диагностические комплексы. Из отечественных образцов диагностического оборудования следует отметить прибор проверки доильных установок ППДУ-01, позволяющий определять уровень вакуумметрического давления в статических и динамических режимах работы доильного оборудования, расход воздуха и частоту вращения ротора вакуумного насоса. Прибор ППДУ-01 включен в Государственный реестр средств измерений (сертификат № 11282) и допущен к применению на территории Республики Беларусь [4].

Прибор проверки доильных установок ППДУ-01 состоит из блока измерительного функционального БИФ-01, датчика расхода воздуха ДРВ-01, датчика частоты вращения ДСВ-01, комплекта принадлежностей и пластикового кейса для переноски.

Датчик расхода воздуха ДРВ-01 (рис. 1) предназначен для измерения объемного расхода воздуха.

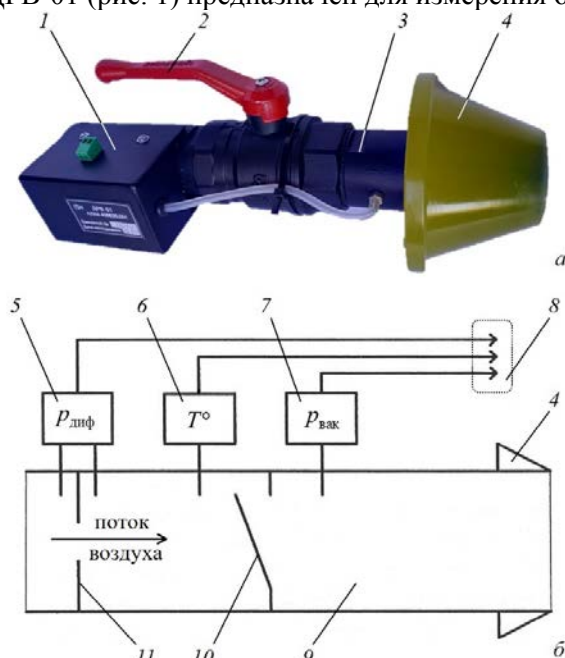


Рис. 1. Датчик расхода воздуха ДРВ-01: *а* – общий вид; *б* – структурная схема; 1 – блок первичных преобразователей; 2 – рукоятка крана; 3 – корпус датчика; 4 – уплотняющий конус; 5 – датчик дифференциального давления; 6 – датчик температуры; 7 – датчик вакуумметрического давления; 8 – коммутационный разъем; 9 – полость; 10 – кран; 11 – диафрагма

Датчик представляет собой полый цилиндрический корпус 3, с одной стороны которого закреплен уплотняющий конус 4, используемый для присоединения (присасывания) датчика к трубопроводам различных диаметров, с другой – блок первичных преобразователей 1 с установленными внутри него датчиками давления 5, 7 и температуры 6. Подключение датчика ДРВ-01 к измерительному блоку осуществляется посредством коммутационного разъема 8.

Принцип работы датчика ДРВ-01 заключается в следующем. При протекании воздуха через внутреннюю полость 9 корпуса датчика диафрагма 11 создает перепад давлений, величина которого пропорциональна квадрату скорости движения воздуха. На основании величины дифференциального давления, регистрируемого датчиком 5, измерительный блок прибора рассчитывает и выводит на экран значение расхода воздуха. Кран 10 служит для регулирования притока воздуха, поступающего через датчик в доильную установку, что необходимо при измерении расхода воздуха при разном вакуумметрическом давлении в системе, текущее значение которого определяется датчиком 7.

В связи с тем, что объем воздуха, как и любого другого газа, зависит от температуры и давления, измеренные значения расхода должны быть приведены к некоторым стандартным условиям. В технических характеристиках вакуумных насосных станций производства стран СНГ подача приводится для стандартных условий по ГОСТ 2939-63 «Газы. Условия для определения объема» [5], иностранного производства – по международному стандарту ISO 6690:2007 «Установки доильные. Механические испытания» [6].

Для приведения фактически измеренной подачи вакуумного насоса к стандартным по ГОСТ 2939-63 «Газы. Условия для определения объема» значениям давления (101,325 кПа) и температуры (293,15 К) используют формулу:

$$Q_{ст} = Q_{изм} \frac{p_{атм} - p_{сист}}{101,325} \cdot \frac{293,15}{T}, \quad (1)$$

где $Q_{изм}$ – измеренное значение подачи, л/мин; $p_{атм}$ – атмосферное давление, кПа; $p_{сист}$ – давление во входном патрубке вакуумного насоса, кПа; T – температура воздуха, К.

При диагностировании вакуумных насосных станций иностранного производства следует ориентироваться на требования стандарта ISO 6690:2007 «Установки доильные. Механические испытания», учитывающего возможность использования частотного регулирования подачи вакуумного насоса. Стандарт предписывает определять значения подачи при разрежении во входном патрубке вакуумного насоса равном рабочему вакуумметрическому давлению доильной установки и при вакуумметрическом давлении –50 кПа. Приведение результатов измерений к стандартным условиям по температуре, давлению и географической высоте расположения доильной установки над уровнем моря осуществляют по формулам:

– измерение при рабочем вакуумметрическом давлении

$$Q_{прив} = Q_{изм} \frac{p_{max} - p_{сист} p_{атм} / p'_{атм}}{p_{max} - p_{сист}} \cdot \frac{293,15}{T}, \quad (2)$$

– измерение при вакуумметрическом давлении –50 кПа

$$Q_{прив} = Q_{изм} \frac{p_{max} - 50 p_{атм} / 101,33}{p_{max} - 50} \cdot \frac{n_{ном}}{n_{изм}} \cdot \frac{293,15}{T}; \quad (3)$$

где p_{max} – максимальное вакуумметрическое давление создаваемое насосом, кПа; $p'_{атм}$ – стандартное атмосферное давление для высоты расположения доильной установки над уровнем моря, кПа; T – температура воздуха, К; $n_{ном}$ – номинальная частота вращения вакуумного насоса, об/мин; $n_{изм}$ – частота вращения вакуумного насоса при давлении во входном патрубке –50 кПа, об/мин.

Вычислительный блок прибора проверки доильных установок ППДУ-01 осуществляет приведение измеренного расхода воздуха к стандартным условиям по ГОСТ 2939-63 или ISO 6690:2007.

Для проведения измерений в соответствии с ГОСТ 2939-63 в меню прибора активируют режим «ПРИ СТАНДАРТНЫХ УСЛОВИЯХ» (рис. 2), в котором на дисплее в ячейке «расход» отображается значение замеряемого в фактических условиях расхода воздуха, а в ячейке «стандартный» – значение расхода воздуха после приведения к стандартным условиям по формуле (1). Также в этом режиме работы на дисплее прибора в ячейке «Рсист» индицируется текущее значение вакуумметрического давления, определяемое датчиком 7 (см. рис. 1, б).



Рис. 2. Представление информации на дисплее при измерении расхода воздуха с приведением к стандартным условиям по ГОСТ 2939-63

При диагностировании вакуумных насосных станций иностранного производства в меню прибора ППДУ-01 активируют режим «ПРИ РАБОЧЕМ ДАВЛЕНИИ» или «ПРИ ДАВЛЕНИИ -50 кПа», в которых вычислительный блок осуществляет приведение значений расхода воздуха по формуле (2) или (3) соответственно.

Анализ технического состояния вакуумной насосной станции доильной установки выполняют путем сопоставления значений диагностических параметров с ее технической характеристикой. С помощью прибора проверки доильных установок ППДУ-01 возможно определение следующих диагностических параметров: частота вращения, вакуумметрическое давление, подача воздуха.

Рассмотрим методику анализа диагностических данных на примере вакуумной насосной станции СН-60А с водокольцевым вакуумным насосом.

Согласно технической характеристике насосной станции СН-60А, максимально развиваемое ею вакуумметрическое давление $[p]$ составляет -80 кПа [7]. Фактическое значение разрежения p может быть ниже допускаемого $[p]$ из-за утечек воздуха, которые подразделяются на внешние и внутренние.

При внешней утечке воздух поступает внутрь насоса через неплотности всасывающего патрубка 6 (рис. 3), изношенное торцевое уплотнение ротора 10 или негерметичные соединения подпиточной трубки 11.

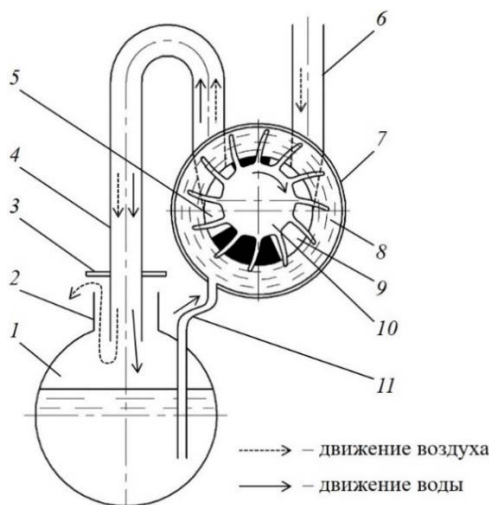


Рис. 3. Конструктивно-технологическая схема вакуумной насосной станции СН-60А:

- 1 – бак; 2 – горловина; 3 – брызгозащитный диск; 4 – выходной патрубок; 5 – выходное окно; 6 – всасывающий патрубок; 7 – корпус; 8 – водяное кольцо; 9 – всасывающее окно; 10 – ротор; 11 – подпиточная трубка

Внутренняя утечка обусловлена перетеканием воздуха внутри корпуса 7 насоса из выходного патрубка 4 во всасывающий патрубок 6 вследствие увеличенного зазора между ротором 10 и торцевой крышкой с выходным 5 и всасывающим 9 окнами. Утечка также происходит в случае нарушений герметичности отдельных полостей, образующихся между лопастями вращающегося ротора 10 и поверхностью водяного кольца 8. Ее причинами могут являться как механические повреждения ротора (облом, трещины, сколы лопастей), так и недостаточная толщина водяного кольца вследствие засорения подпиточной трубки 11 или недостаточного уровня воды в баке 1 насосной станции.

Номинальная подача насосной станции СН-60А при вакуумметрическом давлении -50 кПа составляет (65 ± 5) м³/ч. Проверка фактической подачи осуществляется при проведении технического обслуживания ТО-2, выполняемого через каждые 1200 часов работы. Вакуумная станция считается технически исправной, если фактическое значение подачи Q составляет не менее 80 % от номинального, т. е. не менее 48 м³/ч или 800 л/мин [7].

Факторами, приводящими к снижению подачи вакуумного насоса, помимо вышеописанных механических повреждений ротора *10* и засорения подпиточной трубки *11*, могут являться крупные отложения накипи в пространстве между лопастями ротора, повышенная температура воды в баке *1* и чрезмерное сопротивление движению воздуха в выходном патрубке *4*.

Образование толстого слоя накипи на лопастях ротора водокольцевого вакуумного насоса происходит по причине высокой концентрации солей кальция и магния в воде. Чем больше этих солей, тем более «жесткой» является вода [8]. Крупные отложения накипи сокращают полезный объем полостей между лопастями ротора. Покрытый накипью ротор за один оборот перемещает меньший объем воздуха, что закономерно приводит к снижению подачи вакуумного насоса в целом.

Также негативное влияние на подачу водокольцевого вакуумного насоса оказывает повышение температуры воды в баке насосной станции. Увеличение температуры водяного кольца приводит к большему нагреву воздуха внутри насоса, что, в соответствии с законами термодинамики, влечет за собой увеличение его объема. Тепловое расширение воздуха внутри вакуумного насоса неизбежно приводит к снижению эффективности его работы. Например, подача вакуумной насосной станции СН-60А снижается на 20 % при повышении температуры воды в ее баке с 20 до 50 °С [7].

При этом следует отметить, что нагрев воды в баке во время работы водокольцевого вакуумного насоса неизбежен. Для технически исправной вакуумной насосной станции СН-60А рост температуры воды со скоростью 30 °С за 1 час работы является нормой [9]. Более быстрый нагрев воды может происходить из-за неправильной сборки насоса, в результате которой не обеспечивается необходимый зазор между торцом ротора *10* и крышкой с всасывающим *9* и выходным *5* окнами. Отсутствие зазора вызывает трение деталей друг о друга с выделением дополнительной теплоты.

Скорость нагрева воды также зависит от ее количества в баке: чем меньше объем воды, тем быстрее она будет нагреваться. Оптимально бак вакуумной насосной станции всегда должен быть заполнен водой до метки «МАХ» на его боковой поверхности.

Третьим фактором снижения подачи является избыточное сопротивление движению воздуха в выходном патрубке насоса. Вместе с воздухом в выходной патрубке водокольцевого насоса также поступает и некоторое количество воды. С целью уменьшения расходования воды при работе насоса, конец выходного патрубка *4* заведен в горловину *2* водяного бака *1*, внутри которого происходит разделение воздушно-водяной смеси: вода остается в баке, а воздух выходит наружу через Г-образный зазор между патрубком, горловиной и брызгозащитным диском *3*. Сокращение проходного сечения этого зазора, например, по причине слишком низкого расположения брызгозащитного диска, создает избыточное давление (противодавление) в выходном патрубке, что, в свою очередь, приводит к уменьшению подачи вакуумного насоса.

Заключение

Применение современных диагностических комплексов обеспечивает комплексную оценку технического состояния вакуумных насосных станций доильных установок, что позволяет на раннем этапе выявлять возможные неисправности и продлевать срок службы оборудования. Однако, ввиду различий в нормативно-технической документации стран СНГ и дальнего зарубежья, при анализе результатов диагностирования доильного оборудования, и особенно вакуумных насосных станций с частотным регулированием величины создаваемого разрежения, следует использовать соответствующие методы интерпретации получаемых экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китун, А. В. Организационно-экономическая оценка машин и машинных технологий в животноводстве и птицеводстве: учебно-методическое пособие / А. В. Китун, И. П. Бусел, В. И. Передня. – Минск, 2008. – 123 с.
2. Рекомендации по техническому сервису доильного оборудования / М-во сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; подгот.: С. К. Карпович [и др.]; под общ. ред. С. К. Карповича. – Минск: БГАТУ, 2015. – 124 с.
3. Григорьев, Д. А. Технология машинного доения коров на основе конвергентных принципов управления автоматизированными процессами: монография / Д. А. Григорьев, К. В. Король. – Гродно: ГГАУ, 2017. – 216 с.
4. Приборы проверки доильных установок ППДУ-01 // Государственный информационный фонд по обеспечению единства измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oei.by/grsi/view?id=4391357>. – Дата доступа: 04.04.2021.
5. Газы. Условия для определения объема: ГОСТ 2939-63. – Введ. 01.01.1964. – Москва: ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», 1965. – 4 с.
6. Установки доильные. Механические испытания: ISO 6690:2007. – Введ. 15.02.2007. – Женева: Международная организация по стандартизации, 2007. – 48 с.
7. Станция насосная СН-60А. Технический паспорт // ОАО «Гомельский мотороремонтный завод». – Гомель, 2014. – 16 с.
8. Руководство по обеспечению качества питьевой воды // Всемирная организация здравоохранения. – Женева, 2004. – 121 с.
9. Крупенин, П. Ю. Экспериментальное определение тепловых потерь вакуумного насоса водокольцевого типа / П. Ю. Крупенин, Д. К. Гупало // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – С. 287–291.