

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МОЛОКА ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОМЫВКИ ДОИЛЬНО-МОЛОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ ТУРБУЛИЗАЦИИ
МОЮЩЕЙ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ**

¹Лушко А.В., аспирант, Леонов А.Н., д.т.н., ²Китиков В.О. к.т.н., Пунько А.Н. к.т.н.
¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, РБ
²РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности промывки доильно-молочного оборудования (МДО) путем турбулизации моющей жидкости за счет ударной инжекции воздуха. Создание пробковой структуры течения моющей газожидкостной системы позволяет существенно повысить механическое воздействие моющей жидкости на стенки молокопроводов, в результате чего снижается время на промывку, расход воды, воздуха, электроэнергии, и экологическая нагрузка на окружающую среду.

Введение

Молоко содержит в себе полный комплекс всех необходимых для человека веществ, причем в сбалансированной и биологически активной форме. Молоко является важнейшим продуктом питания детей, хотя бы потому, что это единственный продукт, заменяющий материнское молоко в грудном возрасте. Потребление молочных продуктов повышает иммунитет, снижает вероятность заболевания сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями, способствует правильному развитию организма. Биологическая норма потребления одним человеком молочных продуктов в пересчете на молоко составляет 393 кг/год. В 2009 г. фактическое потребление молока в Беларуси составило 240 кг/год [1]. Этот факт является объективной предпосылкой для дальнейшего развития молочной отрасли АПК и молочной промышленности.

По производству молока на душу населения 0,53 т/чел Беларусь занимает лидирующее положение в СНГ (для сравнения аналогичный показатель для России составляет 0,14 т/чел). В 2009 г. в Беларуси было произведено 5,2 млн т. молока – сырья, общая стоимость которого составила 3,9 трлн. руб [1]. Относительно невысокая стоимость произведенного молока объясняется тем, что молоко сорта «Окстра» составило лишь 2% (закупочная цена 1,0 млн. руб/т), высшего сорта – 53% (0,8 млн. руб/т), первого сорта – 40% (0,7 млн. руб/т) и второго сорта – 5% (0,4 млн. руб/т) (схема 2 – 53–40–5). Разработанная в РБ программа «Качество молочной продукции», предполагает увеличение производства молока в ближайшие 10 лет до 8–10 млн. т/год, причем сорт «Окстра» должен составлять не менее 50% [2]. Если предположить, что в ближайшее время будет реализована хотя бы схема 20–60–20–0, то экономический эффект только за счет этого составит 0,4 трлн. руб (10% от стоимости молока, произведенного в 2009 году).

Основная часть

Важнейшим параметром, определяющим качество молока, является величина бактериальной обсемененности, которая для сорта «Окстра» должна быть менее 10^5 см^{-3} [3]. Бактериальная обсемененность определяется, прежде всего, чистотой МДО, так как абсолютно стерильное молоко из вымени в технологической цепочке корова – молокозавод, проходит через различного рода коммуникации, подвергаясь обсеменению микроорганизмами. В результате этого молоко необратимо теряет некоторые физико-химические свойства, становясь непригодным для производства некоторых молочных продуктов (например, сыра). И даже дальнейшее охлаждение обсемененного молока не позволяет получать молочные продукты высокого качества. Недостаточная промывка и дезинфекция МДО приводит к бактериальному обсеменению до $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ [4]. Остатки молока и жира, молочный камень и наледи, обладают большой адгезией к поверхности молокопроводов и потому достаточно трудно удаляются. Полное удаление остатков молока из МДО после дойки является важной научно-технической задачей при производстве молока высокого качества.

Одним из перспективных путей развития молочного животноводства в Беларуси, направленного на повышение его рентабельности (снижение себестоимости и повышение качества молока-сырья, снижение экологической нагрузки на окружающую среду) является полная автоматизация и роботизация МТФ с замкнутым производственным циклом, поголовье которого составит до 1000 голов (в настоящее время основное число МТФ насчитывает 100–300 голов). В связи с увеличением масштаба производства прослеживается тенденция роста протяженности и диаметра молокопроводов, и, как следствие этого, увеличение поверхности, с которой контактирует молоко. Поэтому новые тенденции развития молочного животноводства требуют разработки и внедрения новых технических реше-

ний, направленных на эффективное устранение трудноудаляемых загрязнений с поверхностей МДО, причем эти решения должны сопровождаться пониженным удельным расходом холодной и горячей воды, воздуха, энергии, экологически загрязняющих веществ и эксплуатационных затрат.

Один из трудноудаляемых загрязнений является молочный камень, представляющий собой затвердевшую фракцию жира, белка и неорганических веществ, а также белково-жировые пленки. На эффективность промывки МДО влияют несколько факторов: температура, удельный расход, скорость и характер режима течения моющей жидкости (турбулентный режим, конечно же предпочтительнее ламинарного), шероховатость поверхности молокопроводов, время промывки, количество и качество химических реагентов и ПАВ (щелочной раствор молокосредов, время промывки, количество и качество химического реагента) и ПАВ (щелочной раствор молокосредов – жировые пленки, а кислотный – молочный камень). В настоящее время наиболее эффективным способом очистки МДО является циркуляционная промывка. Именно такой способ заложен в основу применяемых в настоящее время автоматов промывки, обслуживающие все коммуникации, начиная от сосковых стаканов и заканчивая контейнерами по сбору и охлаждению молока. В результате циркуляционной промывки, в которой происходит многократное использование моющего раствора, удалось снизить удельный расход воды, электроэнергии и моющих средств по сравнению с проточной промывкой.

Важнейшей характеристикой турбулентного потока моющей жидкости являются тангенциальные напряжения, благодаря которым и происходит отрыв прилипших частиц молочных загрязнений от поверхности молокопровода. Расчет касательных напряжений при стационарном турбулентном режиме течения моющей жидкости τ в цилиндрической трубе производится по формуле [6]:

$$\tau = \lambda \cdot \frac{\rho V^2}{8}, \quad (1)$$

где λ – безразмерный коэффициент гидравлического трения, ρ – плотность жидкости, кг/м^3 , V – средняя скорость течения моющей жидкости в цилиндрической трубе, м/с .

Скорость турбулизованного потока моющей жидкости V и число Рейнольдса Re , так же как и для ламинарного течения, связаны универсальными соотношениями:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho V^2}{2}, \quad (2)$$

$$Re = \frac{V d \rho}{\eta}, \quad (3)$$

Для определения усредненной скорости турбулизованного потока необходимо уравнение, позволяющее рассчитать коэффициент гидравлического трения λ . Так как величина λ при турбулентном режиме потока жидкости зависит от соотношения величины ламинарного подслоя δ и абсолютной шероховатости стенок молокопровода Δ , то [6]:

$$\delta = \frac{62,8 \cdot d}{\sqrt{Re}}, \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt{Re}}, \quad (\text{гидравлически гладкая труба } \Delta < \delta) \quad (5)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \sqrt{\frac{\Delta}{d}}, \quad (\text{гидравлически шероховатая труба } \Delta > \delta) \quad (6)$$

где d – диаметр трубы, м , Re – число Рейнольдса.

Уравнения (1) – (5) позволяют рассчитать толщину ламинарного подслоя δ , скорость турбулизованного потока V , число Рейнольдса Re , коэффициент гидравлического трения λ , касательные напряжения на стенке цилиндрической трубы τ для гидравлически гладких труб ($\Delta < \delta$) при заданных перепаде давления Δp , диаметре трубы d , длине трубы l , плотности жидкости ρ , вязкости жидкости η , абсолютной шероховатости трубы Δ . Уравнения (1) – (4), (6) позволяют рассчитать те же величины для гидравлически шероховатых труб ($\Delta > \delta$). Для молокопровода длиной $l = 10^2$ м, диаметром $d = 5 \cdot 10^{-2}$ м, при перепаде давления $5 \cdot 10^4$ Па, плотности $\rho = 10^3$ кг/м^3 и вязкости моющей жидкости $\eta = 10^{-3}$ Па·с в таблице приведены рассчитанные параметры турбулизованного потока для гидравлически гладких и шероховатых труб.

Анализ результатов расчета, представленных в таблице, позволяет сделать вывод, что гидравлически шероховатые трубы при меньшем расходе моющей жидкости позволяют получать те же касательные напряжения, что и в гладких трубах. Однако увеличение шероховатости повышает адгезию загрязнений к поверхности и трубы, поэтому вопрос о преимуществе тех или иных труб следует решать экспериментально.

Таблица – Параметры турбулизированного потока

Рассчитанные параметры	Гладкая труба $\Delta = 0,05$ мм	Шероховатая труба $\Delta = 0,5$ мм
1. Толщина ламинарного подслоя δ , мм	0,16	0,21
2. Усредненная скорость потока V , м/с	1,63	1,20
3. Объемный расход моющей жидкости Q , м ³ /ч	11,6	8,5
4. Число Рейнольдса, Re	81 700	59 900
5. Коэффициент гидравлического трения λ	0,019	0,035
6. Касательные напряжения τ , Па	6,3	6,3

Дальнейшего улучшения качества мойки, направленного на увеличение тангенциальных напряжений, способствующих отрыву загрязнений с поверхностей МДО, можно добиться путем энергетической накачки турбулентного потока путем значительного повышения числа Рейнольдса при повышенном расходе воды. Это, на первый взгляд парадоксальное утверждение, базируется на возможности гидравлического удара, который можно создать ударной инжекцией воздуха. В результате гидроудара существенно увеличивается пульсационная составляющая скорости с соответствующим увеличением локального числа Рейнольдса, при этом расход моющей жидкости даже уменьшается. Технически гидроудар можно создать с помощью воздушного инжектора (рисунок).

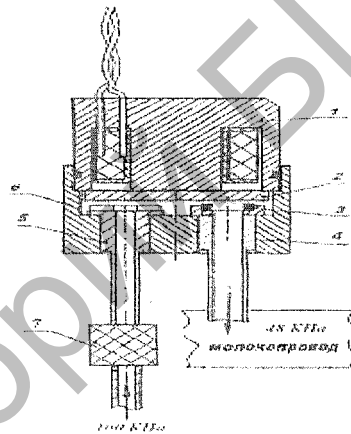


Рисунок – Принципиальная схема воздушного инжектора:

1 – сердечник; 2 – якорь-клапан; 3 – уплотнение; 4, 5 – штуцеры; 6 – корпус; 7 – фильтр

Гидравлические удары, создаваемые инжектором, увеличивают тангенциальные напряжения, действующие на загрязнения. Разработанный инжектор состоит из сердечника 1, якоря 2, штуцеров 4 и 5, корпуса 6. Во время его работы электрический ток по определенной программе подается на обмотку сердечника 1. При этом якорь 2 притягивается к основанию сердечника, и через штуцер 5 при перепаде давления $5 \cdot 10^4$ Па атмосферный воздух через штуцер 4 создает ударную волну, вызванную внезапным изменением скорости жидкости.

При отключении тока якорь 2 под действием вакуума и своего веса плотно прижимается к уплотнению 3 штуцера 4, прекращая подачу воздуха в молокопровод. Эффект от дополнительной ударной турбулентации определяется временем гидроудара τ и периодичностью гидроударов τ_0 . Именно эти величины и соотношение между ними определяют эффективность очистки МДО. Природа явления, о котором идет речь, достаточно сложна, и потому на сегодняшний день, его изучение может быть реализовано статистическими методами.

Заключение

Гидравлический удар представляет собой сложный физический процесс, при котором распространяется ударная волна, вызванная внезапным изменением скорости потока. Локальное повышение числа Рейнольдса при этом может увеличиться в десятки и сотни раз, что неизбежно приведет к существенно-

му повышению тангенциальных напряжений в двухфазном потоке и, следовательно, повышению качества промывки МДЮ. Разработана конструкция воздушного инжектора, позволяющего существенно увеличить касательные напряжения, и, следовательно, эффективность удаления затвердевших фракций молока, что позволяет снизить расход воды, электроэнергии, времени на промывку, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. Процессы возникновения и развития хаотически движущихся и взаимодействующих между собой компонентов двухфазной газожидкостной системы в результате гидроударов носят случайный характер, требуя для своего изучения статистических методов.

Литература

1. Молочная отрасль Республики Беларусь: обзор рынка, тенденции развития // Экономическая газета. – 2005. – 5 авг. – с. 8.
2. Гусаков, В.Г. Состояние и направление укрепления продовольственной безопасности Беларуси / В.Г. Гусаков // Вестн НАН Беларуси. – 2009. – № 2. – С. 5 - 10.
3. Молоко коровье. Требования при закупках: СТБ 1598-2006 – Введено с 1.08.06 – Минск: ГИ БелНИКТИММЦ, 2006. – 20 с.
4. Мамедова, Р.А. Интенсификация циркуляционной промывки доильных установок / автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Р.А. Мамедова; ГИУ ВИСХ РАСХ. – М., 2008. – 20 с.
5. Беляевский, Ю.И. Циркуляционный способ промывки и дезинфекции молочной линии доильных установок / Ю.И. Беляевский – М.: Колос, 1964. – 16 с.
6. Лойдинский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойдинский. – М.: Наука, 1987. – 840 с.

УДК 637.118

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОПУСТИМЫХ ИЗНОСОВ ПЛАСТИН РОТАЦИОННЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Колончук М.В., Кольга Д.Ф., к.т.н., доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

Разработана физическая модель продольного заклинивания пластин ротационных вакуумных насосов. Даны рекомендации по их проектированию и эксплуатации.

Введение

Одним из условий снижения ущерба от отказов доильных установок является совершенствование вакуумных насосов [1]. Внезапные отказы их вызывают остановку процесса доения коров [2]. Основная причина таких отказов – заклинивание изношенных пластин и, как следствие, перегорание обмоток электродвигателей [3]. Знание предельных износов пластин позволяет планировать рациональную периодичность их замены. Цель работы – обоснование допустимых износов пластин.

Основная часть

Основные параметры (ширина, толщина и длина) пластин изменяются в процессе работы вакуумного насоса. В зависимости от условий его эксплуатации износ пластины достигает 2 мм за 100 часов работы. Причем торцовый износ крышек подтверждает наличие продольных колебаний пластины и, следовательно, допускает возможность приложения силы R на расстоянии x от одного из ее торцов (рис. 1). Возникающие вследствие порота пластины в точках A и B силы реакции можно разложить на две составляющие (N_1 и N_2), (f_1 и f_2) касательные к тем же крышкам (силы трения).

Предполагая, что пластина заклинена, должны соблюдаться два равенства. Во-первых, сила R должна быть равна сумме сил трения, чтобы не было поступательного движения пластины. Во-вторых, момент силы R относительно центра масс пластины должен быть равен сумме моментов нормальных составляющих сил реакции относительно того же центра масс.