

В. Ю. МАТВЕЕВ

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ МОЛОЧНЫХ ЛИНИЙ

***Ключевые слова:** коллоидная система, белково-жировые отложения, механизм очистки загрязнений, моюще-дезинфицирующие средства, устройство очистки с активными рабочими органами.*

***Аннотация.** Молоко является сложной коллоидной системой. Жировые отложения представляют наибольшую сложность при очистке молокопровода после доения. Процесс загрязнения поверхности протекает поэтапно. Приведены различные модели и структуры грязевых отложений и механизмы их гидромеханической очистки. Предложено оригинальное устройство для механической очистки молокопроводов с вращающимся рабочим органом.*

В настоящее время идет процесс интеграции России во Всемирную торговую организацию. При этом национальные стандарты по ряду параметров для молока высшего и первого сорта значительно уступают европейским. Так, молоко высшего сорта должно содержать КМАФАнМ, КОЕ/см<sup>3</sup> (г), не более: в России – 300 000, в Восточной Европе – 100 000, в Германии – 50 000, то есть имеется 6-ти кратное отставание от стандартов ЕС по уровню бактериальной загрязненности.

Важную роль при образовании загрязнений молокопроводящих путей доильных установок играют микроструктурные изменения, возникающие в результате воздействия различных физических и технологических факторов.

Молоко является сложной коллоидной системой, которая состоит из жировых шариков (диаметр до 2 мкм), молочных телец, белков, казеиновых телец (диаметр более 2 мкм), частиц коллоидной размерности и растворенных молекул и атомов, которые взаимодействуют между собой [1, 2]. Также возможно присутствие частичек и капелек грязи, которые попадают в молокопровод при доении.

Жировые отложения представляют наибольшую сложность при очистке молокопровода после доения. В 1 см<sup>3</sup> молока содержится 2–4 млрд жировых шариков, окруженных водной фазой [1]. Жировые шарики имеют белково-липоидную оболочку, которая представляет собой поверхностный адсорбционный слой. Наружная сторона пленки жировых шариков, обращенная к водной фазе, состоит из белкового слоя, который, в свою очередь, образует гидратную оболочку. Такое строение оболочки жирового шарика препятствует процессам слияния молочного жира и осаждения его на внутренних поверхностях доильно-молочного оборудования, вызванные стремлением дисперсной среды занять наиболее выгодное энергетическое состояние.

Тем не менее, данные оболочки не обладают достаточной прочностью. Под действием теплового движения возможно взаимное проникновение гидратных слоев жировых шариков с образованием крупных конгломератов. В процессе машинного доения неизбежны различного рода механические воздействия, при этом происходит повышение энергии движения, в результате чего жировые шарики с гидрофилизированной поверхностью, смешиваясь в значительной степени со стабилизирующей их белково-гидратной оболочкой, без труда оседают на поверхности доильного оборудования.

Процесс загрязнения поверхности протекает поэтапно [1, 2]. Сначала при движении молока и воздуха по молокопроводу образуется воздушно-молочная эмульсия, возникают сильно развитые поверхности раздела фаз: плазма – жировые шарики и плазма – воздух. Это вызывает перераспределение концентрации белково-липидной оболочки в пограничных слоях контактирующих фаз. Далее, при столкновении частиц происходит разрушение защитного слоя вокруг жировых шариков, которые становятся более гидрофобными и притягиваются поверхностью воздушного пузырька. Затем, жидкая фракция жира на поверхности воздушного пузырька и сами жировые шарики, лишившись защитной гидрофильно-липоидной оболочки, способствуют усиленному зарождению и росту определенной части кристаллов жира, как на этих поверхностях, так и на стенках молокопровода. На последнем этапе соли кальция, входящие в состав молока, создают армирующий скелет высокой прочности и прочно закрепляют загрязнения на поверхности оборудования, которые образуют твердые отложения в виде молочного камня.

Г.П. Дегтерев [2] разделяет все загрязнения, встречающиеся на молочном оборудовании, на три группы в зависимости от физико-химических процессов формирования загрязнений и их связей с очищаемой поверхностью (рис. 1):

- 1) адгезионные (в виде остатков молока и устойчивых частиц молочного жира);
- 2) поверхностно-адсорбционно связанные (в виде макрочастиц, жира и гелеобразных отложений);
- 3) прочно (глубинно) связанные (в виде «молочного камня»).

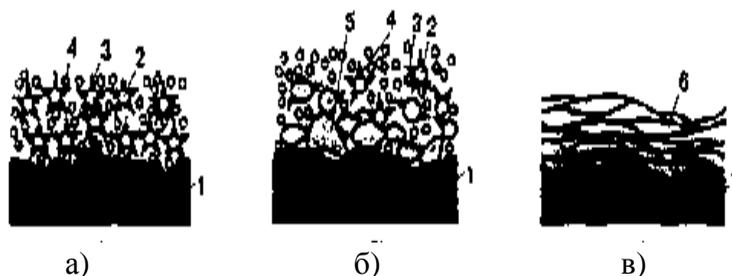


Рисунок 1 – Классификация загрязнений, образующихся на внутренней поверхности молокопровода:

а – адгезионно связанные; б – поверхностно адсорбционно связанные; в - прочно (глубинно) связанные; 1 – поверхность оборудования; 2 – жировые шарики; 3 – молочные тельца; 4 – липоидная оболочка; 5 – макрозерна масла; 6 – молочный камень

Исследователь С. В. Харьков [4] представлял общую структуру молочных загрязнений в виде определенной модели (рис. 2).

За счет сил адгезии к поверхности оборудования примыкают жировые шарики и масленичные зерна с поврежденной оболочкой. Смачивание поверхности молочной плазмой, содержащей частички казеина, молекулы лактозы и другие составные части молока.

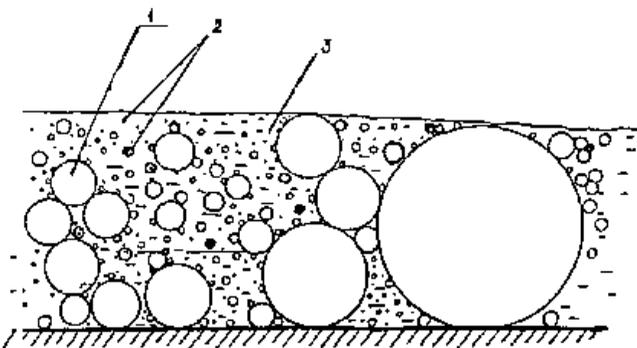


Рисунок 2 – Модель структуры пленки молочных загрязнений  
 1 – жировые шарики; 2 – частички казеина; 3 – молочная плазма

В процессе очистки можно выделить три стадии:

- 1) отделение частиц загрязнений от поверхности молокопровода;
- 2) перевод этих частиц в моющий раствор;
- 3) удержание взвешенных частиц в моющем растворе до его слива без повторного осаждения на поверхности.

Данное представление не учитывает необходимость разрушения довольно сильных связей между соседними жировыми шариками, тем более в загрязнениях в виде подсохших поверхностных пленок.

Механизм очистки загрязнений наиболее полно отразил в своих исследованиях Г. П. Дегтерев [1, 2]. Например, процесс удаления адгезионно связанных загрязнений ученый разделял еще на два этапа: уменьшение толщины слоя и удаление тонкого пристенного пограничного слоя.

Удаление загрязнений с поверхности молокопровода – это, в первую очередь, взаимное проникновение и смешивание дисперсионной среды молочной пленки и моющей жидкости, которое обусловлено их химической однородностью.

Удаление адгезионных загрязнений происходит в результате движения моющей жидкости, потому что в данном случае отсутствует действительное прилипание, а имеет место лишь тесное соприкосновение загрязнений с поверхностью или с загрязнениями другого вида. В этом случае силы аутогезии (силы связи внутри загрязнений) превышают силы адгезии (силы связи между загрязнениями и поверхностью).

Поверхностно-адсорбционно связанные по классификации Г.П. Дегтерева [2] представляют основную часть загрязнений. Эта вто-

рая группа загрязнений образуется в результате физико-механического воздействия на молоко при доении и транспортировании. Макромолекулярный слой их, который содержит молочный жир, активно адсорбируется поверхностью и не удаляется водой. Особенностью загрязнений второй группы является то, что силы в аутогезии в этом случае ниже адгезионных, и они увеличиваются по мере приближения к поверхности. Для удаления загрязнений данного вида необходимы горячие моющие растворы в сочетании с поверхностно-активными веществами. При удалении поверхностной активной пленки, которая состоит из молочного жира и белковых соединений, сначала происходит смачивание моющей жидкостью поверхности оборудования и молочного жира, при этом на них налипают молекулы поверхностно-активных веществ, уменьшая межфазное натяжение на границах фаз моющей раствор – загрязнение, моющей раствор – очищаемая поверхность. В результате этого силы кинематической энергии потока моющей жидкости становится достаточно для преодоления сил сцепления. Слой жира при этом под действием механического воздействия в некоторых местах сдвигается, образуя жировые сегменты, которые переходят в шарообразные капельки, удерживаемые на поверхности силами адгезии.

Прочно (глубинно) связанные загрязнения в виде молочного камня являются наиболее трудноудаляемыми. Для их удаления используют химически агрессивные среды, например, растворы кислот, или прибегают к способам механической очистки с применением высокоэффективных моющих и моюще-дезинфицирующих средств.

Загрязнения третьего вида состоят из жира, белка бактерий и других веществ. В их пленке можно выделить пристеночный и основной слой загрязнений. Толщина пристенного слоя определяется размерами конгломератов, которые образуют жировые шарики между собой, достигающие размера в 400 мкм [4].

Для определения условий разрушения и удаления пристенного слоя молочного жира необходимо рассматривать силы, обуславливающие его прочность. Прочность же пристенного слоя характеризуется силами сцепления жировых частиц между собой и силами прилипания их к поверхности оборудования.

Согласно Б. А. Доронину [3] условие, при котором жировая частица отделится от поверхности молокопровода под действием энергии потока моющего раствора, выглядит следующим образом:

$$F\Delta a \geq G_{1,3}(1 + \cos\Theta)\Delta f,$$

где  $F$  – касательная сила трения, действующая на шарик со стороны потока жидкости, Н;  $\Delta a$  – путь сдвига жирового шарика, м;  $G_{1-3}$  – межфазная энергия на границе молочный жир – моющий раствор, Дж/м<sup>2</sup>;  $\Theta$  – краевой угол смачивания (между вектором  $G_{1-3}$  по касательной к жировому шарика и поверхностью молочного оборудования), град.;  $\Delta f$  – приращение площади контакта жирового шарика с поверхностью молочного оборудования на пути сдвига  $\Delta a$ , м<sup>2</sup>.

Значительно снизить энергию сцепления жировых шариков с очищаемой поверхностью можно за счет уменьшения межфазного натяжения на границе фаз моющий раствор – молочный жир  $G_{1-3}$ , а так же увеличения краевого угла смачивания  $\Theta$ .

В настоящее время для снижения межфазной энергии  $G_{1-3}$  и улучшения качества промывки в молокопровод подают упругие пробки. Схема работы пробки показана на рисунке 3.

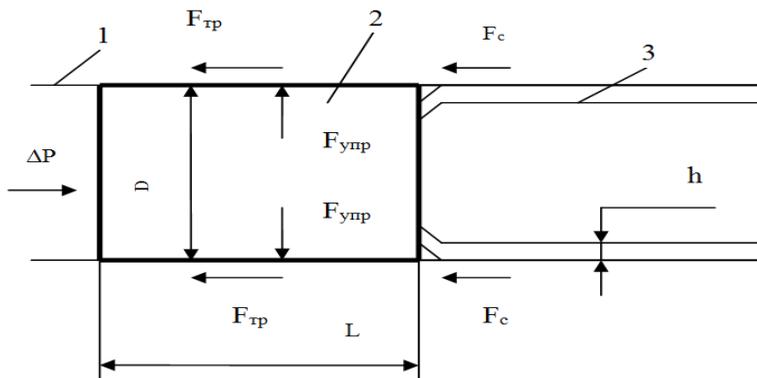


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на упругую пробку в процессе удаления загрязнений:

- 1 – очищаемый молокопровод; 2 – упругая пробка;
- 3 – слой загрязнений

Пробка увлекается силой вакуума и счищает белково-жировые отложения со стенок молокопровода при линейном движении.

Недостатком упругих пробок является то, что они убирают белково-жировые отложения со стенок за 5–6 проходов, во время движения имеют преимущественно линейное движение и относительно быстро изнашиваются.

Мы предлагаем для очистки молокопровода использовать устройство очистки с активными рабочими органами (рис. 4), которое работает следующим образом: вакуум давит на приводной элемент (1),

увлекая его за собой, и приводит его во вращательное движение, он, в свою очередь, через соединительное звено (2) передает это вращательное движение чистящим элементам (3).

В этом случае расход моющего раствора нужен только для «смазывающего» эффекта, которое будет вращаться вместе с пыжом, совершая винтовое движение и эффективно очищая внутреннюю поверхность молокопровода.

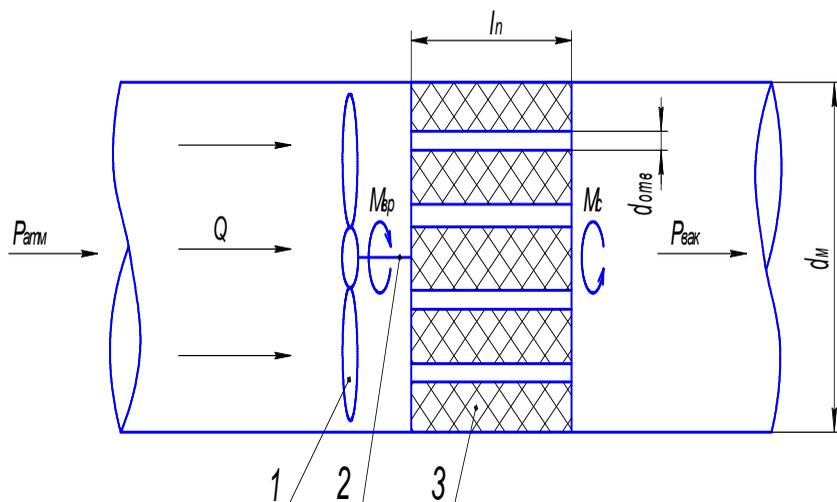


Рисунок 4 – Схема расчета устройства очистки молокопровода:  
 1 – приводной элемент; 2 – соединительное звено;  
 3 – устройство очистки

Воздушный поток «Q», воздействующий на приводной элемент (1), выполненный в виде лопастного вентилятора создает вращательный момент « $M_{вр}$ », который через соединительное звено (2), приводит во вращательное движение устройство очистки – пыж, в котором выполнены внутренние каналы для прохода воздушного потока. Очевидно, что справа от устройства в трубопроводе действует вакуумметрическое давление  $P_{вак}$ , а слева устройство конца трубопровода будет атмосферное давление  $P_{атм}$ . Скорость воздушного потока, поступающего на приводной элемент, будет пропорциональна разности давлений ( $P_{атм} - P_{вак}$ ).

Условное вращение потока запишется следующим образом:  $M_{вр} \geq M_c$

$M_{вр}$ ,  $M_c$  – соответственно вращательный момент, создаваемый приводным элементом и момент сопротивления потока.

Устройство с активным рабочим органом может быть выполнено с электроприводом (рис. 5).

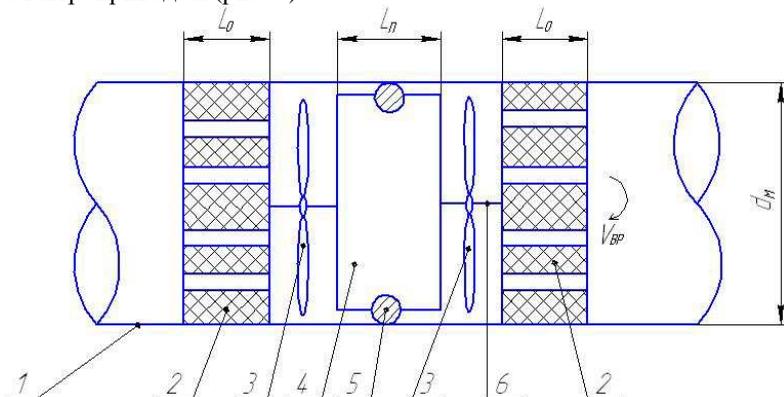


Рисунок 5 – Схема устройства очистки молокопровода:

1 – молокопровод; 2 – очиститель; 3 – вентиляторы; 4 – электропривод; 5 – движители-направляющие; 6 – соединительное звено

Исполнение с электроприводом исключает необходимость применения вакуума, поскольку движение осуществляется за счет воздушного потока, создаваемого лопастными вентиляторами (рис. 5). Устройство имеет симметричную конструкцию, в центре которой расположен электрический движитель с направляющими опорами (5), которые движутся по стенкам трубопровода. Справа и слева от электропривода расположены пылеочистители (2) с внутренними каналами для отвода воздушного потока и промывочной жидкости, которая проходит по стенкам трубопровода, омывая внешний корпус электродвигателя и охлаждая его. Винты (3), приводимые от электродвигателя создают необходимую тягу для самопередвижения и привода очистителей.

Симметричность конструкции позволяет реверсировать режим работы, гасит удары при остановке в концевых устройствах, осуществляя движение по трубопроводу в обратном направлении. Питание электродвигателя осуществляется от аккумулятора, заряжаемого между циклами промывки. Для эффективной очистки трубопровода достаточно 2–3 циклов прохождения устройства.

Для эффективной работы устройства очистки с активным рабочим органом и развития данной технологии является создание двухконтурной технологической системы промывки:

1 – контур: включает – автомат промывки, стенд доильных аппаратов – молокоприемник – молочный насос – автомат промывки (рис. 6).

При этом жидкость циркулирует по малому контуру, эффективно промывая доильную аппаратуру, с большой скоростью, не остывая и с малым количеством моющего раствора.

2 – контур представляет собой закольцованную линию молокопроводов.

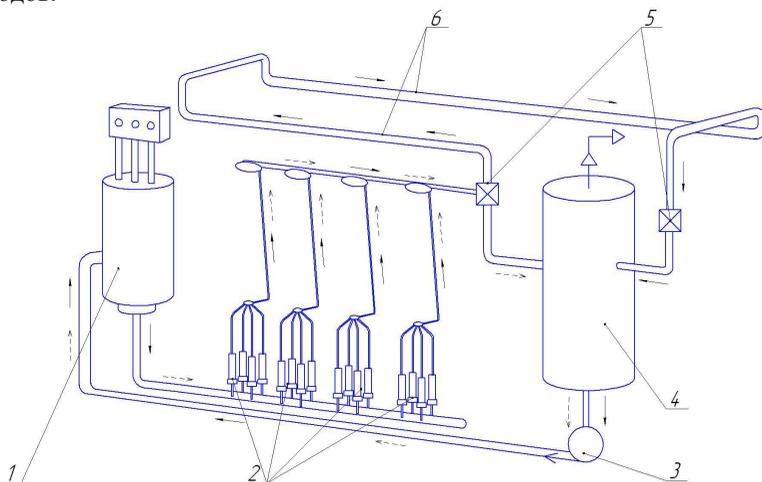


Рисунок 6 – Схема двухконтурной системы промывки доильных установок:

1 – автомат промывки; 2 – доильные аппараты; 3 – молочный насос; 4 – молокоприемник; 5 – концевые устройства; 6 – молокопровод

-----▶ – малый круг промывки,

————▶ – большой круг промывки.

Предлагаемая двухконтурная схема промывки доильных установок с использованием мобильного устройства для очистки молокопроводов позволит сократить продолжительность промывки, количество используемых воды и моющих средств более чем на 50 %, а также расход энергии на 25–30%. Таким образом, возможно снижение общих затрат на получение молока, с одновременным повышением его качества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтерев Г. П. Механизм образования и классификация молочных загрязнений / Г. П. Дегтерев // Молочная промышленность. 1999. № 6. С. 30–31.

2. Дегтерев Г. П. Образование загрязнений на молочном оборудовании и средства их удаления / Г. П. Дегтерев // Техника и оборудование для села. 1999. № 5(23). С. 31–33.

3. Доронин Б. А. Исследование режимов очистки доильно-молочного оборудования и совершенствование технических средств для её выполнения и контроля: Дис. канд. техн. наук. Ставрополь, 1982. 184 с.

4. Харьков С. В. Обоснование режима промывки доильных установок унифицированного ряда и разработка технических средств для его реализации: Дис. канд. техн. наук. Ростов н/Д, 1983. 143с.

## IMPROVING TREATMENT OF DAIRY LINES

**Keywords:** *colloidal system, protein and fat, the mechanism of cleaning dirt, detergent-disinfectant, cleaning device with active working members.*

**The summaru.** *Milk is a complex colloidal system. Fat deposits are the greatest difficulty in cleaning the milk after milking. The process of surface contamination occurs in stages. Are various models and structures of mud deposits and the mechanisms of their hydromechanical cleaning. An original device for mechanical cleaning of the milk with a rotating working body.*

---

**МАТВЕЕВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ** – кандидат технических наук, доцент кафедры технической сервис Нижегородский государственный инженерно – экономический институт, (matveev\_ngiei@mail.ru).

**MATVEEV VLADIMIR YURYEVICH** – candidate, assistant professor of technical service enzhenerno Novgorod State Economic Institute, (matveev\_ngiei@mail.ru).

---