

В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labts@mail.ru; rakevich.1991@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННОГО РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ПРОМЫВКИ МОЛОКООХЛАДИТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье представлены результаты испытаний макетного образца распылительного устройства системы промывки молокоохладителей.

Ключевые слова: распылитель, молокоохладитель, очистка, промывка, макет, эффективность, способ, режим, орошение, плотность, равномерность, ударная сила.

V. K. Klybik, Yu. A. Rakevich

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labts@mail.ru; rakevich.1991@mail.ru

STUDY OF A ROTARY SPRAY DEVICE FOR A MILK COOLER WASHING SYSTEM

Abstract. The article presents the results of testing a prototype of a spray device for a milk cooler washing system.

Keywords: sprayer, milk cooler, cleaning, washing, layout, efficiency, method, mode, irrigation, density, uniformity, impact force.

Введение

По прогнозам Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь экспортный потенциал молочной промышленности может достичь 3 миллиардов долларов уже к 2025 году. Для этих целей необходимо поднять уровень валового производства молока до 9,2 млн тонн. Для достижения данного показателя решается ряд задач по совершенствованию кормовой базы, технического оснащения производства и переработки молока [1].

Наряду с увеличением производства молока необходимо предусматривать повышение его качества. Качество получаемого молока, являющегося одним из объектов окружающей среды, и повышение его чистоты, в том числе снижение бактериальной загрязненности, не может не сказаться на состоянии здоровья потребителя. Кроме того, в условиях рыночной экономики показатель качества является одним из основных при сбыте молока. Это обусловлено, прежде всего, более высокими закупочными ценами на молоко сорта «экстра» [2].

При производстве молока решающим фактором, который влияет на его качественные показатели, является санитарное состояние доильного оборудования. В процессе эксплуатации доильных установок на внутренних поверхностях их трубопроводов, стенках молокоохладителя образуются разнообразные по составу, свойствам, толщине, прочности сцепления отложения, которые приводят к загрязнению молока, в результате чего происходит снижение его сортности и цены за реализацию. Исследованиями установлено, что до 80 % первичной микрофлоры молока формируется за счет микрофлоры доильных установок. Поэтому разработка технологических подходов, которые обеспечат эффективную очистку поверхностей от загрязнения, является первоочередной задачей, решение которой обеспечит получение высокосортного молока [3, 4].

Главная задача системы промывки – должным образом очистить доильное оборудование эффективным сочетанием основных моющих факторов. Время циркуляционного промывания определя-

ется в зависимости от типа моющего средства, дозирования, степени загрязненности и эффективности механического влияния. Как правило, это время составляет около 10 мин., если используется комбинированное (моющее и дезинфицирующее) средство, или 7–8 мин. для циркуляционного промывания моющим средством и 5 мин для дезинфекции [5, 6].

Основная часть

Основным показателем, определяющим качество работы струйных распылителей, является плотность орошения – удельная величина расхода воды на 1 м^2 площади очищаемой поверхности в единицу времени ($\text{л/м}^2\text{с}$). Равномерность распыла характеризуется стандартным отклонением значений плотности орошения [7].

Для определения плотности орошения используется разработанный макет струйного распылителя автоматизированной однофазной промывки молокоохладителей (рис. 1), который состоит из емкости молокоохладителя 1, кассеты с набором емкостей 2, распыливающего устройства 3, насосной станции 4, регулирующего устройства 5, трубопроводно-запорной арматуры 6, мерной емкости 7.

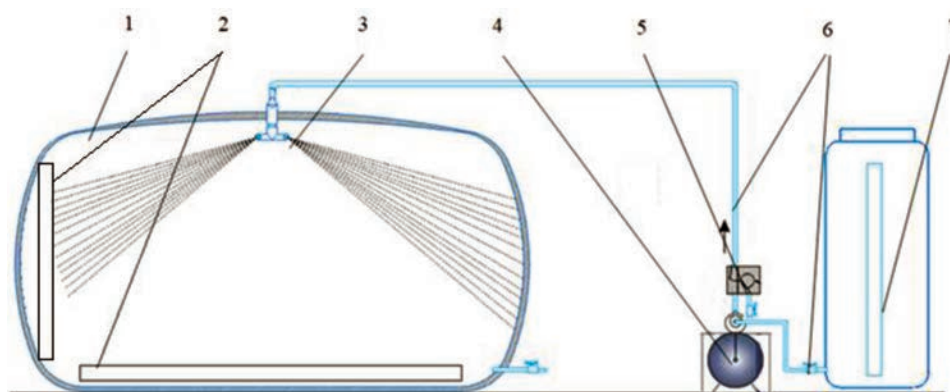


Рис. 1. Макетный образец распылительного устройства системы промывки молокоохладителей:
1 – молокоохладитель; 2 – кассета; 3 – распыливающее устройство; 4 – насосная станция; 5 – регулирующее устройство; 6 – трубопроводно-запорная арматура; 7 – мерная емкость

Макетный образец работает следующим образом. Вода, предварительно набранная в мерную емкость 7, с помощью насоса 4 по трубопроводно-запорной арматуре 6 подается в распыливающее устройство 3. По достижении в системе заданного давления (в данном случае – 200 кПа) распылитель распыляет воду, которая собирается в мерные емкости. Давление воды в системе контролируется манометром.

Насосная станция с регулирующим устройством обеспечивает подачу моющей жидкости к форсунке с производительностью от 70 л/мин при давлении 4 бара до 160 л/мин при давлении 1 бар. Мерная емкость объемом 200 литров позволяет определить расход воды в единицу времени и обеспечивает достаточный запас воды для проведения исследований.

При проведении испытаний за базовый вариант принят струйный распылитель производителя «Гомельагрокомплект» (рис. 2).

Исследование распределения плотности орошения осуществляется с помощью набора емкостей. Ячейки для сбора воды размером 5×5 см устанавливаются в сотовом порядке в квадратную кассету, располагающуюся на дне, сбоку и сверху молокоохладителя. Внутри кассет установлен поролон для впитывания воды. Число емкостей в кассете составляет 64 шт. Высота кассеты – 90 мм. Орошаемая площадь составляет $0,17 \text{ м}^2$. Для проведения испытаний за новый вариант принят макетный струйный распылитель (рис. 3).

Исследование оценки показателей качества работы струйного распылителя вращающегося типа для промывки молокоохладителей производится в следующем порядке.

1. Сборка струйного распылителя (сопло и вкладыш при помощи накидной гайки фиксируются на валу макетного образца).

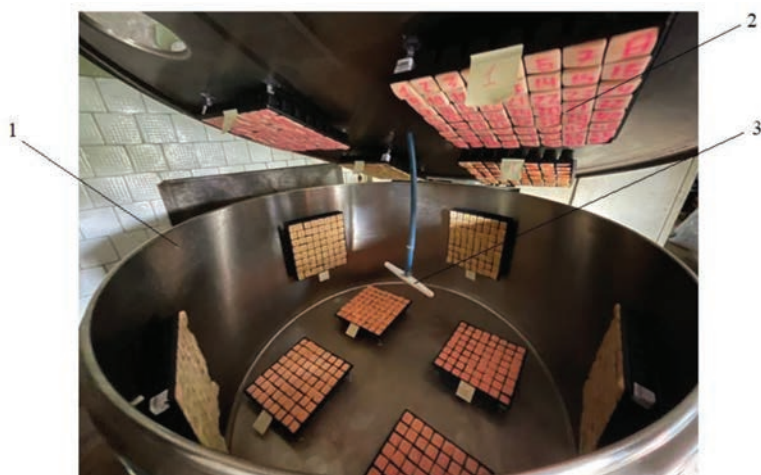


Рис. 2. Оборудование для проведения испытания: 1 – молокоохладитель; 2 – кассета для сбора воды; 3 – распылитель «Гомельагрокомплект»

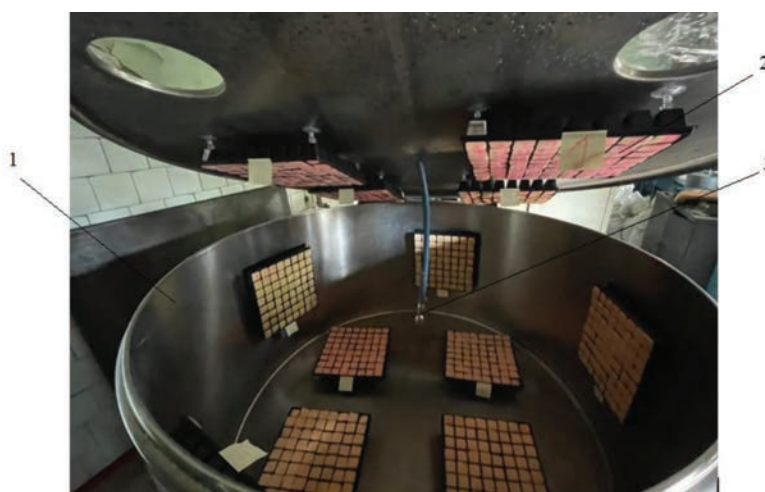


Рис. 3. Оборудование для проведения испытания:
1 – молокоохладитель; 2 – кассета для сбора воды; 3 – макетный распылитель

2. Подготовка системы. Для этого необходимо наполнить мерную емкость водой, затем включить питание насоса. При помощи регулятора давления и манометра установить требуемое давление воды в системе (200 кПа или 2 атм.).

3. По достижении необходимого давления открыть вентиль перед форсункой на несколько секунд. Это производится с целью удаления воздуха из системы, который может существенно исказить результаты последующих экспериментов.

4. После закрытия вентиля для сохранения в системе постоянного уровня давления воды питание насоса отключать не требуется.

5. Кассеты с ячейками устанавливаются снизу, сбоку и сверху молокоохладителя относительно струйного распыливающего устройства на заданном расстоянии друг от друга.

6. По сигналу секундомера открывается вентиль перед распылительным устройством, и происходит распыление воды. Распыленная вода собирается в кассету с ячейками до тех пор, пока не произойдет наполнение хотя бы одной мерной емкости. После этого вентиль закрывается, и фиксируется время, в течение которого происходило распыливание.

7. Производится поочередное взвешивание мерных емкостей с водой.

8. После окончания экспериментов проводится статистическая обработка данных с построением графиков для определения процентного соотношения распределения плотности орошения.

Определим плотность орошения следующим образом [7]:

$$Q_i = \frac{M_i}{S_i \tau_3}, \quad (1)$$

где Q_i – плотность орошения в i -й емкости, л/м²с; M_i – объем воды в i -й емкости, л; S_i – площадь поперечного сечения емкости, м²; τ_3 – продолжительность эксперимента, с.

Для первой кассеты с первой ячейкой (базовый вариант):

$$Q_i = \frac{0,01313}{0,0025 \cdot 130} = 0,0404 \text{ л/ м}^2 \text{ с.}$$

Среднеквадратичное отклонение плотности орошения в данной точке распыла рассчитывается относительно ближайших соседних точек по следующей формуле [7]:

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}, \quad (2)$$

где S_Q – стандартное отклонение плотности орошения, л/м²с; n – количество ячеек для измерения; \bar{Q} – среднее значение плотности орошения, л/м²с; Q_i – значение плотности орошения в i -й емкости, л/м²с.

Для первой кассеты, установленной на дне молокоохладителя с первой ячейкой (базовый вариант):

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{63-1} \sum_{i=1}^n (2,6181 - 0,0404)^2} = 0,000064.$$

Для первой кассеты, установленной на дне молокоохладителя с первой ячейкой (новый вариант):

$$Q_i = \frac{0,01390}{0,0025 \cdot 130} = 0,04277 \text{ л/ м}^2 \text{ с.}$$

Для первой кассеты, установленной на дне молокоохладителя с первой ячейкой (новый вариант):

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{63-1} \sum_{i=1}^n (2,8438 - 0,04277)^2} = 0,000210.$$

В результате проведения испытаний на основе полученных значений построены контурные поверхности распределения плотности орошения струйных распылителей относительно всей поверхности молокоохладителя для базового и нового варианта (рис. 4–9).

Анализируя полученные контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя, определили процентное соотношение распределения плотности орошения ко всей поверхности молокоохладителя (табл. 1).

Таблица 1. Процентное соотношение распределения плотности орошения

Струйный распылитель	Поверхность молокоохладителя	Распределение плотности орошения, л/м ² с				
		0–0,010	0,010–0,020	0,020–0,030	0,030–0,040	0,040–0,050
«Гомельагрокомплект»	нижняя	–	–	–	51,57 %	48,43 %
	боковая	2,76 %	1,95 %	4,29 %	30,07 %	60,93 %
	верхняя	0,1 %	0,78 %	4,68 %	31,25 %	63,27 %
Макетный образец	нижняя	–	–	–	22,66 %	77,34 %
	боковая	–	–	–	28,15 %	71,85 %
	верхняя	–	–	–	26,56 %	73,43 %

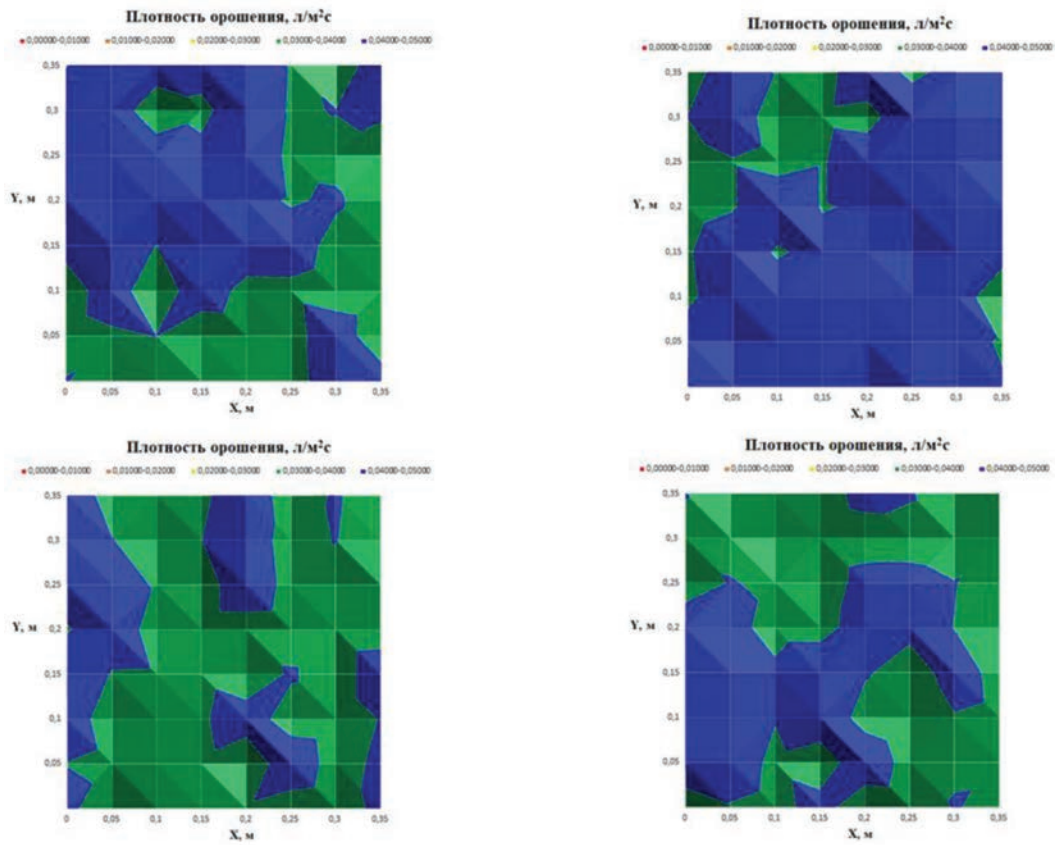


Рис. 4. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя на дне молокоохладителя (базовый вариант)

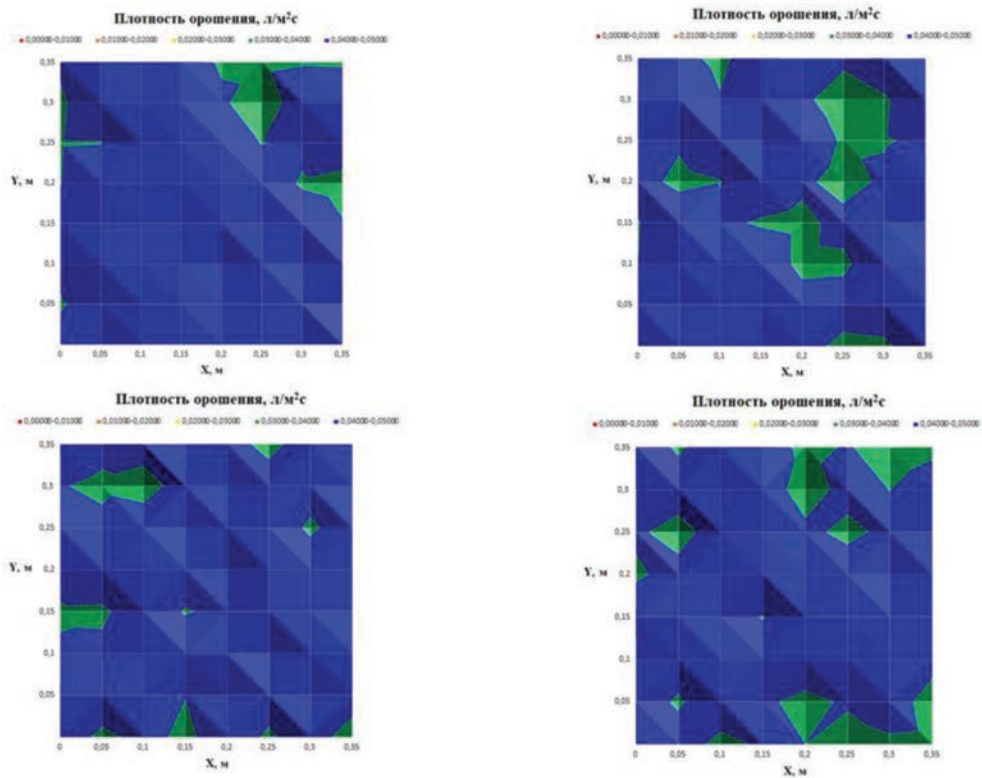


Рис. 5. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя на дне молокоохладителя (новый вариант)

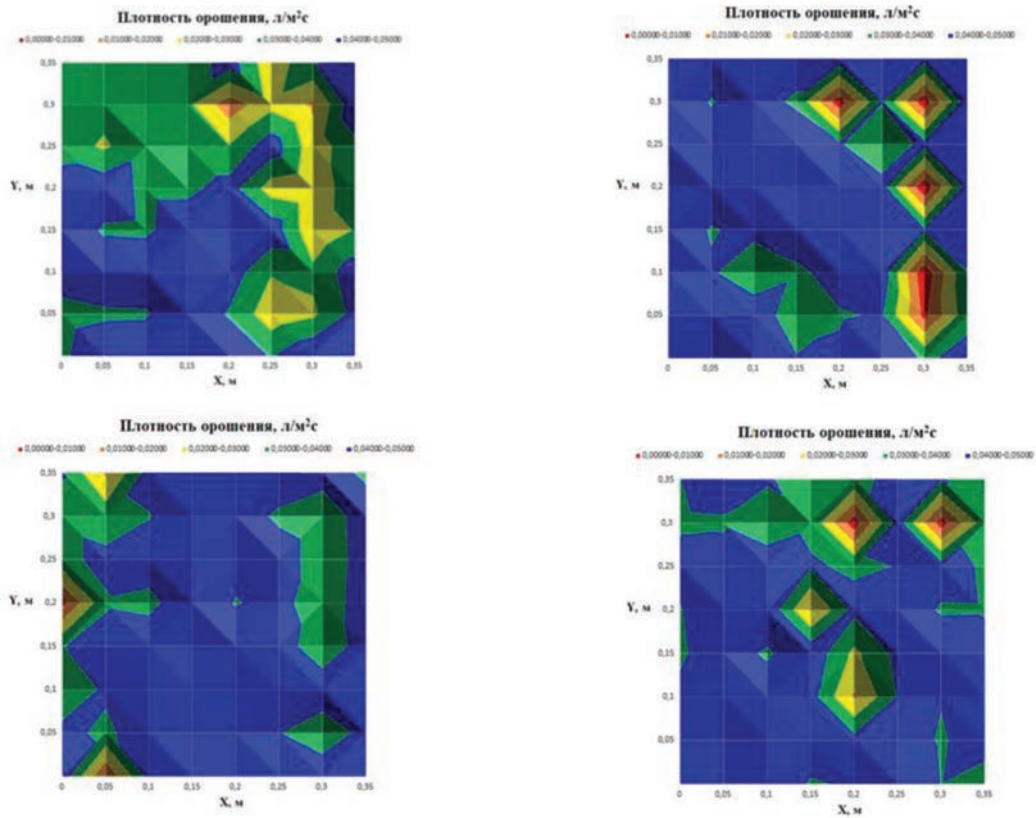


Рис. 6. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя на боковой поверхности молокоохладителя (базовый вариант)

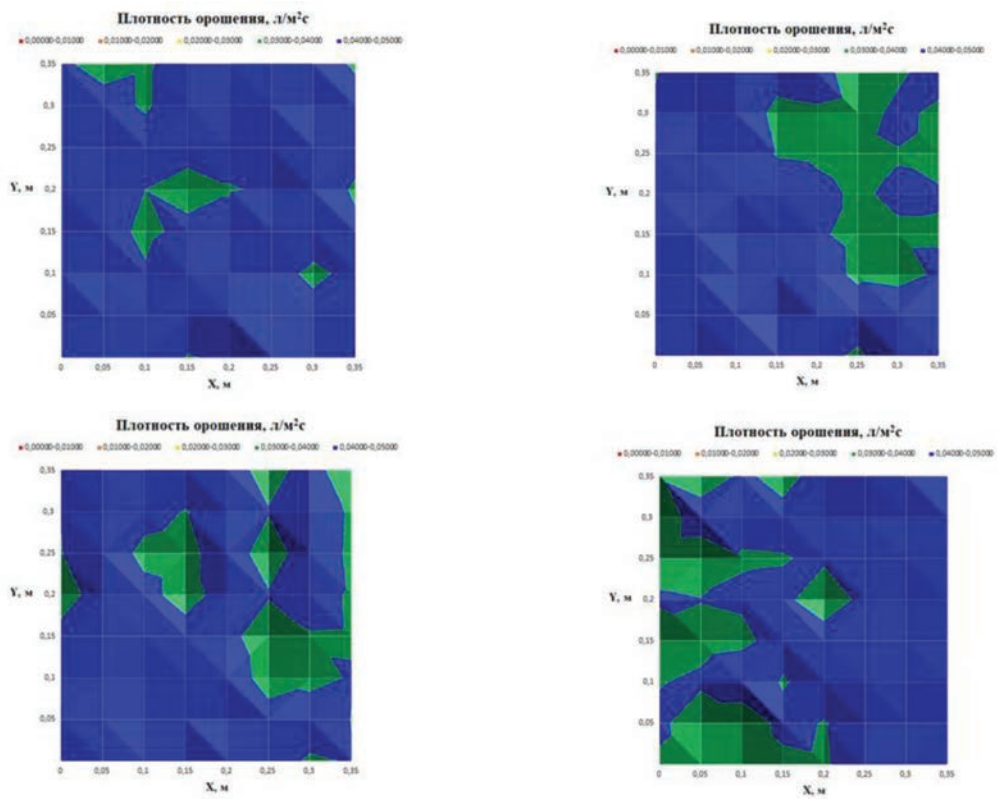


Рис. 7. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя на боковой поверхности молокоохладителя (новый вариант)

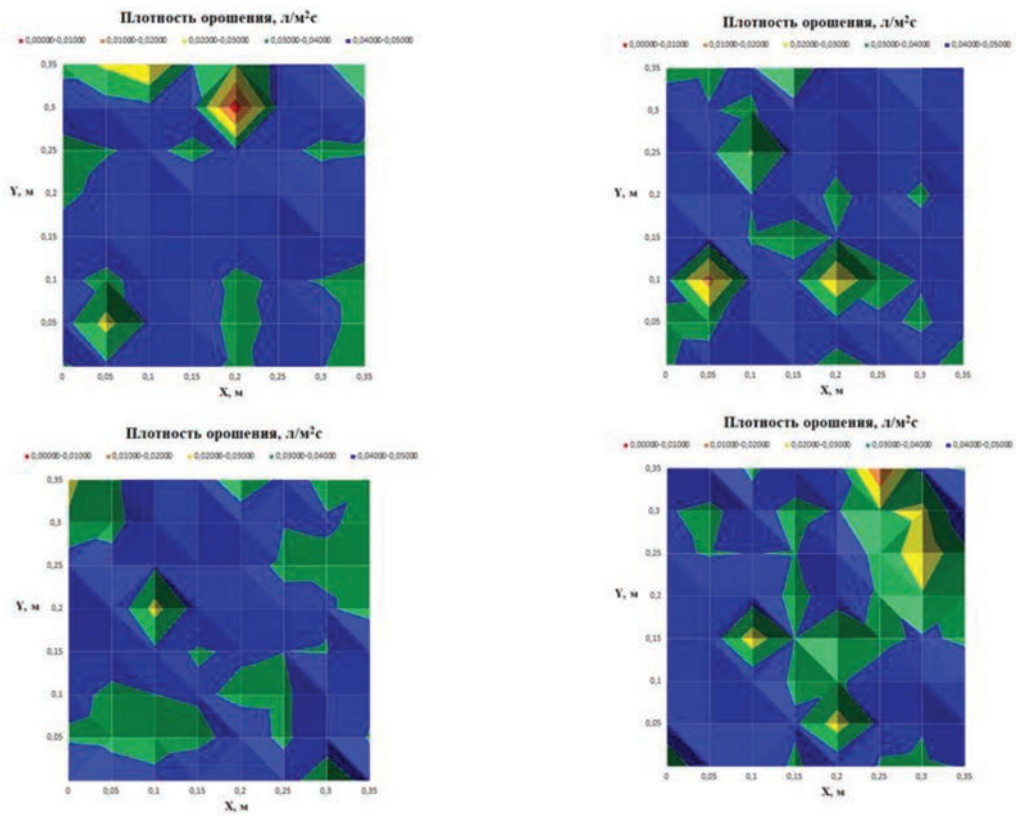


Рис. 8. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя сверху молокоохладителя (базовый вариант)

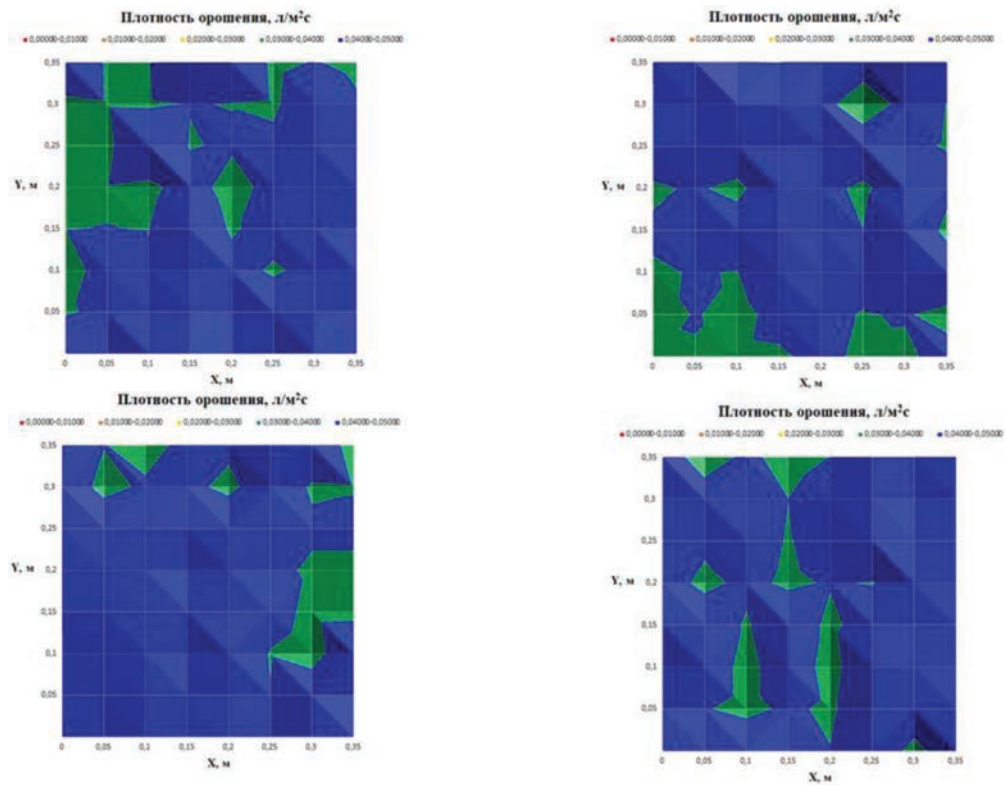


Рис. 9. Контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя сверху молокоохладителя (новый вариант)

Распределение плотности орошения струйного макетного распылителя в сравнении с базовым равномернее по нижней поверхности молокоохладителя на 28,91 %, по боковой – на 10,92 % и по верхней – на 10,15 % за счет более эффективного распыла жидкости.

В результате проведения испытаний установлено направление распыла жидкости струйными распылителями для базового и нового варианта (рис. 10).



Рис. 10. Распыление жидкости струйными распылителями: *а* – распылитель «Гомельагрокомплект»; *б* – макетный струйный распылитель

Анализируя полученные при работе струйных распылителей снимки, можно сделать вывод, что распыл жидкости струйного распылителя производителя «Гомельагрокомплект» выражено направлен в одну сторону, а именно в верхнюю часть поверхности молокоохладителя, в результате чего происходит менее равномерное распределение плотности орошения по боковой и нижней поверхностям молокоохладителя. В то же время, при работе макетного струйного распылителя наблюдается распыл жидкости во все стороны поверхности молокоохладителя и распределение плотности орошения происходит более равномерно по всей поверхности молокоохладителя. Величиной, характеризующей равномерность распределения плотности орошения струйного распылителя, является значение распределения плотности орошения всех расчетных секторов (рис. 11).

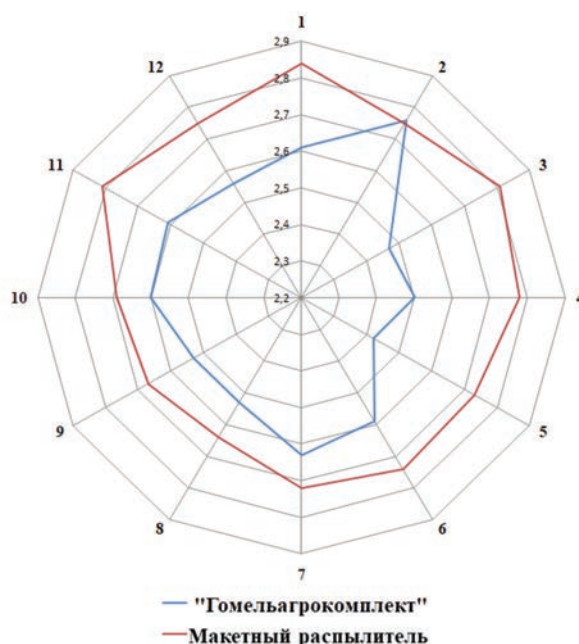


Рис. 11. Диаграмма распределения жидкости для 12-секторного сборника

В качестве количественной характеристики окружной равномерности жидкости в факеле распыливания обычно применяют коэффициент неравномерности [8]:

$$K = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (3)$$

где Q_{\max} , Q_{\min} , $Q_{\text{ср}}$ – соответственно максимальный, минимальный и средний объемы жидкости в секторе.

Определим коэффициенты неравномерности струйного распылителя поверхности молокоохладителя для базового варианта:

$$K_{\text{б}} = \frac{2,76 - 2,42}{2,56} \cdot 100 = 13,28 \%$$

Для нового варианта соответственно:

$$K_{\text{н}} = \frac{2,84 - 2,64}{2,74} \cdot 100 = 7,29 \%$$

Коэффициент неравномерности распределения зависит не только от конструктивных параметров распылителя, но и от давления подачи и взаимного расположения распылителя и молокоохладителя.

На диаграмме видно, что полученные средние значения распределения жидкости у макетного образца более равномерны, чем у производителя «Гомельагрокомплект» за счет более эффективного распыла жидкости по всей поверхности молокоохладителя.

Важным показателем, характеризующим механическое воздействие на молочные загрязнения, является ударная сила струйного распылителя – гидравлический показатель, определяемый кинетической энергией распыленной струи. Ударная сила выражается в Н/м^2 и зависит от расстояния от сопла до очищаемой поверхности молокоохладителя (рис. 12).

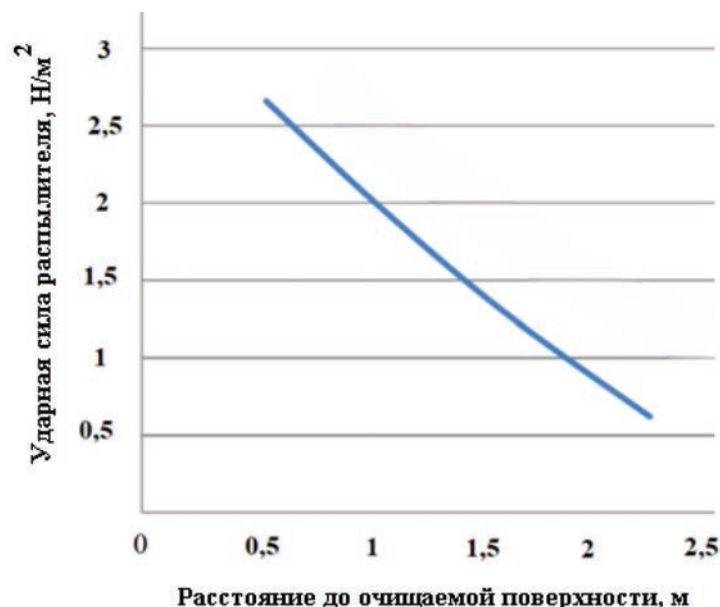


Рис. 12. Графическая зависимость ударной силы распылителя от расстояния до очищаемой поверхности молокоохладителя

Установлено, что в рабочем режиме распылителя при давлении 2 бара для обеспечения высокой ударной силы $P_{\text{уд}} = 2,7 \text{ Н/м}^2$ оптимальным расстоянием при воздействии струи жидкости на загрязнения является 0,5 м.

С увеличением расстояния от 0,5 до 2 м до очищаемой поверхности молокоохладителя наблюдается быстрое снижение величины ударной силы струйного распылителя в 3 раза.

Заключение

Анализируя полученные контурные поверхности распределения плотности орошения струйного распылителя, определили процентное соотношение распределения плотности орошения по всем поверхностям молокоохладителя. Распределение плотности орошения струйного макетного распылителя по нижней поверхности молокоохладителя составило 28,91 %, по боковой – 10,92 % и по верхней – 10,15 % за счет более эффективного распыла жидкости в сравнении с базовым вариантом.

В качестве количественной характеристики окружной неравномерности распределения жидкости в факеле распыливания применен коэффициент неравномерности. Коэффициент неравномерности для базового варианта составил $K_{\sigma} = 13,28$ %, для нового варианта $K_{\sigma} = 7,29$ %.

Установлено, что в рабочем режиме распылителя при давлении 2 бара для обеспечения высокой ударной силы $P_{\text{уд}} = 2,7$ Н/м² оптимальным расстоянием при воздействии струи жидкости на загрязнения является 0,5 м. С увеличением расстояния от 0,5 до 2 м до очищаемой поверхности молокоохладителя наблюдается быстрое снижение величины ударной силы струйного распылителя в 3 раза.

Список использованных источников

1. Клыбик, В. К. К вопросу рационального выбора распылительного устройства для эффективной промывки молокоохладителей / В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич // Вест. Баранов. гос. ун-та. Сер.: Техн. науки. – 2023. – № 1. – С. 64–68.
2. Клыбик, В. К. Пути совершенствования процесса мойки емкостей молокоохладителей / В. К. Клыбик, В. В. Никончук // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 117–120.
3. Палій, А. П. Перспективні напрями розвитку молочного скотарства в Україні / А. П. Палій // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – Великие Луки, 2014. – № 2. – С. 10–15.
4. Ушаков, Ю. А. Качество молока в зависимости от санитарного состояния доильного оборудования / Ю.А. Ушаков, А. А. Панин // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург, 2009. – № 1 (21). – С. 99–101.
5. Палій, А. П. Дослідження процесу очищення доїльних установок різного типу після доїння / А. П. Палій // Науково-технічний бюлетень 112. – Харків, 2014. – С. 109–114.
6. Палій, А. П. Дослідження процесу промивання доїльних установок / А. П. Палій // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. – Львів, 2014. – Серія “Сільськогосподарські науки”, том 16, № 2 (59), ч. 3. – С. 156–161.
7. Клыбик, В. К. Методика оценки эффективности работы струйных распылителей вращающегося типа для промывки молокоохладителей / В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-тех. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения академика С. И. Назарова (Минск, 19–20 октября 2023 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва. – Минск, 2023. – С. 176–181.
8. Клыбик, В. К. Экспериментальные исследования истечения жидкости из распылителей для промывки молокоохладителей / В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-тех. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения академика С. И. Назарова (Минск, 19–20 октября 2023 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва. – Минск, 2023. – С. 270–272.