УДК 658.581:637.1.02

DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-23-29

**ДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТНОЕ
НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕННОЙ МОЙКЕ ОБОРУДОВАНИЯ
МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

¹Завражнов Анатолий Иванович

¹Матушкин Петр Алексеевич

¹ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. Для представления о механизме мойки молокоперерабатывающего оборудования многокомпонентными и высокопенными моющими средствами, изучали силы поверхностного натяжения жидкости, которые присутствуют на поверхности оборудования после его смачивания и внутри самих пенных пузырьков. Определено, что способность моющего раствора эмульгировать молочный жир является решающим фактором мойки, поскольку от степени удаления загрязнений, содержащих жир, будет зависеть в дальнейшем смачивание очищенной от жира поверхности. Исследовали пять образцов многокомпонентных пенных моющих средств различных производителей: Процесс актив пенный, Калгонит 312, Шаумрайн, Термоклин и Зауэр. Исследования проводили на стали при температуре моющей жидкости 35 °С. Чистоту поверхности контролировали количеством мезофильно – аэробных и факультативно – анаэробных микроорганизмов (КМАФА и М) на 1 см² в величинах КОЕ/см² (количество образующих единиц колоний на 1 см²). Наилучшие результаты показал Термоклин. На втором этапе с помощью цифрового микроскопа Kromatech 50-500 при пятидесятикратном увеличении, проводили наблюдения за действием ПАВ внутри нанесенной на поверхность объекта пены. При помощи Particle Track G600Bc технологией FBRM, было установлено, что наиболее мощным грязеотрывным действием обладают пузырьки диаметром 1 – 1,5 мм. Для более качественного очищения поверхности объекта мойки следует добиваться однородной устойчивой пены с диаметром пенного пузырька определенного размера для каждого вида загрязнения при помощи регулировок пенонаносящего устройства, а также технологии нанесения пенного раствора на поверхность (угол нанесения, расстояние, концентрация раствора).

Ключевые слова: поверхностное натяжение жидкости, поверхностно-активные вещества, мойка молочного оборудования, молекула, эмульгирование, пенный раствор

**THE EFFECT OF SURFACTANTS ON THE SURFACE TENSION OF THE LIQUID IN
THE FOAM WASHING EQUIPMENT DAIRY INDUSTRIES**

¹Zavrazhnov Anatoly

¹Matushkin Peter

¹FSBEI HE “Michurinsk State Agrarian University”

Abstract. The forces of the surface tension of the liquid, which are present on the surface of the equipment after it has been wetted and inside the foam bubbles themselves, were studied to understand the mechanism of washing milk processing equipment with multicomponent and high-foam detergents. It was determined that the ability of a washing solution to emulsify milk fat is a decisive factor in washing, since in the future the wetting of a surface cleared of fat will depend on the degree of removal of contaminants containing fat. Five samples of multicomponent foam detergents of various manufacturers were investigated: the active foam process, Kalgonit 312, Shaumrain, Termoklin and Sauer. Studies were carried out on steel at a temperature of the washing liquid of 35 °C. The surface cleanliness was controlled by the number of mesophilic - aerobic and facultative - anaerobic microorganisms (KMAFA and M) per 1 cm² in the values of CFU / cm² (the number of colony forming units per 1 cm²). Thermocline showed the best results. Observation of the action of surfactants inside the foam deposited on the surface of the object was carried out in the second stage using a Kromatech 50-500 digital microscope with a magnification of fifty times. Using Particle Track G600B with FBRM technology, it

was found that bubbles with a diameter of 1-1.5 mm have the most powerful mud separation effect. A uniform stable foam with a diameter of a foam bubble of a certain size for each type of contamination with the help of adjustments of the foam carrier, as well as the technology of applying the foam solution to the surface (application angle, distance, concentration of the solution) should be achieved for better cleaning of the surface of the washing object.

Keywords: *liquid surface tension, surfactants, washing of dairy equipment, molecule, emulsification, foam solution*

Введение. Качество и безопасность молока и продуктов его переработки напрямую зависят от чистоты доильно-молочного оборудования. На молокоперерабатывающих предприятиях распространена пенная мойка [1]. Загрязнения прилипают к поверхности оборудования в основном за счет сил адгезии. Ослабить эти силы может только правильно подобранные ПАВ (поверхностно активные вещества) в составе моющего средства, так как эффект поверхностного натяжения мешает компонентам моющего средства оторвать частицы загрязнения от поверхности материала.

К вызываемым поверхностным натяжением эффектам мы настолько привыкли, что не замечаем их. Однако в природе и повседневной жизни они играют немалую роль. Без них невозможно было бы писать чернилами. Обычная ручка не зачерпнула бы чернил из чернильницы, а автоматическая сразу же поставила бы большую кляксу, опорожнив весь свой резервуар. Нельзя было бы намылить руки, потому что не происходило бы образование пены.

Проще всего уловить характер сил поверхностного натяжения, наблюдая образование капли у плохо закрытого или неисправного крана - капля постепенно растет, образуется сужение — шейка, и капля отрывается. Вода как бы заключена в эластичный мешочек, и этот мешочек разрывается, когда его прочность становится недостаточной для удержания большой массы воды. В действительности, конечно, никакого мешочка нет, но сам поверхностный слой воды ведет себя как растянутая эластичная пленка. Для количественной оценки силы поверхностного натяжения вводят величину, которую называют коэффициентом поверхностного натяжения (или поверхностным натяжением) [2].

Коэффициент поверхностного натяжения (α) представляет собой скалярную физическую величину, равную отношению модуля силы поверхностного натяжения F , действующей на границу поверхностного слоя длиной l , к этой длине:

$$\alpha = \frac{F}{l}.$$

Поверхность жидкости стремится сократиться так, чтобы площадь ее поверхности стала минимальной. Молекулы жидкости, притягиваемые друг к другу силами межмолекулярного притяжения, стремятся сблизиться. Каждая молекула на поверхности притягивается остальными молекулами, находящимися внутри жидкости, и поэтому имеет тенденцию к погружению вглубь. Так как жидкость текуча из-за перескоков молекул из одного положения в другое, то она принимает такую форму, при которой число молекул на поверхности минимально, то есть площадь поверхности минимальна. А минимальную поверхность при данном объеме имеет шар. Площадь поверхности жидкости уменьшается, и воспринимается это как поверхностное натяжение.

С эффектом поверхностного натяжения жидкости приходится сталкиваться и при выборе средств для мойки молочного оборудования, так как поверхностное натяжение мешает качественно отмыть ту или иную поверхность. Другими словами - это натяжение следует уменьшить либо совсем свести к нулю.

Поверхностное натяжение существенно зависит от примесей, имеющихся в жидкостях. Наиболее известным ПАВ относительно воды является мыло. Оно значительно уменьшает ее поверхностное натяжение (примерно с $7,5 \cdot 10^{-2}$ до $4,5 \cdot 10^{-2}$ Н/м). Относительно воды поверхностно-активными являются эфиры, спирты, нефть т.д.

Влияние поверхностно-активных веществ объясняется тем, что силы притяжения между молекулами жидкости больше, чем силы притяжения между молекулами жидкости и примеси. Молекулы жидкости в поверхностном слое с большей силой втягиваются внутрь жидкостей, чем молекулы примеси. В результате этого молекулы жидкости переходят с поверхностного слоя

вглубь ее, а молекулы поверхностно-активного вещества вытесняются на поверхность. Способность моющего раствора эмульгировать молочный жир является решающим фактором мойки, поскольку от степени удаления загрязнений, содержащих жир, будет зависеть в дальнейшем смачивание очищенной от жира поверхности [3].

Эмульгирование жира основано на действии капиллярно активных веществ моющего раствора. Они вызывают снижение поверхностного натяжения на границе раздела фаз. Капиллярно активные вещества, равномерно проникая в виде мономолекулярной пленки между твердой поверхностью и загрязнением, отделяют их друг от друга. Вследствие стремления поверхностно-активных веществ к уменьшению поверхности частицы загрязнений максимально раздробляются и обволакиваются как бы пленкой, переводя жировые шарики в моющий раствор.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследования были взяты пять образцов многокомпонентных пенных моющих средств различных производителей, а именно: Процесс актив пенный, Калгонит 312, Шаумрайн, Термоклин и Зауэр.

Принято использовать многокомпонентное пенное средство Термоклин (ООО «СИКМО», Россия). В качестве объекта исследования была выбрана тарелка сепаратора Ж5-ОС2-НС, изготовленная из нержавеющей стали AISI 304 и имеющая форму конуса (Рисунок 1). Исследования проводились внутри производственного помещения с температурой окружающей среды 30°C , относительной влажности воздуха – 65%. Орудием для нанесения пенных моющих средств выбран автономный пеногенератор. Так как производители пенных моющих средств рекомендуют наносить свой продукт при температуре моющего раствора $30 - 40^{\circ}\text{C}$, то выбираем среднее значение, то есть. – 35°C . [4].

Рисунок 1 – Тарелки сепаратора после нанесения пены.

Смачивание поверхности и ее ополаскивание производилось давлением до 3 кг/см^2 , нанесение пены осуществлялось под давлением $1,9 \text{ кг/см}^2$. Пенный раствор наносился на объект исследования пистолетом – распылителем с расстояния 1,2 м, смывание пены и загрязнений – с расстояния 700-800 мм под углом 30° к поверхности.

Чистота поверхности определялась количеством мезофильно – аэробных и факультативно – анаэробных микроорганизмов (КМАФА и М) на 1 см^2 в величинах КОЕ/см² (количество образующих единиц колоний на 1 см^2) [5].

Исследования проводились в соответствии с ВНТП 645/1618 – 92 «Нормы технологического проектирования предприятий молочной промышленности» и «Инструкцией по санитарной обработке оборудования, инвентаря и тары на предприятиях молочной промышленности» [6,7].

На первом этапе исследования проводилось смачивание объекта, заключающееся в растекании капли жидкости по очищаемой поверхности. Если молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам твердого вещества, жидкость смачивает это вещество.

Рисунок 2 – Схема смачивания твердого тела.

Смачивание можно характеризовать краевым углом θ – углом между плоской поверхностью твердого тела и плоскостью, касательной к поверхности жидкости, проходящей через точку, лежащую на границе свободной поверхности (рис. 2). Если жидкость смачивает твердое вещество, то краевой угол острый, если не смачивает – тупой.

Обычно мерой смачивания служит косинус краевого угла, который положителен в случае, когда жидкость смачивает твердое вещество, и отрицателен, когда не смачивает. При полном смачивании, $\cos \theta = 1$, в этом случае жидкость растекается по всей поверхности твердого тела. При полном несмачивании $\cos \theta = -1$, капля жидкости на горизонтальной поверхности в этом случае должна иметь форму шара. Вещества, способствующие смачиванию водой, называются гидрофильными, а вещества, отталкивающие воду и способствующие растворению масел, жира и т.д., — гидрофобными.

Основой моющих веществ являются поверхностно-активные вещества - ПАВ, задача которых очистить от грязи поверхность. Молекула ПАВ состоит из двух частей: гидрофильной и гидрофобной. Гидрофобная часть молекулы способствует проникновению ПАВ в микротрещины (обеспечивает смачиваемость поверхности), а гидрофильная, ориентированная в сторону водного раствора, понижает поверхностное натяжение воды.

Результаты и обсуждение. Как показали предварительные исследования наиболее высокую отмывающую способность имеют детали, выполненные из нержавеющей стали. В связи с этим сравнение моющих пенных растворов проводилось на деталях из стали при температуре моющей жидкости 35°C.

Таблица 1 – Результаты исследований на чистоту поверхности после отмыва

№ п/п	Название моющего средства	Показания КМАФАиМ, КОЕ/см ²
1	Зауэр	21
2	Шаумрайн	42
3	Калгонит 312	58
4	Термоклин	19
5	Процесс актив пенный	25

Как видно из показателей наилучший результат показал моющий пенный раствор Термоклин. Поэтому в дальнейшем все исследования проводили с раствором Термоклин.

На втором этапе с помощью цифрового микроскопа Kromatech 50-500 при пятидесятикратном увеличении, проводились наблюдения за действием ПАВ внутри нанесенной на поверхность объекта пены (рисунок 3).

В результате изучения фотографии представленной на рисунке 3, было выявлено, что при нанесении пены на обрабатываемую поверхность за счет кинетической энергии и сил поверхностного натяжения пузырьков пены происходит отрыв части твердых частиц загрязнений от поверхности. Выделяющаяся из пены жидкость при разрушении ближайшего к поверхности детали слоя пузырьков смачивает поверхность. Частицы загрязнений в результате перетекания жидкости из участков пленки пены отрываются от поверхности и концентрируются в утолщенных участках пленок (данное явление обозначено маркером на рисунке 3). Некоторая доля частиц оказывается втянутой в пену на высоту 1-3 пузырьков. В дальнейшем отрыву частиц и втягиванию их в пену способствует помимо капиллярного эффекта также разрушение отдельных пленок [8].

Рисунок 3 – Исследование действия ПАВ внутри пенного раствора

Эффект всасывания частиц загрязнения внутрь пены значительно усиливается при механическом перемешивании нижних ее слоев, содержащих большое число частиц, с верхними слоями. В процессе распада пены за счет большого капиллярного давления в ней возникает дополнительное механическое воздействие на загрязнения, что повышает эффективность очистки. Грязеудерживающая способность пен снижает возможность повторного оседания оторванных от поверхности частиц загрязнения [9].

Изучая рисунок 3 более тщательно, можно заметить что отрыв частиц загрязнений происходит не в пузырьках большого размера 5 – 6 мм, а наоборот, больший эффект дают пузырьки меньшего диаметра. При помощи ParticleTrack G600Bc технологией FBRM (прибор в режиме реального времени определяет размер частиц), было установлено, что наиболее мощным грязеотрывным действием обладают пузырьки диаметром 1 – 1,5 мм. Полученные данные говорят о том, что для более качественного очищения поверхности объекта мойки следует добиваться однородной устойчивой пены с диаметром пенного пузырька определенного размера для каждого вида загрязнения.

После изучения действия ПАВ во внутреннем слое пенного раствора, была изучена наружная поверхность пены (рисунок 4).

Из данных, представленных на рисунке 4, видно, что на наружной поверхности пенного раствора появились темные вкрапления.

Рисунок 4 – Наружная поверхность пенного раствора

Этими вкраплениями является та самая грязь, оторванная от поверхности объекта мойки. Данное явление происходит в результате ослабления поверхностного натяжения жидкости в пенном пузырьке при воздействии ПАВ. Загрязнения, преодолевая поверхностное натяжение, всасываются в пену и в результате их движения вверх, происходит микровзрыв пенного пузырька и оторванная от поверхности частица загрязнения осаждается на поверхности пены, не давая ей опуститься обратно, предотвращая повторное обсеменение поверхности.

Выводы: На основании проведенных исследований установлено, что для мойки молочного оборудования с использованием пенной технологии, необходимо снизить поверхностное натяжение жидкости при помощи ПАВ, что способствует наилучшему грязеотрывающему эффекту. При использовании высокопенных моющих средств следует добиваться определенного диаметра пенных пузырьков в пределах 1 – 1,5 мм, что осуществляется при помощи регулировки давления нанесения пены, а также расстояния между пистолетом и объектом мойки.

Список литературы

1. Матушкин П.А., Завражнов А.И. Особенности исследования процесса мойки молочного оборудования с использованием пены // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 125 – 129.
2. Букова С.Н., Ворончихина Л.И. Моющая способность синергических смесей поверхностно-активных веществ. /Тезисы докладов У111 конференции // "Поверхностно-активные вещества и сырье для их производства". Белгород. Из-во "Везелица". – 1992. – С 112-113.
3. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества. Синтез, свойства, анализ, применение, (пер. с англ.). С-Пб.: Профессия. 2005. 240 с.
4. Матушкин П.А., Завражнов А.И. Обоснование технологических параметров процесса мойки молочного оборудования применяемого в сельскохозяйственном производстве // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – том 12 – С. 100-107.
5. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы. СанПин 2.3.2. 1078 – 1.-М.: ФГУП «Интер СЭН», - 2002. – 168с.

6. Инструкция по санитарной обработке оборудования, инвентаря и тары на предприятиях молочной промышленности: Издание официальное / Ж.И. Кузина, Б.В. Маневич, - М.:ВНИМИ. 1998. – 108с.

7. Кузина Ж.И., Маневич Б.В., Харитонов Е.Б., Орлова Т.В., Гаврилова Н.А. Обоснование выбора ПАВ при создании высокощелочных моющих средств // Переработка молока. – 2018. – №5 (223). – С. 26-28.

8. Дегтярев Г.П. Механизм образования и классификация загрязнений, образующихся на поверхности молочного оборудования // Молочная промышленность. – №6. – 1999. – С.35-37.

9. Кирюткин Г.Ф., Молочников В.В. Мойка и дезинфекция технологического оборудования предприятий молочной промышленности. — М.: Пище-промиздат. 1976. 120 с

Referencts

1. Matushkin P.A., Zavrazhnov A.I. Osobennosti issledovaniya processa mojki molochного oborudovaniya s ispol'zovaniem peny// Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.2017.№ 2. S. 125 – 129.

2. Bukova S.N., Voronchihina L.I. Moyushchaya sposobnost' sinergicheskikh smesey poverhnostno-aktivnykh veshchestv. /Tezisy dokladov U111 konferencii // "Poverhnostno-aktivnye veshchestva i syr'e dlya ih proizvodstva". Belgorod. Iz-vo "Vezelica". – 1992. – S 112-113.

3. Lange K.R. Poverhnostno-aktivnye veshchestva. Sintez, svoystva, analiz, primeneniye, (per. s angl.). S-Pb.: Professiya. 2005. 240 s.

4. Matushkin P.A., Zavrazhnov A.I. Obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov processa mojki molochного oborudovaniya primenyaemogo v sel'skohozyajstvennom proizvodstve // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – tom 12 – S. 100-107.

5. Gigenicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevykh produktov. Sanitarno – epidemiologicheskoe pravila i normativy. SanPin 2.3.2. 1078 – 1.-М.: FGUP «Inter SEN», - 2002. – 168s.

6. Instruksiya po sanitarnoy obrabotke oborudovaniya, inventarya i tary na predpriyatiyah molochной promyshlennosti: Izdanie oficial'noe / Zh.I. Kuzina, B.V. Manevich, - М.:VNIMI. 1998. – 108s.

7. Kuzina Zh.I., Manevich B.V., Haritonova E.B., Orlova T.V., Gavrilova N.A. Obosnovanie vybora PAV pri sozdanii vysokoshchelochnykh moyushchih sredstv // Pererabotka moloka. – 2018. – №5 (223). – S. 26-28.

8. Degtyarev G.P. Mekhanizm obrazovaniya i klassifikatsiya zagryazneniy, obrazuyushchihsya na poverhnosti molochного oborudovaniya // Molochnaya promyshlennost'. – №6. – 1999. – S.35-37.

9. Kiryutkin G.F., Molochnikov B.B. Mojka i dezinfektsiya tekhnologicheskogo oborudovaniya predpriyatij molochной promyshlennosti. — М.: Pishche-promizdat. 1976. 120 s

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Завражных Анатолий Иванович – академик РАН, доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск. E-mail: aiz@mgau.ru.

Матушкин Петр Алексеевич – аспирант кафедры технологических процессов и техносферной безопасности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г Мичуринск.

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Anatoly – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru.

Matushkin Petr – Postgraduate Student of Department of Technological Processes and Technosphere Safety of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University", Russia, Michurinsk.

Поступила в редакцию (Received): 03.10.2019 Принята к публикации (Accepted): 25.11.2019