

## ОЧИСТКА ДОИЛЬНО-МОЛОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОЗОНИРОВАНИЯ

**ОСТРОУХОВ АНДРЕЙ ИВАНОВИЧ**, канд. техн. наук

E-mail: anost83@mail.ru

**ВАРЛАМОВА ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА**, аспирант

E-mail: via-fiore@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

Разработка технологии и средств очистки доильно-молочного оборудования, позволяющей минимизировать использование синтетических поверхностно-активных веществ и других химикатов, является актуальной задачей в связи с решением задач повышения качества получаемого молока. Озонирование является перспективным экологичным методом обработки воды, позволяющим эффективно воздействовать на большое число различных загрязнителей искусственного и естественного происхождения с одновременным обеззараживанием воды. Для изучения вопроса о возможности применения озонирования в технологии очистки доильно-молочного оборудования в воде различной жесткости были взяты следующие современные моющие средства: ЦМС-5 (патент РГАУ-МСХА), МИГ-МД (Россия, Пенза), Chlorasept D (США), Dayrial (Франция). Предложен способ очистки поверхности нержавеющей стали марки 08X10HT1 от остатков молока путем озонирования моющего раствора. В лабораторных условиях экспериментальным путем определены зависимости коэффициентов очистки от жесткости воды. При очистке озонированными моющими растворами концентрацией 0,5% и температуре 40...70°C в мягкой воде (жесткость Ж = 1...3°) все изученные моющие средства показывали высокую эффективность очистки (коэффициент очистки более 90%). В воде средней жесткости (Ж = 6±1°) коэффициенты очистки имели значения: ЦМС-5 (озонированный раствор) – 93%; МИГ-МД – 89%; Dayrial – 90%; Chlorasept D – 90%. В жесткой воде (Ж = 12°) при тех же условиях коэффициенты очистки имеют следующие показатели: ЦМС-5 (озонированный раствор) – 92%; МИГ-МД – 83%; Dayrial – 87%; Chlorasept D – 84%. В очень жесткой воде (Ж = 15°) получены следующие результаты: ЦМС-5 (озонированный раствор) – k = 91%; МИГ-МД – k = 79%; Dayrial – k = 85%; Chlorasept D – k = 80%. На основе проведенного исследования для моющего средства ЦМС-5 с применением озонирования предлагаются следующие режимы очистки: концентрация моющего раствора – 5 г/л; температура – 40°C; время очистки – 10-15 мин; жесткость воды – до 15 мг-экв/л.

**Ключевые слова:** эффективность очистки, доильно-молочное оборудование, озонирование, щелочные моющие средства.

**Формат цитирования:** Остроухов А.И., Варламова Т.А. Очистка доильно-молочного оборудования с применением озонирования // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N1(89). С. 26-32.

## DAIRY EQUIPMENT CLEANING BY OZONATION

**ANDREI I. OSTROUKHOV**, PhD (Eng)

E-mail: anost83@mail.ru

**TATIANA A. VARLAMOVA**, postgraduate student

E-mail: via-fiore@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The development of technology and means of cleaning milking equipment allowing to minimize the use of synthetic surfactants and other chemicals, is an urgent task in view of solving problems of improving milk quality. Ozonation is a promising eco-friendly method of water treatment, allowing to effectively combat a large number of different pollutants of artificial and natural origin with simultaneous disinfection of water. To study the possibility of using ozonation in the technology of cleaning milking equipment with water of different hardness, the following modern detergents were taken: ЦМС-5 (patented by RSAU-MTAA), МИГ-МД (Russia, Penza), Chlorasept D (USA), Dayrial (France). The authors propose a method for cleaning the surface of stainless steel 08X10HT1 from milk residues by ozonizing the washing solution. In laboratory conditions, they experimentally determined the relationships between the cleaning coefficients and the hardness of water. In cleaning with ozonated solutions at a concentration of 0.5% and a temperature of 40...70°C in soft water (hardness Ж = 1...3°), all the studied

detergents showed high cleaning efficiency (the cleaning coefficient of more than 90%). In water of medium hardness ( $J = 6 \pm 1^\circ$ ), the cleaning coefficients demonstrated the following values: ЩМС-5 (ozonized solution) – 93%; МИГ-МД – 89%; Dayryal – 90%; and Chloracept D – 90%. In hard water ( $J = 12^\circ$ ) under the same conditions, the cleaning coefficients featured the following values: ЩМС-5 (ozonized solution) – 92%; МИГ-МД – 83%; Dayryal – 87%; and Chloracept D – 84%. In very hard water ( $J = 15^\circ$ ), the following results were obtained: ЩМС-5 (ozonized solution) –  $k = 91\%$ ; МИГ-МД –  $k = 79\%$ ; Dayryal –  $k = 85\%$ ; and Chloracept D –  $k = 80\%$ . Basing on the conducted research, the authors propose the following cleaning modes for the ЩМС-5 detergent using ozonation: washing solution concentration – 5 g/l; temperature –  $40^\circ\text{C}$ ; cleaning time – 10-15 minutes; water hardness – up to 15 mg-eq/l.

**Key words:** cleaning effectiveness, dairy milking equipment, ozonation, alkali detergents.

**For citation:** Ostroukhov A.I., Varlamova T.A. Ochistka doil'no-molochnogo oborudovaniya s primeneniym ozonirovaniya [Dairy equipment cleaning by ozonation] *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 1(89): 26-32. (in Rus.).

**Введение.** Производство качественной молочной продукции возможно только при высоком качестве сырого молока, поставляемого переработчиком. Определяющим фактором для получения качественного сырого молока является повышение эффективности и экологичности очистки доильно-молочного оборудования.

Для повышения эффективности очистки доильно-молочного оборудования разработано достаточно много новых моющих средств. Ключевыми компонентами данных средств являются синтетические ПАВ, обеспечивающие практически полное удаление биопленок молока с внутренних поверхностей молокопровода. Однако применение ПАВ имеет и негативную сторону: вследствие сильной адсорбции некоторые ПАВ могут образовывать тонкие пленки на очищенных внутренних поверхностях молокопровода и практически не смываться при действующих режимах ополаскивания. Адсорбируясь на оборудовании, пленки ПАВ могут растворяться в молоке, поступающем в молокопровод при следующем акте доения, и соответственно попадать в организм человека. Известны исследования, согласно которым доказаны канцерогенные свойства многих ПАВ [1, 2].

Кроме того, вследствие санитарно-гигиенических предписаний, в молочной промышленности при использовании моющих средств не применяется их регенерация и вторичное использование. При очистке оборудования отработанный моющий раствор, содержащий множество химикатов, сливается в канализацию и далее попадает в сточные и поверхностные воды, что ведет к возникновению множества экологических проблем [3]. Вследствие этого разработана технология и средств очистки доильно-молочного оборудования, позволяющих минимизировать использование синтетических поверхностно-активных веществ и других химикатов, является актуальной задачей.

В настоящее время озонирование является единственным универсальным способом обработки воды, позволяющим эффективно воздействовать на большое число различных загрязнителей искусственного и естественного происхождения с одновременным обеззараживанием вод [4, 5].

Длительный опыт использования озона и эксплуатации озонаторных установок убеждает в том, что этот метод является высокоэффективным. Совершенствование техники озонирования постепенно исключает свойственные методу недостатки (высокая стоимость получения озона, токсичность и т.д.), и он получает все более

широкое применение. Озон имеет высокий окислительно-восстановительный потенциал, что является главной причиной его активности по отношению к различному роду загрязнениям воды, включая микроорганизмы. При введении озона в воду осуществляются два основных процесса: окисление и дезинфекция; кроме того происходит значительное обогащение воды растворенным кислородом. Окисляющее действие озона на химические вещества проявляется в следующих формах: прямом окислении, окислении радикалами (непрямое окисление), озонолитизе, катализе. К тому же, по сравнению с другими окислителями, озон быстрее вступает в реакции и в меньшей дозе. Озон является сильным бактерицидным и вирулицидным агентом. Озон оказывает непосредственное влияние на цитоплазму и ядерную структуру клетки бактерии, вызывая прекращение активности сложных органических веществ белковой природы – энзимов (ферментов). Инактивация бактерий и вирусов рассматривается не только как следствие прямого воздействия озона, но и как воздействие ряда других окислителей, образующихся при диффузии дезинфектанта в воду, в частности, свободных радикалов. В отличие от хлора, который пассивен по отношению к некоторым типам бактерий, озону отводится роль универсального окислителя, осуществляющего почти мгновенную дезинфекцию [2, 4].

**Цель исследования** – повышение эффективности и экологичности технологии очистки доильно-молочного оборудования.

**Материал и методы.** Использованы методы физико-химического и математического моделирования, современные приборы и оборудование.

**Методика.** Для исследования возможности применения в технологии очистки доильно-молочного оборудования методом озонирования в воде различной жесткости были взяты следующие моющие средства: ЩМС-5 (патент РГАУ-МСХА), МИГ-МД (Россия, Пенза), Chloracept D (США), Dayryal (Франция). По отзывам фермеров, данные марки моющих средств положительно зарекомендовали себя при циркуляционной очистке доильно-молочного оборудования как в России, так и за рубежом [6-8].

Озонирование воды и растворов моющих средств проводилось с помощью озонатора «Тяньши» (Генератора кислорода) TR-YCA в течение 10, 15 и 20 минут.

Моделирование процесса очистки проводилось на образцах, изготовленных из пищевой нержавеющей стали, размером  $30 \times 70$  мм.

Модельное загрязнение образцов осуществлялось методом их погружения в сырое молоко при температуре 40°C

и выдержкой в течение 20 минут, после чего на поверхности образцов формировалась биопленка молока (рис. 1, 2).



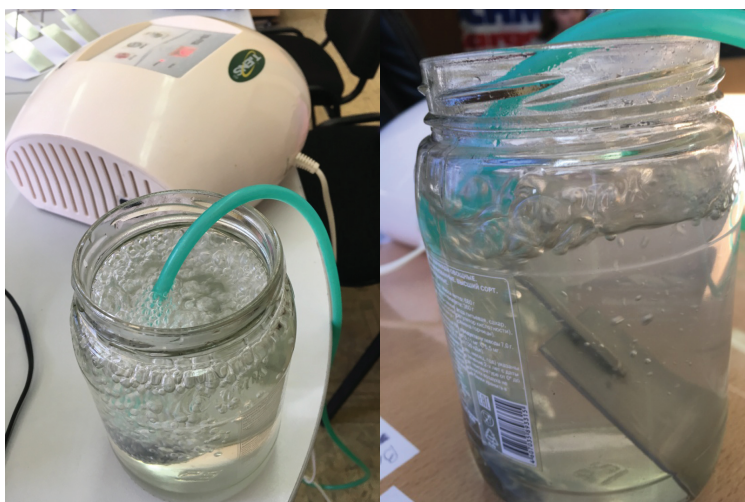
**Рис. 1. Модельное загрязнение образцов**  
**Fig. 1. Model contamination of samples**



**Рис. 2. Биопленка молока на поверхности модельного образца**  
**Fig. 2. Milk biofilm on the model sample surface**

Далее модельный образец погружался в раствор, предварительно озонированный через газоотводную трубку в течение 15 мин. При поступлении озона в воду в растворе

также моделировалось воздействие на загрязнение механических факторов турбулентности двигающихся в воде пузырьков газа (рис. 3).



**Рис. 3. Очистка модельного образца с помощью озонатора «Тяньши» (Генератора кислорода) TR-YCA**  
**Fig. 3. Cleaning of the model sample using the Tianshi ozonizer (Oxygen generator) TR-YCA**

Экспериментальные образцы взвешивались на аналитических весах «VibraNTR-80E» (специальный (I) класс точности, ГОСТ24104).

Вода различной жесткости готовилась в лабораторных условиях: в дистиллированную воду добавлялись CaCl<sub>2</sub> (80%) и MgCl<sub>2</sub> (20%), что соответствует примерной норме пропорции катионов кальция и магния в природных водах средней и повышенной жесткости.

Опыты проводились троекратно при температуре 70 и 40°C и концентрации моющих растворов 1, 2, 3, 4 и 5 г/л, что отвечает поставленной задаче повышения экологичности технологии очистки за счет снижения концентраций моющих средств.

Очищающая способность растворов оценивалась по величине коэффициента очистки k, который показывает долю или процент удаленного загрязнения (%):

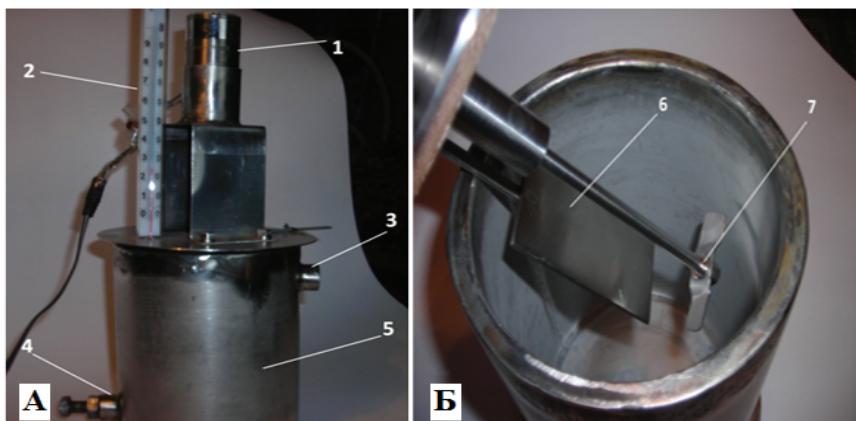
$$k = \left( 1 - \frac{M_2}{M_1} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где M<sub>1</sub> – масса загрязнения на поверхности образца до очистки; M<sub>2</sub> – масса загрязнения на поверхности образца после очистки.

Исследование очищающей способности растворов щелочных моющих средств осуществлялось по методике, разработанной ГОСНИТИ и МИИСП им. В.П. Горячкина [9], на лабораторной установке, представляющей собой

емкость цилиндрической формы объемом 1,2 л с механической активацией моющего раствора. Установка обеспечивает заданный температурный режим и сопоставимость условий испытаний (рис. 4).

Определение коэффициента очистки для раствора каждого моющего средства проводилось при концентрации: 1, 2, 3, 4 и 5 г/л и жесткости воды: 1, 3, 7, 12, 15 мг-эquiv/л.



**Рис. 4. Установка для определения очищающей способности моющих растворов:**

А – внешний вид установки; Б – вид открытой установки:  
 1 – электродвигатель; 2 – термометр; 3, 4 – патрубки для присоединения «рубашки» к термостату;  
 5 – стенка «рубашки»; 6 – экспериментальный образец; 7 – винт для принудительной активации раствора

**Fig. 4. Installation for determining the cleaning ability of detergents:**

А – the installation appearance; Б – a view of open installation:  
 1 – an electric motor; 2 – a thermometer; 3, 4 – connections between the “jacket” and the thermostat;  
 5 – a “jacket” wall; 6 – an experimental sample; 7 – a screw for forced activation of the solution

**Результаты и обсуждение.** Согласно исследованиям, получены зависимости коэффициента очистки ( $k$ ) от жесткости воды ( $J$ , мг-эquiv/л) и времени воздействия моющего раствора ( $t$ ) при концентрации моющего раствора ( $C$ ), равной 5% и температуре ( $T$ ) 40...70°C (рис. 5-9).

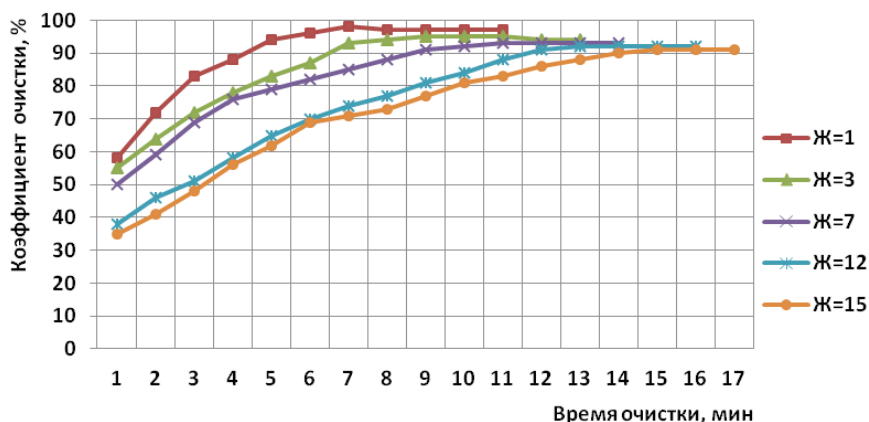
В результате изучения влияния жесткости воды на эффективность 0,5% раствора испытанных моющих средств получены следующие результаты.

При очистке в мягкой воде ( $J = 1...3^\circ$ ) все изученные моющие средства показывают высокую эффективность очистки ( $k > 90\%$ ).

При очистке в воде средней жесткости ( $J = 7^\circ$ ) коэффициенты очистки имеют значения: для ЩМС-5 (озонированный раствор) – 93%; МИГ-МД – 89%; Dayrial – 90%; Chlorcept D – 90%.

При очистке в жесткой воде ( $J = 12^\circ$ ) получены следующие результаты: ЩМС-5(озонированный раствор) –  $k = 92\%$ ; МИГ-МД –  $k = 83\%$ ; Dayrial –  $k = 87\%$ ; Chlorcept D –  $k = 84\%$ .

При очистке в очень жесткой воде ( $J = 15^\circ$ ): ЩМС-5 (озонированный раствор) –  $k = 91\%$ ; МИГ-МД –  $k = 79\%$ ; Dayrial –  $k = 85\%$ ; Chlorcept D –  $k = 80\%$ .



**Рис. 5. Эффективность очистки в воде различной жесткости при озонировании ( $J$ , мг-эquiv/л). Моющее средство ЩМС-5;  $T = 40^\circ C$ ,  $c = 5$  г/л**

**Fig. 5. Cleaning efficiency in water of various hardness during ozonation ( $L$ , mg-eq/l). ЩМС-5 detergent;  $T = 40^\circ C$ ,  $c = 5$  g/l**

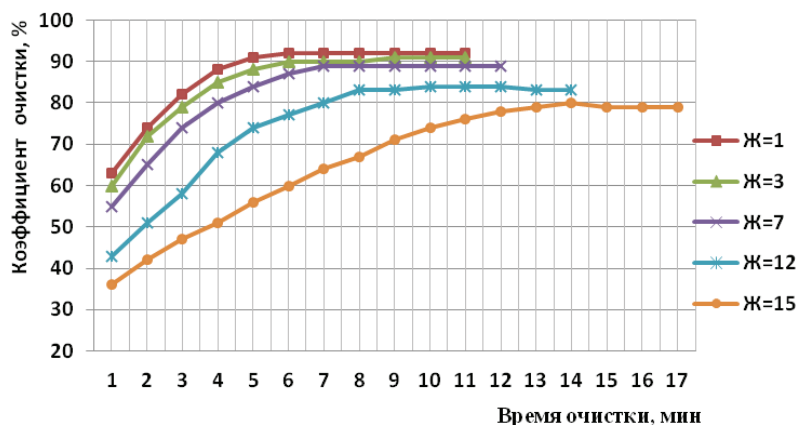


Рис. 6. Эффективность очистки в воде различной жесткости (Ж, мг-экв/л).  
Моющее средство МИГ-МД; T = 70°C, c = 5 г/л

Fig. 6. Cleaning efficiency in water of various hardness (W, mg-eq/l).  
МИГ-МД Detergent; T = 70°C, c = 5 g/l

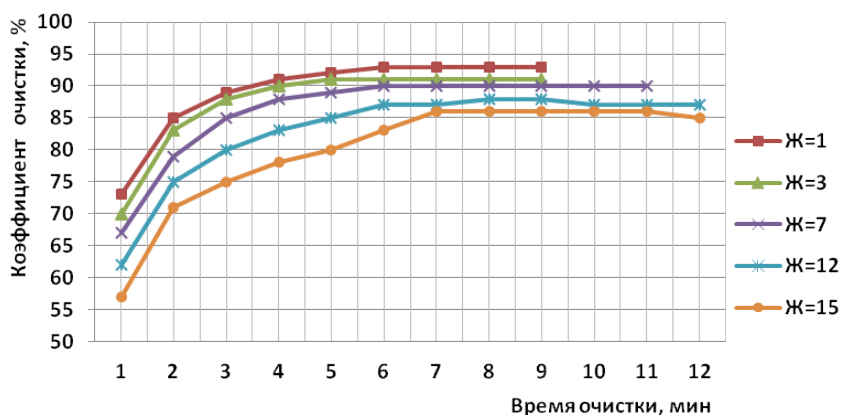


Рис. 7. Эффективность очистки в воде различной жесткости (Ж, мг-экв/л).  
Моющее средство DAIRYiAL; T = 70°C, c = 5 г/л

Fig. 7. Cleaning efficiency in water of various hardness (W, mg-eq/l).  
DAIRYiAL detergent; T = 70°C, c = 5 g/l

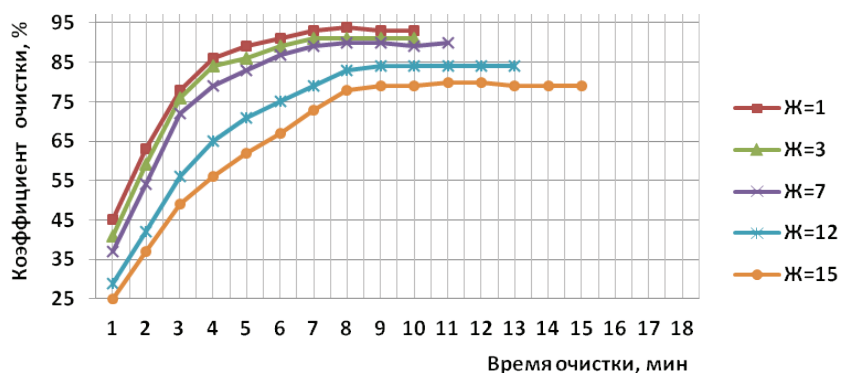


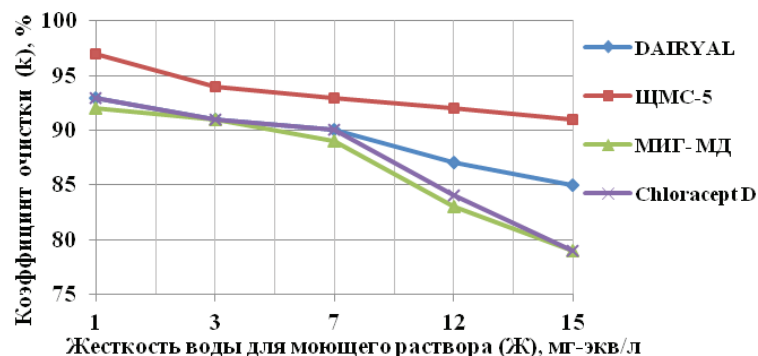
Рис. 8. Эффективность очистки в воде различной жесткости (Ж, мг-экв/л).  
Моющее средство Chlorasept D; T = 70°C, c = 5 г/л

Fig. 8. Cleaning efficiency in water of various hardness (W, mg-eq/l).  
Chlorasept D detergent; T = 70°C, c = 5 g/l

Графики зависимости коэффициента очистки от жесткости воды с применением озонированных моющих растворов представлены на рисунке 9.

Резкое уменьшение значения коэффициента очистки ( $k < 80\%$ ) в воде жесткостью более 7 мг-экв/л наблюдается

у всех моющих средств, кроме ЩМС-5. При жесткости воды выше 12 мг-экв/л из использованных моющих средств только ЩМС-5 в сочетании с озонированием моющего раствора позволяет достичь высокого результата эффективности очистки ( $k > 90\%$ ).



**Рис. 9. Зависимость коэффициента очистки (k) от жесткости воды (Ж) при озонировании:**  
 t = 15 мин; c = 5 г/л; T = 40...70°C

**Fig. 9. Relationship between the cleaning coefficient (k) and the hardness of water (Ж) in ozonation:**  
 t = 15 min; c = 5 g/l; T = 40 ... 70°C

Исходя из оценок метода очистки загрязненности поверхности по десятибалльной шкале и санитарного состояния поверхности по «Санитарным правилам по уходу за доильно-молочным оборудованием»,

предложена следующая классификация качества очистки поверхности от белково-жировых загрязнений, в зависимости от значений коэффициента очистки (k) (таблица) [9].

**Классификация качества очистки оборудования в зависимости от коэффициента очистки и загрязненности поверхности**  
**Classification of the equipment cleaning quality depending on cleaning coefficient and surface contamination**

Качество очистки	Значение коэффициента очистки, (k)%	Загрязненность поверхности, г/м <sup>2</sup>	Прогнозируемая сортность получаемого молока
Отличное	> 90	< 0,5	Высший
Удовлетворительное	80...90	0,5...1,0	Первый
Неудовлетворительное	< 80	> 1,0	Несортное

Применение моющего средства ЦМС-5 в сочетании с озонированием раствора позволяет обеспечивать коэффициент очистки доильно-молочного оборудования выше 90% даже в жесткой воде, что гарантирует сохранение низких показателей общего количества бактерий в молоке-сырье и, следовательно, повышение сортности получаемого молока.

**Выводы**

При очистке 0,5% моющими растворами и температуре 40...70°C в мягкой воде (Ж = 1...3°) все изученные моющие средства показывают высокую эффективность очистки (k > 90%). При большей жесткости наилучшие результаты дает моющее средство ЦМС-5.

На основе проведенного исследования для моющего средства ЦМС-5 предлагаются следующие режимы очистки с применением озонирования: концентрация моющего раствора – 5 г/л; температура – 40°C; время очистки – 10-15 мин; жесткость воды – до 15 мг-экв/л.

**Библиографический список**

1. Ананьева Н.В. Разработки в области моющих средств // Молочная промышленность. 2010. № 2. С. 67-68.  
 2. Lindsay D., Brozel V.S., Mostert J.F., von Holy A. Differential efficacy of a chlorine dioxide-containing sanitizer

against single species and binary biofilms of a dairy-associated bacillus cereus and a pseudomonas fluorescens isolate. *Journal of Applied Microbiology*. 2002. Т. 92. № 2. С. 352-361.  
 3. Mann E. Dairy waste: treatment and use. *Dairy Industries International*. 2000. Т. 65. № 1. С. 17-18.  
 4. Николаенко С.А., Николаенко С.В. Перспективность использования озона в молочной промышленности // Политематический электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 102. С. 359-369.  
 5. Tabatadze L.V., Shvelidze V.V. Use of technologies of ozone in manufacture of food products. *International Scientific and Practical Conference World science*. 2018. Т. 5. № 7 (35). С. 58-60.  
 6. Костюкевич С.А., Кольга Д.Ф., Захаров В.В. Модернизированная технология промывки оборудования для доения коров. В сб.: Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. Сборник научных трудов. Под редакцией В.К. Пестиса. Гродно, 2017. С. 128-134.  
 7. Матвеев В.Ю. Меры санитарной обработки молочных линий // Вестник НГИЭИ. 2017. № 3 (70). С. 32-40.  
 8. Костюкевич С.А. Усовершенствованная технология промывки доильно-молочного оборудования // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 6. С. 35-38.

9. Пучин Е.А., Остроухов А.И. Современное моющее средство для очистки доильно-молочного оборудования // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2012. № 5 (56). С. 14-17.

### References

1. Anan'yeva N.V. Razrabotki v oblasti moyushchikh sredstv [New achievements in the field of detergents]. *Molochnaya promyshlennost'*, 2010; 2: 67-68. (In Rus.)
2. Lindsay D., Brozel V.S., Mostert J.F., von Holy A. Differential efficacy of a chlorine dioxide-containing sanitizer against single species and binary biofilms of a dairy-associated bacillus cereus and a pseudomonas fluorescens isolate. *Journal of Applied Microbiology*. 2002. Vol. 92. No. 2: 352-361. (In English)
3. Mann E. Dairy waste: treatment and use. *Dairy Industries International*. 2000. Vol. 65. No. 1: 17-18. (In English)
4. Nikolayenko S.A., Nikolayenko S.V. Perspektivnost' ispol'zovaniya ozona v molochnoy promyshlennosti [Prospects of using ozone in the dairy industry]. *Politematicheskiy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014; 102: 359-369. (In Rus.)

### Критерии авторства

Остроухов А.И., Варламова Т.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Остроухов А.И., Варламова Т.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 24.12.2018

5. Tabatadze L.V., Shvelidze V.V. Use of technologies of ozone in manufacture of food products. *International Scientific and Practical Conference World science*, 2018. Vol. 5. No. 7 (35): 58-60. (In English)

6. Kostyukevich S.A., Kol'ga D.F., Zakharov V.V. Modernizirovannaya tekhnologiya promyvki oborudovaniya dlya doeniya korov [Modernized technology of washing equipment for milking cows]. In: *Sel'skoye khozyaystvo – problemy i perspektivy. Sbornik nauchnykh trudov*. Ed. by V.K. Pestis. Grodno, 2017: 128-134. (In Rus.)

7. Matveyev V.Yu. Mery sanitarnoy obrabotki molochnykh liniy [Measures of sanitary treatment of milk lines]. *Vestnik NGIEI*, 2017; 3 (70): 32-40. (In Rus.)

8. Kostyukevich S.A. Usovershenstvovannaya tekhnologiya promyvki doil'no-molochnogo oborudovaniya [Improved washing technology for milking and dairy equipment]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2017; 6: 35-38. (In Rus.)

9. Puchin Ye.A., Ostroukhov A.I. Sovremennoye moyushcheye sredstvo dlya ochistki doil'no-molochnogo oborudovaniya [Modern detergent for cleaning milking and dairy equipment]. *Vestnik FGOU VPO "MGAU imeni V.P. Goryachkina"*, 2012; 5 (56): 14-17. (In Rus.)

### Contribution

Ostroukhov A.I., Varlamova T.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Ostroukhov A.I., Varlamova T.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on December 24, 2018