

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Маслов Максим Михайлович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
САНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК
ЛИНЕЙНОГО ТИПА**

Специальность 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

К.Т.Н., доцент
Матвеев В.Ю.

Княгинино – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 Состояние вопроса и задачи исследования.....	10
1.1 Анализ состояния отрасли молочного животноводства	10
1.2 Требования к качеству молока и анализ основных производственно-технологических причин повышения уровня бактериальной обсеменённости	12
1.3 Характеристика технологических линий санитарной обработки доильных установок.....	21
1.4 Направления совершенствования процесса санитарной обработки доильных установок.....	23
1.5 Выводы	30
ГЛАВА 2 Теоретические исследования процесса промывки доильных установок.....	32
2.1 Теоретическое обоснование технологии санитарной обработки с применением механических очистителей	32
2.1.1 Функционально-морфологическая модель системы санитарной обработки доильной установки.....	32
2.1.2 Структурно-логическая схема функционирования системы санитарной обработки доильных установок с молокопроводом и автоматом промывки..	40
2.1.3 Усовершенствованный способ санитарной обработки доильной установки	48
2.2 Обоснование конструкции технических средств для санитарной обработки доильных установок.....	52
2.3 Теоретическое обоснование необходимого объема моюще- дезинфицирующего раствора.....	63
2.3.1 Обоснование силы механического взаимодействия чистящего элемента с поверхностью молокопровода	63
2.3.2 Обоснование увеличения площади взаимодействия белково-жировых загрязнений с моющим раствором при использовании механических очистителей	67
2.3.3 Обоснование количества моюще-дезинфицирующего раствора, необходимого для обеспечения надлежащего уровня санитарного состояния доильной установки	70
2.4 Выводы	76
ГЛАВА 3 Методика проведения экспериментальных исследований.....	78
3.1 Общая программа и методика исследования.....	78
3.2 Лабораторные (экспериментальные) установки и оборудование	79
3.3 Методика определения силы трения чистящего элемента о внутреннюю поверхность молокопровода	83

3.4	Методика определения бактериального обсеменения поверхности доильного оборудования	88
3.5	Методика определения скорости движения и частоты вращения механического очистителя	90
3.6	Выводы	91
ГЛАВА 4 Результаты экспериментальных исследований, усовершенствованных технологий и технических средств.....		92
4.1	Исследование конструкционных параметров корпуса механического очистителя с активными рабочими органами	92
4.2	Исследование конструктивно-технологических параметров чистящего элемента механического очистителя с активными рабочими органами.....	97
4.3	Результаты определения силы трения чистящей поверхности о внутреннюю поверхность молокопровода механических очистителей различного типа	103
4.4	Исследование влияния зависимости линейной скорости и частоты вращения устройства очистки от вакуумметрического давления	107
4.5	Исследование зависимости качества санитарной обработки от количества подаваемых механических очистителей.....	110
4.6	Исследование зависимости качества очистки от времени подачи механических очистителей.....	114
4.7	Исследование зависимости необходимого объема моюще-дезинфицирующего раствора и времени его циркуляции от количества механических очистителей.....	118
4.8	Выводы	123
ГЛАВА 5 Производственная апробация и оценка экономической эффективности.....		125
5.1	Производственная апробация усовершенствованной системы очистки молокопроводов доильной установки.....	125
5.2	Оценка экономической эффективности результатов исследований	131
5.3	Выводы	132
Заключение		133
Список литературы		135
Приложение А		151
Приложение Б.....		154
Приложение В.....		158
Приложение Г		159
Приложение Д.....		160
Приложение Е.....		161
Приложение Ж.....		168
Приложение З		171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Технологические характеристики молока-сырья, обуславливающие возможность его глубокой промышленной переработки, определяются комплексом физико-химических и санитарно-гигиенических параметров. Ключевыми среди них выступают концентрация соматических клеток, показатель кислотности и степень бактериальной обсеменённости. Данные показатели находятся в функциональной зависимости от санитарно-гигиенического состояния внутренних рабочих поверхностей элементов доильного и охладительного оборудования.

Анализ структуры отечественного парка доильного оборудования показывает, что при привязном содержании крупного рогатого скота наиболее распространены линейные доильные установки с молокопроводом (до 70–80 % от общего числа эксплуатируемого оборудования), характеризующиеся значительной протяженностью транспортных линий – от 100 до 200 м [37]. Высокая удельная площадь контакта внутренней поверхности молокопровода с транспортируемым сырьем (молоком) существенно усложняет процесс обеспечения высоких санитарно-гигиенических показателей оборудования. Так, на примере хозяйств Нижегородской области установлено, что до 5 % объема производимого молока-сырья ежегодно реализуется по сниженной цене [56] вследствие интенсификации микробиологических процессов и роста кислотности, вызванных ненадлежащей санитарной обработкой доильного оборудования.

Таким образом, формируется выраженное технологическое противоречие: повышение эффективности санитарной обработки традиционными гидродинамическими методами достигается за счет экстенсивного увеличения удельного расхода тепловой и электрической энергии, а также объемов моюще-дезинфицирующих средств, что ведет к необоснованному росту энерго- и материалоемкости процесса.

В этой связи актуальной научной и практической проблемой является разработка альтернативных ресурсосберегающих способов и технических средств очистки молокопроводов доильных установок, обеспечивающих снижение ресурсоемкости процесса при гарантированном соблюдении санитарно-гигиенических требований к качеству молока-сырья.

Степень разработанности темы. Теоретической и методологической основой диссертационной работы выступают научные концепции и исследования отечественных и зарубежных ученых в области санитарной обработки доильных установок. Среди них следует отметить работы Р.Г. Алагезяна, И.И. Архангельского, Ю.И. Беляевского, В.И. Березуцкого, А.Е. Брагиной, О.А. Герасимовой, Г.П. Дегтерева, Б.А. Доронина, А.М. Жмырко, Ю.П. Золотина, А.И. Зеленцова, Ю.Г. Иванова, Л.П. Карташова, В.В. Кирсанова, Ж.И. Кузиной, П.А. Курунина, Р.А. Мамедовой, В.В. Молочникова, В. Моора, Ф.В. Неволина, Д.Ю. Павкина, С.В. Соловьева, С.В. Харькова, Ю.А. Цоя, R.S. Gates, D.J. Reinemann и др.

В результате анализа научных работ выявлено, что, несмотря на высокую эффективность предложенных разработок, недостаточное внимание уделено аспектам комплексной технологии применения технических решений для санитарной обработки доильных установок.

Целью диссертационной работы является совершенствование технологии и технических средств гидромеханической очистки внутренней поверхности молокопроводов доильных установок линейного типа, позволяющих повысить эффективность санитарной обработки.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **задачи**:

- проанализировать существующие способы и системы санитарной обработки доильных установок;
- теоретически обосновать технологию санитарной обработки молокопровода доильной установки и технических средств для гидромеханической очистки при ее реализации;

- провести экспериментальные исследования рабочего процесса модернизированной системы санитарной обработки и оценить влияние конструкционных и режимных параметров предложенных технических решений на качество санитарной обработки молокопроводов доильных установок;
- провести производственные испытания усовершенствованной технологии санитарной обработки и технических средств для ее реализации с оценкой экономической эффективности предложенных технико-технологических решений.

Объект исследования – процесс санитарной обработки молокопроводов доильных установок линейного типа.

Предмет исследования – конструкционные и технологические параметры технических средств и показатели качества санитарной обработки внутренней поверхности молокопроводов доильных установок.

Научная новизна работы:

- разработана технология санитарной обработки молокопроводов доильных установок, предусматривающая применение механических очистителей с активными рабочими органами и устройства их подачи (патент на изобретение РФ №2737968 «Способ санитарной обработки молокопроводов доильных установок») (Приложение А);
- установлена теоретическая зависимость максимальной длины механического очистителя с активными рабочими органами, обеспечивающая его поступательно-вращательное движение;
- выявлена теоретическая зависимость объема моюще-дезинфицирующего раствора для промывки доильной установки с учетом применения механических очистителей;
- определены рациональные режимы санитарной обработки молокопроводов с использованием механических очистителей с активными рабочими органами;

- получены модели регрессии рабочего процесса механического очистителя с активными рабочими органами, позволяющие определить его рациональные конструктивно-технологические параметры.

Техническая новизна механического очистителя с активными рабочими органами и устройства их подачи, подтверждена патентами на изобретение РФ № 2688830 и № 2728661 (Приложение А).

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в развитии научно-методических основ санитарной обработки доильного оборудования в молочном животноводстве. Предложенные функционально-морфологическая модель и структурно-логическая схема системы санитарной обработки (с учётом молокопровода и автомата промывки) расширяют теоретические представления о функционировании подобных систем. Полученные закономерности взаимодействия механических очистителей с поверхностями молокопроводов углубляют понимание физико-химических и механических процессов очистки, дополняя существующую научную базу отрасли.

Разработанный способ санитарной обработки и технические могут быть использованы на молочно-товарных фермах сельскохозяйственных организаций, оборудованных доильными установками линейного типа.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы наблюдения, функциональной классификации, корреляционного и регрессионного анализа, законы и положения механики, жидкостного трения и пластического деформирования.

Достоверность основных положений и выводов подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, результатами производственной проверки и внедрением усовершенствованной технологии санитарной обработки и технических решений.

Основные положения, выносимые на защиту:

- технология санитарной обработки молокопроводов доильных установок;

- теоретическая зависимость максимальной длины механического очистителя с активными рабочими органами;
- теоретическая зависимость объема моюще-дезинфицирующего раствора для промывки доильной установки с учетом применения механических очистителей;
- рациональные режимы санитарной обработки молокопроводов с использованием механических очистителей с активными рабочими органами;
- модели регрессии рабочего процесса механического очистителя с активными рабочими органами.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены в виде докладов на научно-практических конференциях и семинарах, а именно: Международная научно-практическая конференция «Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы» (г. Екатеринбург, 2017 г.), Международная научно-практическая конференция «Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы» (г. Пермь, 2018 г.), Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные направления развития техники и технологии в России и за рубежом – реалии, возможности, перспективы» (г. Княгинино, 2019 г.), Международная научно-практическая конференция «Современная наука: активные проблемы и перспективы развития» (г. Княгинино, 2019 г.), XXIV Нижегородская сессия молодых ученых (г.Н.Новгород, 2019 г.), конкурс инновационных проектов «УМНИК-2019» (г. Н.Новгород, 2019 г.), III Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и технологии в современном мире» (г. Княгинино, 2024 г.), IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и технологии в современном мире» (г. Княгинино, 2024 г.), V Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и технологии в современном мире» (г. Княгинино, 2025 г.) (Приложение А).

Результаты диссертационной работы апробированы и внедрены на молочно-товарную ферму в СПК «Заря» Пильнинского муниципального округа Нижегородской области и в учебный процесс ГБОУ ВО Нижегородского государственного инженерно-экономического университета (Приложение Б, В, Г).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 23 печатных работах, в том числе: 11 работ, в изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук, 3 патента на изобретение и 2 публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных и системах цитирования Web of Science.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Содержит 150 страниц машинописного текста, 56 рисунков и 26 таблиц. Библиография включает 130 наименований.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ состояния отрасли молочного животноводства

Молочное скотоводство России является ведущей отраслью животноводства, которая обеспечивает население и перерабатывающую промышленность молоком.

Молоко и молочные продукты являются неотъемлемой частью продовольственной корзины, так как снабжают организм человека ценными в физиологическом отношении питательными веществами, которые легко усваиваются. К примеру, усвояемость молочного белка составляет 96, жира – 95, молочного сахара (лактозы) – 98 %. В состав молока входят более 200 питательных веществ – белки, жиры, молочный сахар, минеральные вещества, а также фосфолипиды, органические кислоты, витамины, ферменты и др. [45].

По статистике, каждый житель России потребляет около 263 кг молока и молочных продуктов в год, что примерно на 100 кг меньше научно обоснованных норм потребления [78]. Причинами сложившейся ситуации являются отсутствие культуры потребления, недостаточный объем производства молочной продукции, а также ее высокая, для определенных слоев населения, цена [15].

В соответствие с госпрограммой Министерства сельского хозяйства, на 2024-25 гг. в 2025 году в России хозяйствами всех категорий произведено 35,7 млн т сырого молока, что на 4,76 % больше, чем фактическое производство в 2024 году [79].

Согласно Методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», разработанным Роспотребнадзором, рекомендуемая норма потребления молочных продуктов в пересчете на молоко

составляет 325 кг в год на человека. Исходя из текущих темпов производства фактическое потребление в последние годы составляет 239–243 кг в год на человека, что примерно на 25 % ниже рекомендуемого значения.

Учитывая сведения отчетов Федеральной службы государственной статистики по результатам 2024 года, Нижегородская область находится на третьем месте в рейтинге российских регионов по объемам производства молока. Валовой надой в 2025 году в регионе достиг 719,6 тысяч тонн, что на 4,4 % превышает показатели прошлого года [98].

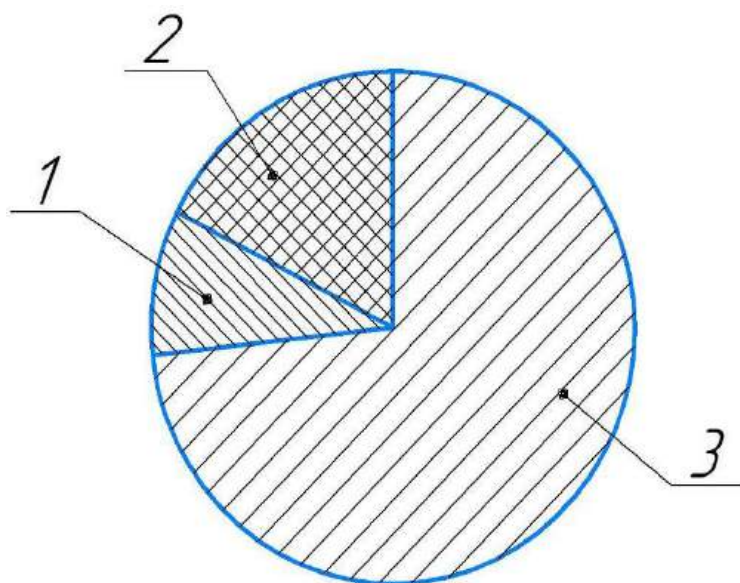


Рисунок 1.1 – Структура производства молока*:

1 – крестьянские хозяйства и индивидуальные предприниматели (8 %); 2 – хозяйства населения (10 %);

3 – сельскохозяйственные организации (82 %)

*Источник: составлено автором по данным [98]

Введение санкционных ограничений вместе с существенным ростом валютного курса выступает фактором, стимулирующим увеличение спроса на высококачественную молочную продукцию российского производства.

Государство старается поддержать и развить отрасль животноводства, реализуя в 2025 году более 15 программ поддержки в форме субсидий на строительство и модернизацию технологического оборудования и помещений, компенсации части транспортных затрат, поддержки кадрового потенциала, компенсации части затрат на кредитные средства и т. д. Так, в Нижегородской

области в 2025 году более 1,8 млрд рублей направленно на развитие отрасли животноводства [97].

В Нижегородской области с 2014 года реализуется программа «Развитие агропромышленного комплекса Нижегородской области», которая в 2025 году для сельскохозяйственных организаций возмещает часть затрат на поддержку собственного производства молока более чем на 10 млн рублей. Предпринят и ряд и других мер поддержки [60].

Уникальные биологические свойства молока обуславливают его ценность как продукт, благотворно влияющего на организм человека в любом возрасте. При этом польза молока и продуктов на его основе будет уместны только в том случае, если производитель молока будет предоставлять переработчику только высококачественное молоко-сырье, так как нельзя из некачественного сырья сделать качественные продукты, тем более продукты детского питания [58; 76; 115].

Даже при использовании самого современного доильного оборудования на товарных фермах невозможно гарантировать стабильное получение высококачественного молока, если с момента ввода оборудования в эксплуатацию не соблюдаются установленные технологические и санитарно-гигиенические требования. Согласно результатам анализа научных исследования отечественных и зарубежных авторов, несмотря на высокий технический уровень современных ферм, фактические показатели качества молока не всегда соответствует предъявляемым требованиям [8; 39; 58; 85].

1.2 Требования к качеству молока и анализ основных производственно-технологических причин повышения уровня бактериальной обсеменённости

В настоящее время к молоку, поступающему на перерабатывающие предприятия, предъявляются требования, предусмотренные ГОСТ 52054-03

«Молоко натуральное коровье сырое. Технические условия», ГОСТ 31449-2013 «Молоко натуральное коровье сырое. Технические условия», ТР ТС 033/2013 «Технический регламент Таможенного союза на молоко и молочную продукцию» и СанПиН 2.3.2.1078-01 «Санитарно-гигиенические правила и нормы» [20; 23; 101]. Сравнительная характеристика различных сортов молока и предъявляемых к ним требований представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Требования к качеству молока по ГОСТ Р 52054-2003 [23]

Наименование показателя	Норма для сорта молока		
	Высшего	Первого	Второго
Органолептические требования			
Консистенция	Однородная жидкость без осадка и хлопьев. Замораживание не допускается		
Вкус и запах	Чистый без посторонних запахов и привкусов, не свойственных свежему натуральному молоку		
			Допускается в зимне-весенний период слабовыраженный кормовой привкус и запах
Цвет	От белого до светло-кремового		
Физико-химические требования			
Массовая доля белка, %, не менее	2,8		
Кислотность, °Т	Не ниже 16,0 и не выше 18,0		Не ниже 16,0 и не выше 21
Группа чистоты, не ниже	I	I	II
Плотность, кг/м³, не менее	1028,0	1027,0	1027,0
Температура замерзания, °С	Не выше минус 0,520		
Содержание небелкового азота, %, не более	0,038		
Содержание мочевины, мг%, не более	40,0		
Массовая доля истинного белка, %, не менее	2,8	2,6	2,6
Микробиологические требования			
КМАФАнМ, КОЕ/см³ (г), не более	1,0 · 10⁵	3,0 · 10⁵	5,0 · 10⁵
Содержание соматических клеток в 1 см³ (г), не более	2,5 · 10⁵	4 · 10⁵	7,5 · 10⁵

Ранее качество молока регламентировалось ГОСТ 13264-70 «Молоко коровье. Требования при заготовках», ГОСТ 13264-88 «Молоко коровье. Требования при заготовках» и ФЗ 88 «Технический регламент на молоко и молочную продукцию». Однако сейчас они утратили силу [18; 19; 56; 78].

Все показатели качества произведенного молока подразделяются на органолептические, физико-химические и микробиологические требования. К

органолептическим показателям относятся консистенция, вкус, запах и цвет молока.

К физико-химическим показателям относятся массовая доля белка, кислотность, группа чистоты, плотность, температура замерзания, содержание небелкового азота, содержание мочевины и др.

Уровень микробиологического загрязнения молока оценивается по содержанию соматических клеток и количеству мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов в 1 см³.

В настоящее время качество молока регламентируется ГОСТ Р 52054 – 2003 «Молоко натуральное коровье – сырье. Технические условия», вступившим в силу с 1 июля 2014 [23]. В стандарте перечислены органолептические, физико-химические и микробиологические требования, предъявляемые к сырому молоку, и сделано разделение на сорта: высший, первый и второй [18; 20].

В соответствии с этим государственным стандартом молоко должно быть получено от здорового животного и охлаждено не позднее 2 часов после дойки до температуры 4 ± 2 °С.

Наряду с отечественным ГОСТ Р 52054-2003 на территории РФ действует межгосударственный стандарт ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия» и технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» [20; 23].

Международный ГОСТ 31449-2013 предусматривает отказ от сортов, ввод нового показателя, послабление и ужесточение некоторых показателей, в сравнении с высшим сортом по ГОСТ Р 52054-2003 [23]:

- послабление в органолептических показателях, в частности допускается слабовыраженный кормовой привкус и запах;
- послабление уровня кислотности до показателей второго сорта по ГОСТ Р 52054-2003 (от 16,0 до 21,0 включительно);
- введен показатель массовой доли сухих обезжиренных веществ молока (СОМО) – не менее 8,2 %;

- послабление плотности до уровня второго сорта по ГОСТ Р 52054-2003 (1027,0);

- послабление содержания соматических клеток в 1 см^3 до уровня первого сорта по ГОСТ Р 52054-2003 ($4 \cdot 10^5 \text{ г}$).

В 2010 г. с целью формирования единого экономического пространства Республикой Беларусь, Республикой Казахстан и Российской Федерацией в рамках Евразийского экономического сообщества был создан Таможенный союз (ТС) и введен технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», который вступил в полную силу с 16 февраля 2015 года.

Данный технический регламент также предусматривает отказ от сортности молока, ужесточены требования по содержанию в молоке 3 групп антибиотиков – левомецетина (хлорамфеникола), стрептомицина и тетрациклиновой группы. По органолептическому признаку молоко должно быть непрозрачное с характерным молочным вкусом, белого цвета со светло-кремовым оттенком [101].

По сравнению с высшим сортом по ГОСТ Р 52054-2003 имеются послабление в допустимых уровнях кислотности ($16\text{--}21^\circ\text{T}$) и плотности (1027 кг/м^3). Уровень микробиологических требований соответствует второму сорту по ГОСТ Р 52054 – 2003 и равен не более $\text{КМАФАнМ} = 5,0 \cdot 10^5 \text{ КОЕ/см}^3 \text{ (г)}$ и не более $7,5 \cdot 10^5 \text{ г}$ содержание соматических клеток в 1 см^3 . В технический регламент введен показатель массовая доля сухих обезжиренных веществ молока (СОМО) – не менее 8,2 %.

С целью контроля санитарного качества и безопасности молока на территории Российской Федерации действуют «Санитарные правила по уходу за доильными установками и молочной посудой, контролю их санитарного состояния и санитарного качества молока», которые регламентируют требования и порядок санитарной обработки молочного оборудования и моюще-дезинфицирующих средств [86].

Класс молока по общей бактериальной обсеменённости, в соответствии с санитарными правилами [86], представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Классность молока по общей бактериальной обсеменённости в соответствии с «Санитарными правилами по уходу за доильными установками и молочной посудой, контролю их санитарного состояния и санитарного качества молока»

Класс молока	Количество микробов в 1 мл молока	Оценка молока
I	До 500 тыс.	Хорошее
II	До 4 млн	Удовлетворительное
III	До 20 млн	Плохое
IV	20 млн и выше	Очень плохое

Данные санитарные правила также регламентируют допустимое содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов равное не более 50 тыс. микроорганизмов на площади поверхности молочного оборудования в 1 см² [58; 86].

Бактериальная обсемененность является одной из ключевых для определения качества сырого молока [73]. Во всех мировых стандартах для оценки качества молока по микробиологическому загрязнению существует показатель «бактериальная обсемененность» [58; 110].

Производители молока-сырья несут большие материальные убытки, связанные со снижением его качества, а, следовательно, и сортности в результате повышенной бактериальной обсемененности [15; 56; 116].

Основным показателем снижения сортности молока-сырья является несоответствие высоким требованиям европейских стран по содержанию микроорганизмов и количеству соматических клеток [47; 48]. В России при содержании соматических клеток в молоке $4 \cdot 10^5$ КОЕ/см³ его относят к первому сорту, а в странах Европы такое молоко относят к маститному [129]. Для оперативного контроля данных показателей рядом авторов разработаны устройства экспресс-контроля [62; 108].

В соответствии с регламентом США установлены 4 класса молока в зависимости от его качества и направления использования. Около 98 % реализуемого молока соответствует классу А (не более $1 \cdot 10^5$ КОЕ/см³) по качественным характеристикам [97].

В странах Западной Европы уровень бактериальной обсемененности для молока не должен превышать $0,1 \cdot 10^5$ КОЕ/см³, что гораздо ниже, чем предусматривает отечественный стандарт. В соответствии с законодательством Финляндии этот показатель для молока сорта 1А составляет $0,5 \cdot 10^5$ КОЕ/см³ [129].

В Канаде все молоко, поступающее на переработку, разделяют на 2 вида: столовое и промышленное. В первую категорию попадает около 40 % сырого молока, которое используется на розлив питьевого молока и сливок; остальные 60 % перерабатываются в молочные продукты [80].

Требования к качеству молока в Новой Зеландии устанавливает государство. У них нет деления молока на сорта, а показатели соответствуют отечественным стандартам высшего сорта [81].

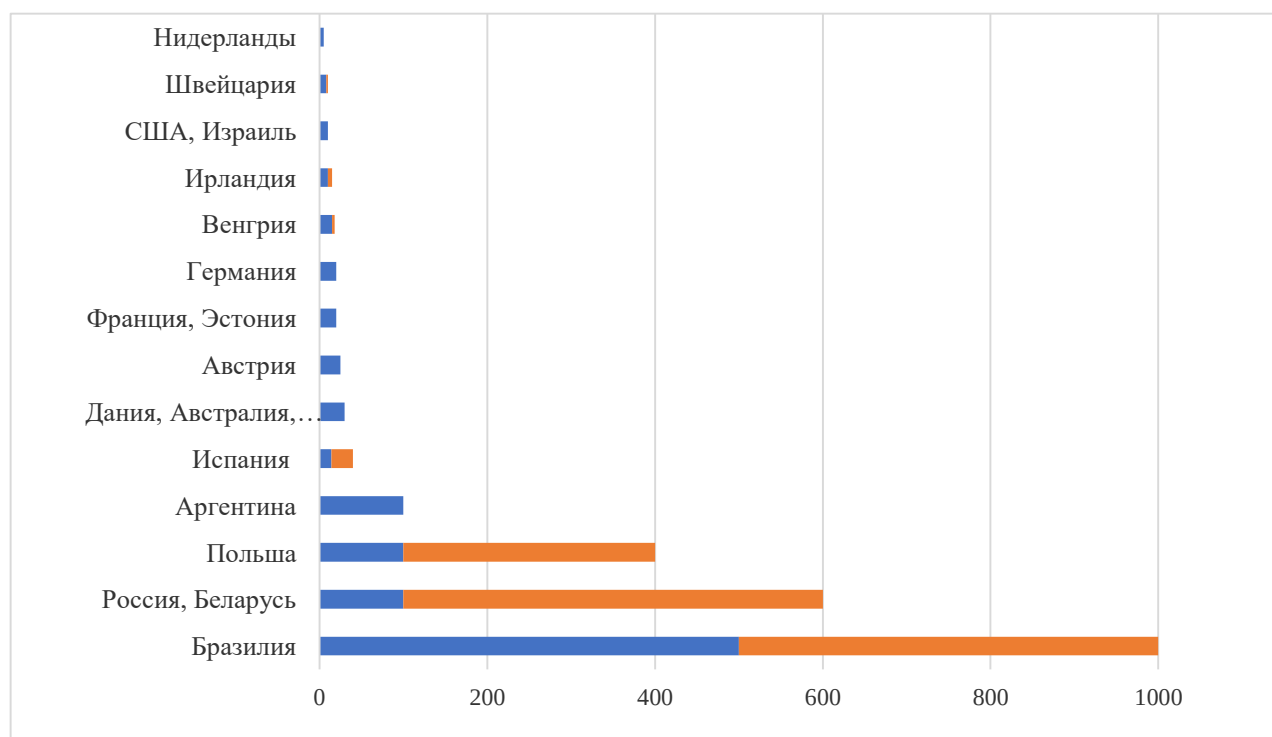


Рисунок 1.2 – Требования к бактериальной обсемененности молока в разных странах мира, тыс./мл*

*Источник: составлено автором по данным [110; 129]

Свежесвыдоенное молоко практически стерильно, и, по мнению большинства ученых, уровень бактериальной обсемененности молока на 80–90 % зависит от санитарного состояния доильного оборудования [5; 10; 28; 47; 55; 74; 85].

Молочные остатки на поверхности доильного оборудования в виде белково-жировых отложений являются благоприятной средой для развития патогенных микроорганизмов, способствующей увеличению их численности в тысячи раз [5; 27; 28; 55; 85; 110]. При этом при неэффективной очистке рабочих поверхностей доильно-молочного оборудования большая часть этих патогенных микроорганизмов развивается и размножается на остатках молока и прочих загрязнениях и попадает в последующие удои, существенно увеличивая показатель бактериальной обсеменённости.

Ключевой операцией в обслуживании доильного оборудования выступает очистка, основной задачей которой является удаление загрязнений с внутренней поверхности, включая остатки молока и патогенную микрофлору. При этом в случае некачественного выполнения данной операции жир и молочная пленка со временем при взаимодействии с солями воды и минеральными элементами из молока преобразуются в трудноудаляемую форму загрязнения – «молочный камень», который практически невозможно удалить обычными моющими средствами [28; 35; 58].

Особую опасность, связанную с образованием «молочного камня», представляют его отложения в микротрещинах сосковой резины. Наличие жёстких очагов на поверхности, приводящих к травмированию нежной кожи вымени животных во время доения, провоцирует заболевание животных маститом, что приводит к повышению показателя количества соматических клеток в молоке (рисунок 1.3) [58; 66].



Рисунок 1.3 – Молочный камень на рабочей поверхности доильного оборудования

*Источник: создан автором

Помимо этого, молочный камень образует пленку белого цвета в молочном оборудовании, которая задерживает белки и жиры из молока [58], образовывая трудноудаляемые очаги бактериального загрязнения.

Негативное влияние бактериального обсеменения молока отмечается в научных работах зарубежных и отечественных ученых [99; 110].

По результатам исследований, проведенных Н. Г. Беленьким [101], на уровень бактериального загрязнения молока оказывают влияние следующие источники (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Основные источники бактериального загрязнения молока [102]

№ п/п	Источники бактериального осеменения	Количество бактерий в 1 мл
1	Не производится сдаивание первых струек молока	100 – 1000
2	Воздушная среда в коровнике	100 – 1500
3	Загрязнения вымени	500 – 15000
4	Недостаточная мойка и дезинфекция доильного и молочного оборудования	500000
5	Недостаточное охлаждение молока	5000000

Наибольшее влияние на уровень бактериальной обсеменённости молока оказывает санитарное состояние доильного оборудования и своевременность охлаждения [27; 56; 110].

С целью поддержания соответствующего состояния доильного оборудования предусмотрено проведение ежедневного технического обслуживания ЕТО (перед доением, во время доения и по его окончании), техническое обслуживание ТО1 (через 180...200 часов работы) и ТО2 (через 2000...2500 часов работы) [33; 102].

По данным исследований, проводимых Ю. А. Ушаковым [110], уровень бактериального загрязнения доильной установки УДМ-200 после промывки представлен в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Уровень бактериального загрязнения поверхностей доильной установки УДМ-200 (тысяч штук на см²) [110]:

№ п/п	Уровень бактериального загрязнения	Уровень бактериального загрязнения, тыс. на см ²
1	Ванна	20
2	Коллектор	35
3	Начало первой линии молокопровода	90
4	Конец первой линии молокопровода	120
5	Начало второй линии молокопровода	150
6	Конец второй линии молокопровода	185
7	Дозатор молока	500
8	Молокоприемник	90

Исследования Г. П. Дегтерева [27; 28; 29] по бактериальной загрязненности коровьего молока также показывают, что при контаминации доильно-молочного оборудования на уровне 500 тыс. КОЕ/см² начальная численность первичной микрофлоры в полученном молоке составила более 150 тыс. КОЕ/см². Однако по окончании бактерицидной фазы, длящейся три часа, в таком молоке начинается интенсивное размножение микроорганизмов, обуславливающее повышение показателя бактериальной обсемененности молока и ухудшение его технологических качеств [28; 29].

Согласно санитарным нормам, степень чистоты доильного оборудования определяется визуальным и бактериологическим способом. Визуальный способ

контроля предусматривает осмотр состояния основных узлов: доильных стаканов, коллектора, молочного шланга, смотровых устройств, труб молокопровода, фильтра, охладителя и молочного насоса. Однако данный способ позволяет выявить только видимые глазу признаки загрязнения, что является субъективным признаком, так как зависит от способностей контролера [71].

Бактериологический контроль проводится согласно ГОСТ 9225-84 и предусматривает анализ проб путем посева. Из-за большой сложности и трудоемкости (результаты через 48–72 час) и того, что он проводится два-три раза в месяц, данный метод не позволяет оперативно реагировать на уровень загрязнений [56].

С учетом возрастающих требований к санитарно-гигиеническим условиям, технологии производства экологически безопасных продуктов и требований нормативных документов к качеству молока необходимо уделять особое внимание качеству очистки молочных линий, которые являются основным источником микробиологического загрязнения молока.

1.3 Характеристика технологических линий санитарной обработки доильных установок

Основным элементом, обеспечивающим надлежащее состояние доильного оборудования, является ежедневное техническое обслуживание, предусматривающее ополаскивание перед доением и промывку с последующим ополаскиванием после доения [42]. Технологически данная операция зависит от конструктивных особенностей различных типов доильного оборудования и организации производственного процесса. Существуют различные системы и способы очистки доильных установок, которые классифицируют по признакам, представленным на рисунке 1.4 [26; 35; 40; 42; 82; 110].

В зависимости от степени автоматизации системы промывки доильного оборудования, а также от оснащённости техническими средствами санитарную обработку проводят вручную, полуавтоматически или автоматически.

Промывку вручную проводят при периодическом уходе за доильными аппаратами, а также при повседневной очистке посуды и различного инвентаря в случае, когда проводить механизированную очистку невозможно либо экономически нецелесообразно.

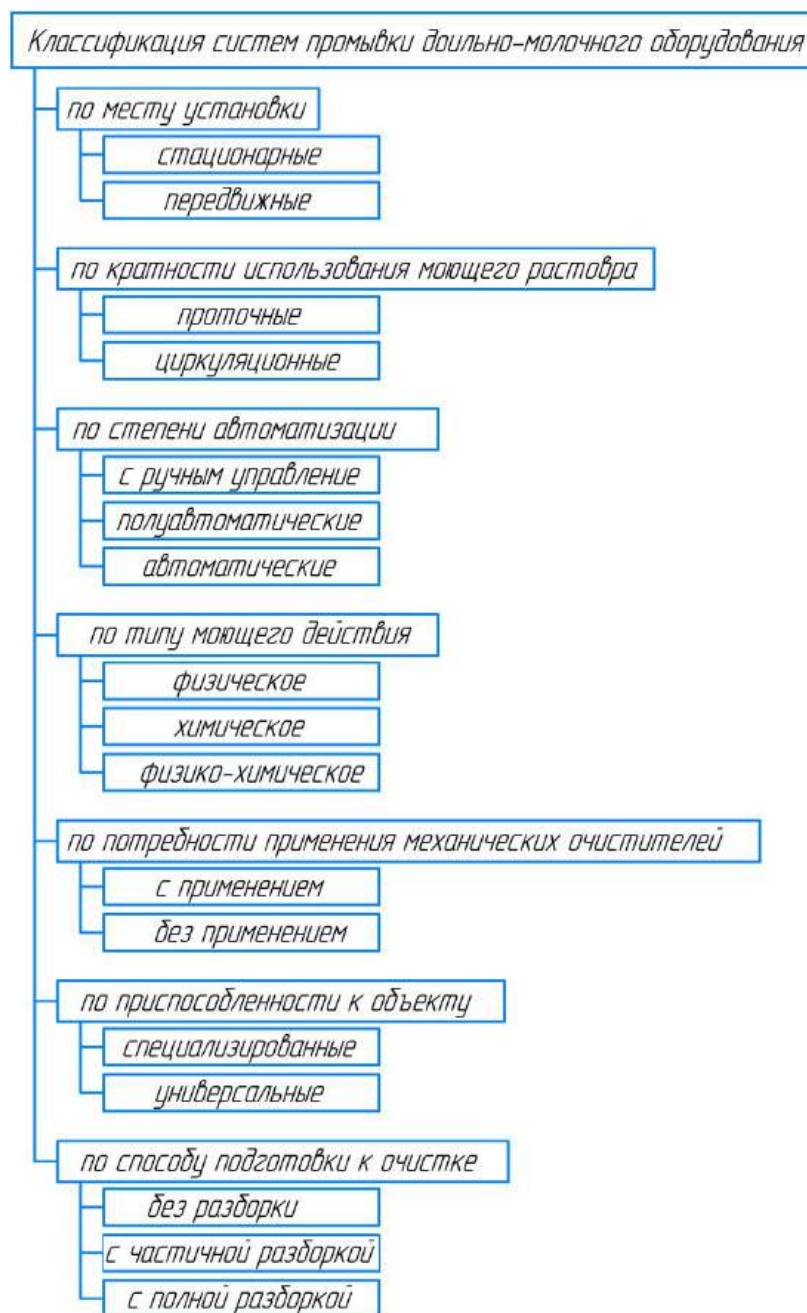


Рисунок 1.4 – Классификация систем промывки доильных установок*

*Источник: составлено автором по данным [26; 35; 40; 42; 82; 110]

Полуавтоматический способ промывки заключается в прокачивании моющих и дезинфицирующих средств под действием вакуума; применяется исключительно для обработки переносных доильных аппаратов. При данном способе промывки режимы циркуляции моющего раствора и его время регламентируются непосредственно ручным способом.

На доильных установках, оборудованных молокопроводом, применяется преимущественно автоматический способ промывки [1; 33; 35; 56; 102]. Также данный способ применяется для промывки доильных аппаратов и предусматривает циркуляционную промывку в течение программируемого времени под управлением специального устройства – автомата промывки [33; 56]. В настоящее время большинство доильных установок оснащается автоматами промывки.

Очистку доильного оборудования возможно осуществлять с полной и частичной его разборкой, а также без нее. Однако полная или частичная разборка требует больших трудозатрат и проводится только в случае проведения ремонта или планового технического обслуживания. Основные трудности при разработке доильного оборудования связаны с обеспечением его герметичности, в связи с чем стараются минимизировать данные виды операций.

1.4 Направления совершенствования процесса санитарной обработки доильных установок

Основателем технологии очистки моющим раствором и теории моющего действия является Петр Алексеевич Ребиндер [26]. Дальнейшее развитие эта теория получила в научных работах Г.П. Дерягина, В.И. Савченко, А.П. Садовского и других [26; 32]. Исследованиями данного вопроса в молочной промышленности занимались также Р.Г. Алагезян, Г.П. Дегтерев, В.В. Молочников, Л.И. Тукан и другие. Вопросу санитарной обработки

молокопроводов доильных установок посвящены научные работы В.И. Березуцкого [11; 12], А.Е. Брагиной [14], А.М. Жмырко [33], Ю.П. Золотина [35], В.В. Кирсанова [39; 40; 41], Н.А. Курунина [49], В.Ю. Матвеева [56] и других.

Среди иностранных ученых, занимающихся исследованиями аналогичных вопросов, можно отметить В. Moore [63], W. Jennings [123], R. Richards [127], R. Tinkharn, J. Detry [121], H. Schliisler [129] и других [125; 126].

Санитарная обработка доильного оборудования является высоко энергозатратным технологическим процессом по электроэнергии, а также по затратам рабочего времени, моющих средств и воды. С целью уменьшения этих затрат отечественные и зарубежные ученые предлагают несколько направлений совершенствования:

1. *Повторное использование моющего раствора.* Компанией Westfalia Landtechnik (Германия) разработан и внедрен в серийное производство автомат промывки Envistar, проводящий регенерацию и многократное использованием моющих средств [71; 90]. Отличие заключается в том, что раствор моющих средств после промывки собирается и хранится в специальном резервуаре, имеющем теплоизоляционное покрытие. Перед последующим процессом промывки его нагревают до необходимой температуры и добавляют немного моющих средств («активизируют»). Следовательно, этот моющий раствор используется в течение нескольких процессов основной промывки доильного оборудования. Во втором резервуаре собирают воду после окончательной промывки и затем используют ее для предварительной промывки после следующего доения. Эта же фирма с целью снижения потерь тепла выпускает специальный теплоизоляционный «чулок» из синтетических материалов, который надевается на молокопровод [71; 120].

Однако данная методика используется преимущественно для циркуляционной мойки доильного оборудования растворами каустической соды [3; 13]. К тому же при повторном использовании моюще-дезинфицирующих растворов возникает необходимость в оборудовании для их

рекуперации и контроля в данных растворах активных действующих веществ, от содержания которых напрямую зависит их моюще-дезинфицирующее действие [3; 13].

2. Повышение температуры моющего раствора приводит к усилению действия моющих средств и тепловой дезинфекции.

Однако мнения об оптимальной температуре моющего раствора разнятся. Так, Г.П. Дегтерев [26], В.Б. Андреев [5] и С.В. Харьков [114] отмечают, что эффект от повышения температуры моющего раствора выше 60 °С не приводит к заметному усилению моющей способности. В соответствии с рекомендациями, разработанными ВНИПТИМЭСХ [10], температура промывки должна равняться 60-70 °С.

В соответствии с исследованиями В.И. Березуцкого [12], промывка доильного оборудования должна осуществляться при температуре моющего раствора не ниже 70–80 °С. Вместе с тем по утверждениям Ю.И. Беляевского, эффективная промывка доильного оборудования возможна лишь при температуре не ниже 85 °С [10].

Большинство иностранных компаний, осуществляющих поставку доильного оборудования в нашу страну, рекомендует проводить промывку оборудования растворами с температурой не ниже 77 °С [1].

Существуют системы, в которых вода, нагретая до температуры 98°С, прогоняется через доильную установку в режиме промывки в течение 6 минут прогоняется через доильную установку. Поскольку моющий эффект обеспечивается за счет обеззараживающего действия горячей воды, то необходимо, чтобы температура всех частей доильной установки, контактирующих с молоком, в течение 2 мин была не ниже 77 °С. Для предупреждения образования известковых отложений в воду добавляют присадки (амидосульфатные кислоты), прежде всего в районах с жесткой водой [3]. Такая система функционально надежна и экологически безопасна, однако из-за потерь тепла может использоваться для промывки доильных установок с короткими молокопроводами (например, установок для доения коров в

доильных залах). Кроме того, системы с использованием кипящей воды не рекомендуется применять для промывки доильных установок, оснащенных автоматическими счетчиками молока, так как они содержат много пластиковых деталей, которые деформируются или разрушаются под воздействием высокой температуры [1; 71].

Однако нужно понимать, что усиление моюще-дезинфицирующего действия раствора возможно только при увеличении температуры пограничного слоя и внутренней поверхности стенок, а не температуры входящего раствора. Это связано с тем, что в замкнутой системе, которой является доильная установка, при постоянном естественном охлаждении циркулирующего раствора дополнительного поступления тепла извне не происходит. Этот фактор нужно учитывать при промывке доильных установок линейного типа, длина которых может достигать 200 метров.

3. Изменение режимов движения моющего раствора (скорость и характер течения). Для эффективной очистки скорость течения моющего раствора должна быть достаточна для отрыва и уноса потоком частиц загрязнений. Однако величина необходимой скорости зависит от параметров загрязнения (плотности, формы и размеров частиц), параметров очищаемой поверхности (диаметра, длины и материала трубопровода) и свойств моющего раствора.

При анализе научных исследований однозначного значения оптимальной скорости движения моющего раствора не определено. Ю.И. Беляевский [6; 9; 10] рекомендует скорость промывки 0,41 м/с, Ю.П. Золотин и Р.Г. Алагезян [3; 35] 0,9–1,5 м/с, П.А. Курунин [49] – 1,2 м/с, Веприцкий А.С. и Брагина А.Е. [14; 17] – до 2,5 м/с.

Все авторы сходятся во мнении, что увеличение скорости движения моющего раствора приводит к повышению эффективности очистки. Однако увеличение скорости моющего раствора непропорционально увеличивает энергетические затраты на его перекачивание и ограничено производительностью насоса.

Поэтому научные школы сосредоточили свои усилия на режиме циркуляции жидкости в промываемой системе, который так же, как и скорость, оказывает большое влияние на эффективность промывки. При достижении скоростей турбулентного потока образуются вихревые потоки, которые активно воздействуют на стенки молокопровода. Чем выше число Рейнольдса, характеризующее степень турбулентности потока жидкости, тем больше сила воздействия его на стенки молокопровода, а, следовательно, и лучше качество промывки [33].

По мнению В.М. Сапожникова [89], высокое качество очистки может быть достигнуто при развитом турбулентном режиме течения моющей жидкости с большими скоростями ($Re > 10^4 - 10^5$). А. С. Веприцкий и А. Е. Брагина в исследованиях доказали, что для обеспечения максимальной эффективности очистки молокопроводов необходимо, чтобы турбулентность потока в системе была не менее $Re \geq 2 \cdot 10^4$ [14; 17].

По данным МИС, увеличение $Re > 60000$ и скорости движения более 0,97 м/с нецелесообразно в связи с резким увеличением энергетических затрат [90].

Согласно исследованиям, проводимым С.В. Харьковым [114], повышение интенсивности перемешивания моющего раствора и силы его воздействия на стенки возможно не только за счет увеличения скорости моющего раствора, но и за счет применения в различных устройствах пульсации потока.

Так, А.М. Жмырко [33] предложил пневматическое устройство для подачи воздуха в моющий раствор, выполняющее именно эти функции. Научную работу в данном направлении продолжила Р.А. Мамедова [50], которая в своих исследованиях обосновала, что лучшим режимом промывки является пробковое течение моющей жидкости с определенной первоначальной длиной пробки [33].

4. *Применение механических очистителей.* Процесс удаления загрязнений без применения механических очистителей происходит только в результате движения моющей жидкости. Применение же очистителей

усиливает моющее действие за счет механического воздействия частей очистителя на загрязнение путем улучшения смачиваемости пристеночного слоя молочного жира и уменьшения межфазного натяжения на границе фаз моющий раствор – молочный жир [26].

Традиционно в качестве интенсификатора очистки молокопроводов доильных установок используются поролоновые пыжи, эффективность чистящего действия которых не раз подчеркивалась исследователями и работниками машиноиспытательных станций при государственных испытаниях доильных установок [33; 90].

Устройство «дуплексная система механической очистки трубопроводов» было разработано немецкой фирмой Kieselmann Anlagenbau GmbH и работает по аналогичному принципу. Оно вытесняет продукт из трубопроводов при использовании одной и той же технологической линии для производства небольших партий продуктов или для максимального использования дорогостоящего продукта перед проведением безразборной мойки [56; 124]. Данное устройство, так же, как поролоновый пыж, оказывается эффективным в удалении несложных загрязнений и остатков продукта и моющих растворов. Но они являются не эффективными при удалении твердых загрязнений, таких как молочный камень.

Также существует конструкционно-технологическая схема устройства для очистки внутренней поверхности молокопровода, разработанная О.А. Герасимовой, С.В. Соловьевым и М.С. Соловьевым [104], отличающаяся тем, что содержит передний и задний пояса с отверстиями, корпус с камерой и запорную деталь, выполненную с возможностью перемещения внутри корпуса с помощью пружины сжатия к запорному штоку, включающему сменную очищающую упругую ребристую вставку-уплотнитель, посредством перемещения которой производится очистка внутренней поверхности молокопровода при вакуумировании стороны перемещения участка молокопровода. Данная конструкция, благодаря своим особенностям, имеет возможность реверсирования движения, однако имеет те же недостатки, что и

поролоновый пыж – плохая очистка углублений и стыков и уплотнение белково-жировых загрязнений.

Этим же коллективом авторов предложена конструкция электрифицированного автономного устройства для очистки [39]. Аналогичную конструктивно-технологическую схему предложили и В.В. Кирсанов, В.Ю. Матвеев, Ю.А. Цой, Я.П. Лобачевский, А.Ю. Измайлов, А.С. Дорохов [107; 108]. Оба устройства отличаются наличием электродвигателя и аккумуляторной батареи, что повышает риск попадания их компонентов на поверхность молокопровода.

Более безопасной является конструкция, снабженная устройством вакуумированного действия, оснащенного очищающей ребристой упругой вставкой-уплотнителем, имеющим винтовые канавки [103; 105].

Для повышения эффективности В.В. Кирсановым и В.Ю. Матвеевым [106] разработано устройство с вращающимися рабочими органами, которое приводится во вращательное и поступательное движение за счет давления воздушно-жидкостного потока на лопасти винта. Данные устройства интенсивнее воздействуют на загрязнение за счет усиления механического воздействия. Механические очистители с активными рабочими органами позволяют еще больше ускорить процесс промывки доильного оборудования и снизить себестоимость на 12 % [116].

5. Применение новых моющих щелочных и кислотных композиций и средств. Повышение эффективности действия моющих средств, как правило, связано с повышением их химической активности и температуры моющего раствора [3; 31]. Однако это приводит к повреждению резиновых и пластмассовых деталей доильного оборудования (например, счетчика молока) [56]. К тому же высокая агрессивность моющего раствора приводит к повышению требований к последующим операциям технологического процесса промывки, так как для обеспечения безопасности произведенного молока не допускается наличие в нем остатков моющих веществ.

Результаты проведенного поискового исследования направлений совершенствования системы санитарной обработки доильного оборудования, в сравнении с традиционной технологией представлены в таблице 1.5.

Проведенный анализ направлений совершенствования систем промывки доильного оборудования позволяет сделать вывод, что наиболее перспективным являются системы с использованием механических очистителей, так как они практически не требуют дополнительных вложений. Кроме того, возможность оперативного контроля чистоты молочных линий в процессе промывки позволит производить безопасную и высококачественную продукцию, имеющую большую стоимость.

Таблица 1.5 – Результаты проведенного поискового исследования

Показатель	Направление совершенствования системы санитарной обработки доильного оборудования				
	Повторное использование моющего раствора	Повышение температуры моющего раствора	Изменение режимов движения моющего раствора	Применение механических очистителей	Применение новых моющих средств
Себестоимость внедрения	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая
Время промывки	Не изменяется	Снижается	Снижается	Снижается	Снижается
Затраты электроэнергии	Снижаются	Повышаются	Повышаются	Снижаются	Снижаются
Расход моющих средств	Снижается	Не изменяется	Снижается	Снижается	Не изменяется
Эффективность очистки легкоудаляемых загрязнений	Не изменяется	Повышается	Повышается	Повышается	Не изменяется
Эффективность очистки трудноудаляемых загрязнений	Не изменяется	Не изменяется	Не изменяется	Повышается	Повышается
Влияние на качество продукции	Не влияет	Не влияет	Не влияет	Не влияет	Возможно негативное влияние

1.5 Выводы

1. Согласно данным Министерства сельского хозяйства в 2025 году в России хозяйствами всех категорий произведено 35,7 млн т сырого молока, что

на 4,76 % больше, чем фактическое производство в 2024 году. Несмотря на ежегодно растущие объемы производства молока существует дефицит сырого молока в размере 25 % от рекомендуемого объёма потребления.

2. Основным элементом системы санитарной обработки доильной установки, определяющим её чистоту, является техническое обслуживание, проводимое после каждой дойки. В большинстве доильных установок данная операция осуществляется путем циркуляционной мойки моюще-дезинфицирующим раствором.

3. Наибольшее распространение при осуществлении санитарной обработки получили стационарные циркуляционные автоматические и полуавтоматические системы, основанные на физико-механическом чистящем действии моюще-дезинфицирующего раствора.

4. В процессе анализа возможных направлений совершенствования системы санитарной обработки и основных показателей, определяющих эффективность очистки молокопроводов, было выявлено, что наиболее перспективным способом повышения эффективности санитарной обработки является применение специального механического очистителя с активными рабочими органами.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОМЫВКИ ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

2.1 Теоретическое обоснование технологии санитарной обработки с применением механических очистителей

Для того, чтобы теоретически обосновать технологию очистки молока, следует разработать функционально-морфологическую модель и структурно-логическую схему системы санитарной обработки доильной установки.

2.1.1 Функционально-морфологическая модель системы санитарной обработки доильной установки

В результате анализа работы системы санитарной обработки доильной установки было выявлено недостаточное качество очистки, низкая производительность и отсутствие возможности контроля качества выполнения промывки [57]. С целью определения наиболее простой и рациональной конструкции и технологии, обеспечивающей повышение эффективности и качества процесса промывки и снижение затрат материалов, труда и энергии, был проведен функционально-морфологический анализ технологии санитарной обработки доильного оборудования [57].

Функционально-морфологическая модель системы санитарной обработки доильной установки даст возможность оценить функции элементов системы и связи между элементами конструкции, выполняющими эти функции. Данный анализ позволит выявить наиболее существенные элементы системы, обеспечивающие повышение качества работы и снижение энергопотребления. На первом этапе была разработана функциональная модель системы санитарной обработки с автоматом промывки, представленная на рисунке 2.1. В

таблице 2.1 представлены уровни модели с присвоением соответствующих индексов функций и приведено их содержание [57].

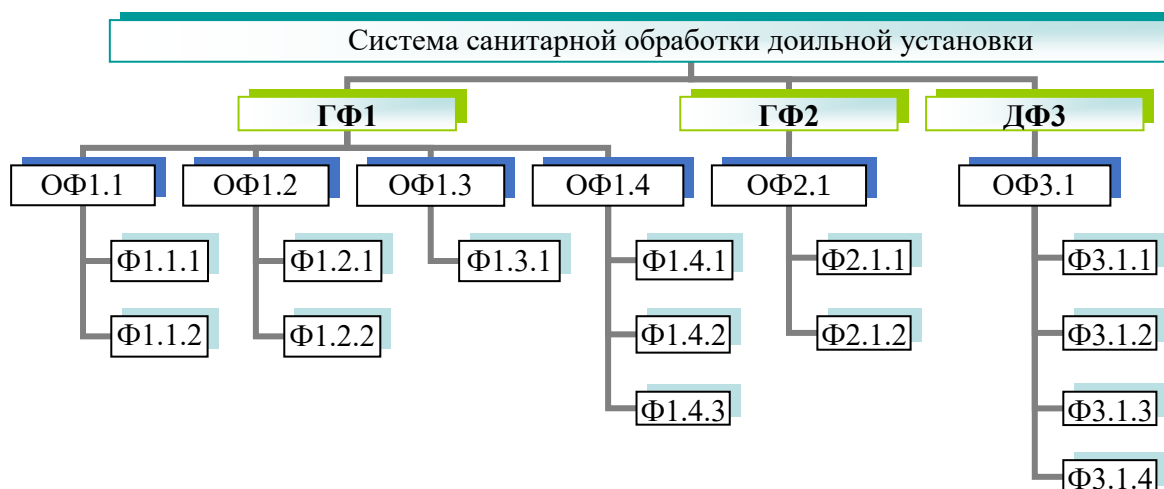


Рисунок 2.1 – Функциональная система санитарной обработки доильной установки с автоматом промывки *

*Источник: составлено автором по данным модели [57]

Таблица 2.1 – Состав функций системы санитарной обработки доильной установки с автоматом промывки [57]

Уровень модели	Индекс функции	Содержание функции
I	ГФ1	Удаление с внутренней поверхности белково-жировых отложений и частиц грязи
	ГФ2	Удаление остатков моюще-дезинфицирующего раствора после промывки
	ДФ3	Снижение энерго- и трудозатрат в процессе санитарной обработки доильного оборудования
II	ОФ1.1	Удаление остатков молока из молокопровода
	ОФ1.2	Подготовка моюще-дезинфицирующего раствора
	ОФ1.3	Заполнение молокопровода моюще-дезинфицирующим раствором
	ОФ1.4	Циркуляция моюще-дезинфицирующего раствора
	ОФ2.1	Слив раствора с последующим ополаскиванием молокопровода
	ОФ3.1	Сокращение времени циркуляции с сохранением необходимого уровня чистоты
III	Ф1.1.1	Ополаскивание стенок молокопровода за счет циркуляции холодной воды
	Ф1.1.2	Вытеснение остатков молока и воды поролоновым пыжом
	Ф1.2.1	Строгое соблюдение концентрации моюще-дезинфицирующих средств
	Ф1.2.2	Строгое соблюдение температуры моюще-дезинфицирующих средств
	Ф1.3.1	Соблюдение уровня заполнения молокопровода
	Ф1.4.1	Соблюдение параметров движения моющего раствора
	Ф1.4.2	Обеспечение необходимого времени циркуляции
	Ф1.4.3	Обеспечение требуемого уровня бактериальной обсемененности
	Ф2.1.1	Полное удаление моюще-дезинфицирующих средств из молокопровода
	Ф2.1.2	Удаление воды и влаги из молокопровода
	Ф3.1.1	Снижение трудоемкости операций промывки
	Ф3.1.2	Сокращение количества моюще-дезинфицирующих средств
	Ф3.1.3	Сокращение затрат воды
	Ф3.1.4	Сокращение затрат электроэнергии

Все функции, выполняемые системой санитарной обработки доильной установки, отличаются по уровням значимости. Наибольшее значение оказывают две функции первого уровня (ГФ) – удаление с внутренней поверхности всех видов загрязнений и остатков моюще-дезинфицирующего раствора после промывки. Также на первом уровне располагается одна дополнительная функция (ДФ) – снижение энерго- и трудозатрат в процессе санитарной обработки доильного оборудования, которая не является основной, так как она возникает вследствие стабильного развития рыночных отношений и придает системе дополнительные конкурентные преимущества [57].

На втором уровне функциональной модели располагаются основные функции (ОФ), которые описывают ряд требований, предъявляемых к рабочему процессу. Наиболее значимой на втором уровне является ОФ 1.4 – Циркуляция моющего раствора, которая обеспечивает выполнение главной функции системы санитарной обработки доильной установки [57].

На третьем уровне модели располагаются функции (Ф), которые являются покомпонентно разложенными основными функциями (ОФ) [57].

Функциональная модель санитарной обработки доильной установки позволяет четко обозначить ее функцию, выявить иерархию и противоречия между ними.

В результате анализа таблицы 2.1 выявлено, что наиболее значимой является функция Ф 1.4.3 – Обеспечение требуемого уровня бактериальной обсемененности, характер которой определяет качество выполнения основных функций ОФ1.1, ОФ1.2, ОФ1.3, ОФ1.4 и ОФ2.1 [57].

Из вышеизложенного следует вывод, что исследования в направлении оптимизации системы санитарной обработки являются перспективными с точки зрения повышения эксплуатационных показателей, влияющих на качество и эффективность работы [57].

С помощью построенной функциональной модели системы санитарной обработки (рисунок 2.1) и описания её состава (таблица 2.1) удалось показать

перспективность работы в направлении выбора рациональной схемы интенсификации работы системы санитарной обработки [57].

С целью выбора оптимального направления для улучшения качества очистки были установлены основные параметры существующих устройств и составлена таблица 2.2. В ней представлены параметры устройств с присвоением каждому элементу соответствующего условного обозначения. В качестве параметров были выбраны: способ управления устройством, вид интенсификатора очистки, место установки устройства и частота применения за промывку [57].

Таблица 2.2 – Альтернативные параметры устройств для интенсификации [57]

Индекс	Способ управления	Индекс	Вид интенсификатора	Индекс	Место установки	Индекс	Частота применений за промывку
a1	оператором	б1	воздух	в1	Начало молокопровода	г1	однократное
a2	по перепаду давления	б2	жидкость	в2	В разрыв молокопровода	г2	многократное
a3	по таймеру	б3	механический	в3	Конец молокопровода	г3	-
a4	по команде автомата промывки	б4	завихритель потока	в4	-	г4	-

При помощи условных обозначений, была составлена морфологическая матрица решений (таблица 2.3) в форме пространства альтернатив, представляющая собой варианты сочетаний параметров устройств. Для оценки эффективности конструкторского решения была проведена оценка каждого сочетания. В выделенных рамкой ячейках представлены варианты перспективных схем устройств. В перечеркнутых ячейках находятся сочетания параметров, применение которых нецелесообразно с точки зрения эффективности эксплуатации [57].

Таблица 2.3 – Морфологическая матрица решений [57]

		в1		в2		в3	
		г1	г2	г1	г2	г1	г2
а1	б1	а1б1в1г1	а1б1в1г2	а1б1в2г1	а1б1в2г2	а1б1в3г1	а1б1в3г2
	б2	а1б2в1г1	а1б2в1г2	а1б2в2г1	а1б2в2г2	а1б2в3г1	а1б2в3г2
	б3	а1б3в1г1	а1б3в1г2	а1б3в2г1	а1б3в2г2	а1б3в3г1	а1б3в3г2
	б4	а1б4в1г1	а1б4в1г2	а1б4в2г1	а1б4в2г2	а1б4в3г1	а1б4в3г2
а2	б1	а2б1в1г1	а2б1в1г2	а2б1в2г1	а2б1в2г2	а2б1в3г1	а2б1в3г2
	б2	а2б2в1г1	а2б2в1г2	а2б2в2г1	а2б2в2г2	а2б2в3г1	а2б2в3г2
	б3	а2б3в1г1	а2б3в1г2	а2б3в2г1	а2б3в2г2	а2б3в3г1	а2б3в3г2
	б4	а2б4в1г1	а2б4в1г2	а2б4в2г1	а2б4в2г2	а2б4в3г1	а2б4в3г2
а3	б1	а3б1в1г1	а3б1в1г2	а3б1в2г1	а3б1в2г2	а3б1в3г1	а3б1в3г2
	б2	а3б2в1г1	а3б2в1г2	а3б2в2г1	а3б2в2г2	а3б2в3г1	а3б2в3г2
	б3	а3б3в1г1	а3б3в1г2	а3б3в2г1	а3б3в2г2	а3б3в3г1	а3б3в3г2
	б4	а3б4в1г1	а3б4в1г2	а3б4в2г1	а3б4в2г2	а3б4в3г1	а3б4в3г2
а4	б1	а4б1в1г1	а4б1в1г2	а4б1в2г1	а4б1в2г2	а4б1в3г1	а4б1в3г2
	б2	а4б2в1г1	а4б2в1г2	а4б2в2г1	а4б2в2г2	а4б2в3г1	а4б2в3г2
	б3	а4б3в1г1	а4б3в1г2	а4б3в2г1	а4б3в2г2	а4б3в3г1	а4б3в3г2
	б4	а4б4в1г1	а4б4в1г2	а4б4в2г1	а4б4в2г2	а4б4в3г1	а4б4в3г2

Проанализировав опыт внедрения устройств, используемых для повышения интенсивности очистки, можно сделать следующие промежуточные выводы:

1. По способу управления наилучшие показатели демонстрирует вариант исполнения с управлением автоматом промывки. Однако реализация данного технологического решения требует вмешательства в закрытый программный код автомата промывки, что на практике фактически нереализуемо. К тому же данный способ требует организации связи с автоматом промывки, что в производственных условиях также труднореализуемо. Управление посредством оператора нецелесообразно в связи с большими затратами и большой вероятностью ошибки. Управление по таймеру требует постоянной корректировки при изменении параметров промывки. Оптимальным решением является способ управления по перепаду давления в молокопроводе. При этом способе синхронизация с автоматом промывки осуществляется в результате слежения за циклом по таймеру [57].

2. По виду интенсификатора – наибольшую эффективность показывает сочетание нескольких видов. Наиболее распространённым сочетанием является

пробковый режим движения моющего раствора, который представляет собой сочетание воздуха и жидкости. Данный способ применяется практически на всех доильных установках, но наибольшую эффективность показывает только на доильных установках типа «Тандем», «Елочка» и «Карусель» длиной молокопровода до 100 м. Для молокопроводов большей длины необходимо добавлять третий вид интенсификатора. В связи с тем, что эффективность завихрителей потока на таких молокопроводах оказалась низкой, оптимальным сочетанием является воздушно-жидкостный поток с применением механических очистителей [57].

3. *Выбор места установки устройств* для интенсификации промывки молокопровода доильной установки основан на обеспечении максимальной площади воздействия. Следовательно, оптимальным решением является начало молокопровода [57].

4. В связи тем, что операция промывки длится в среднем 50 минут, однократного применения любого вида интенсификатора недостаточно. Поэтому для повышения эффективности необходимо многократное их использование [57].

В результате анализа морфологической матрицы решений был определен наиболее целесообразный вариант а3б3в1г2 – многократное применение механических очистителей в сочетании с воздушно-жидкостным потоком при их подаче по таймеру в начало молокопровода [57].

Данная схема в современных условиях является наиболее рациональной с точки зрения эффективности конструкторских решений.

На третьем этапе исследований для выявления связей между элементами в выбранной схеме конструкции была составлена морфологическая модель системы (рисунок 2.2) [57].

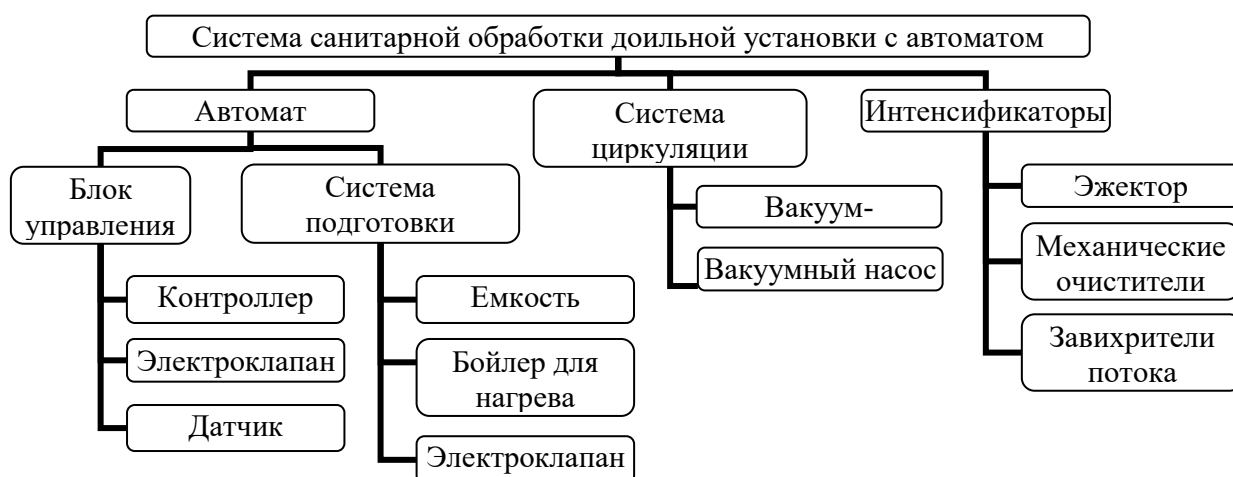


Рисунок 2.2 – Морфологическая модель системы санитарной обработки с автоматом промывки*

*Источник: составлено автором по данным модели [57]

Представленная модель позволяет выделить основные компоненты системы (блоки) и показать их внутренний состав (элементы блоков) [57].

С целью выявления взаимосвязи между блоками и элементами системы при выполнении требуемых функций была получена функционально-морфологическая модель (рисунок 2.3), которая объединяет в себе конструктивные элементы системы и функции, которые они выполняют [57].

Полученная функциональная модель не является полной и предназначена для определения связей между элементами [57].

Для определения значимых (основных) и второстепенных функций была составлена совмещенная модель (рисунок 2.3). Такие элементы являются концентраторами напряжений; их следует тщательно просчитывать для исключения негативных последствий. В построенной модели системы санитарной обработки подобными элементами являются устройства интенсификации. Из функционально-морфологической модели видно, что основные структурные элементы выполняют все основные функции [57].

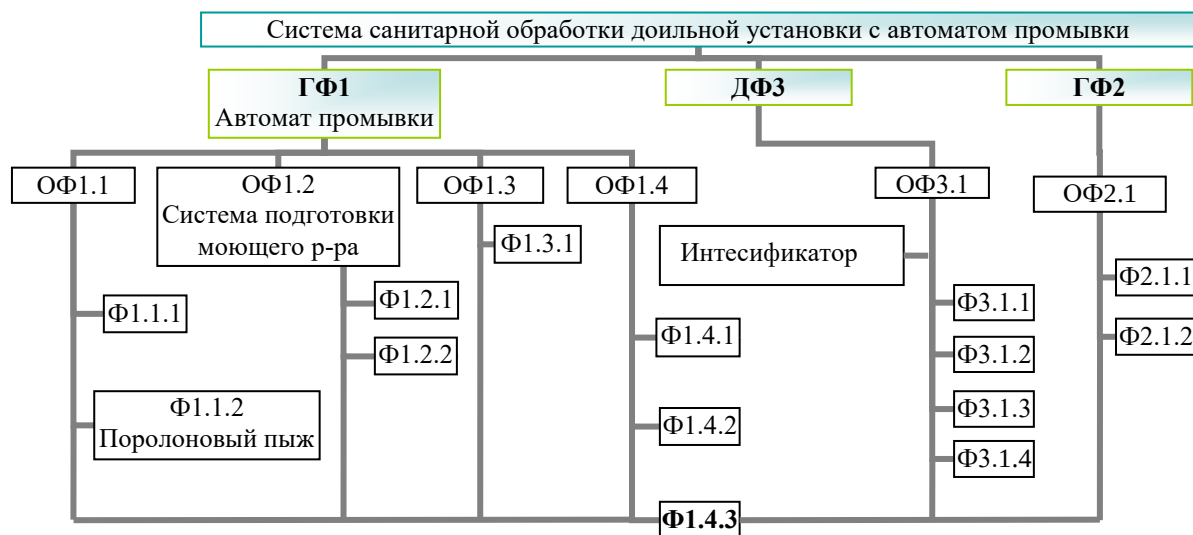


Рисунок 2.3 – Функционально-морфологическая модель системы санитарной обработки доильной установки с автоматом промывки*

*Источник: составлено автором по данным модели [57]

В результате проведенного функционально-морфологического анализа определен рациональный вариант устройств для повышения производительности и качества санитарной обработки доильной установки – а3б3в1г2 – многократное применение механических очистителей в сочетании с воздушно-жидкостным потоком при их подаче по таймеру в начало молокопровода [57].

Проведенный анализ существующих функций системы санитарной обработки доильной установки позволяет выявить потенциально возможные места усовершенствования технологии промывки, которыми являются Ф1.1.2 и Ф1.4.1 – удаление остатков молока и циркуляция моющего раствора [57].

Полученная матрица решений позволяет избежать ошибок на стадии разработки и проектирования конструкции устройств для интенсификации. Однако полученные результаты подразумевают разработку устройства с возможностью подачи нескольких механических очистителей в молокопровод с управлением по перепаду давления [57].

2.1.2 Структурно-логическая схема функционирования системы санитарной обработки доильных установок с молокопроводом и автоматом промывки

В зависимости от вида доильного оборудования, а также от оснащенности техническими средствами санитарную обработку проводят вручную, полуавтоматически или автоматически. При ручном способе санитарной обработки промывка осуществляется непосредственно оператором (переключение линий, регулировка режимов, подготовка раствора и т. д.). При полуавтоматическом способе санитарной обработки вышеперечисленные операции осуществляются посредством механизмов, но управляются также оператором. Автомат же промывки позволяет свести действия оператора к минимуму (включение, контроль за процессом и выключение) [95].

Однако использование таких доильных установок сопровождается большой нагрузкой на дояров из-за низкой механизации процесса. На большинстве товарных ферм применяются доильные установки с молокопроводом, дающее возможность транспортировать выдоенное молоко посредством вакуумной трубопроводной линии, применение которых позволяет снизить физическую нагрузку на оператора и защитить молоко от контакта с воздухом [95].

Санитарную обработку вручную и полуавтоматически проводят на доильных установках типа АД-100Б, ДАС-2Б, УДС-В, которые предназначены для доения коров в переносные ведра, и типа АДМ-8А, которая предназначена для доения коров в молокопровод. Доильных установок с ручной санитарной обработкой, используемых для доения коров, в нашей стране осталось менее 5 % [56; 95].

Все современные установки, как правило, снабжены автоматами промывки, которые обладают определенными преимуществами: относительно

легки в управлении, снижают количество ручного труда и влияние человеческого фактора на конечный результат промывки и другие [95].

Однако, несмотря на все усилия, санитарная обработка доильной установки является самой энергозатратной операцией доения. К тому же от правильности её проведения зависит не только качество произведенного молока, но и его безопасность. Поэтому актуальной задачей научных исследований на первом этапе является разработка конструкционно-технологических схем, позволяющих снизить энергопотребление и повысить качество санитарной обработки доильных установок [95].

При составлении структурных схем технологических линий системы санитарной обработки доильной установки использовался анализ существующих технологий [114]. Структурно-логическая схема функционирования данной системы составлена с их учетом, а также использованы результаты исследований по данной тематике, позволяющие определить основные параметры, влияющие на рабочий процесс, и критерии их работы [95].

Для определения оптимальных параметров рабочей схемы системы санитарной обработки доильной установки (ССОДУ) необходим системный подход с проведением тщательного анализа существующих конструкций, параметров, определяющих её эффективное функционирование. Анализ следует начать с составления общих структурных схем функционирования ССОДУ (рисунок 2.4). Структурные схемы представляют собой цепочку последовательно выполняемых циклов (на схемах представлены их условные обозначения), состоящих из определенных операций (заполнение молокопровода, циркуляция и т. д.). Чистота доильного оборудования регламентируется санитарными правилами по уходу за доильными установками и молочной посудой, контролю их санитарного состояния и санитарного качества молока [95]. Согласно правилам, санитарную обработку доильного оборудования необходимо проводить сразу после окончания его

использования. Режимы промывки молочных линий предусматривают три основных операции [95]:

1) ополаскивание линии проточным пропуском теплой воды до визуального полного удаления остатков молока [95];

2) циркуляция горячей жидкости для полного удаления липидопротеиновых отложений со стенок молокопровода [95];

3) ополаскивание линии проточным пропуском водопроводной воды до полного удаления остатков моющего-дезинфицирующего средства [95].

При проведении операции 1 возможно использование поролонового пыжа, как интенсификатора удаления основного количества белково-жировых отложений [95].

Операцию 2 проводят со скоростью не менее 20 л/мин с концентрацией 0,25 %-го раствора моющего-дезинфицирующего средства в течение 20 минут. В качестве моющего-дезинфицирующего средства используют щелочные растворы. Щелочные средства применяют при каждой промывке, а кислотные – по мере появления «молочного камня» в виде видимых следов минерализованных остатков на поверхности молочного оборудования. Причем при комбинированной промывке сначала проводят циркуляцию 1%-м раствором (соляной, серной, фосфорной, азотной или уксусной) кислоты в течение 15 минут, затем оборудование ополаскивают горячей водой и промывают щелочным средством при параметрах, описанных выше [95].

Полнота удаления моющего-дезинфицирующих средств при операции 3 контролируется по полоске универсальной индикаторной бумаги, которая при отсутствии следов дезинфектанта должна оставаться белого цвета.

В зависимости от вида загрязнений и условий функционирования доильной установки можно выделить несколько структурных схем (рисунок 2.4) [56; 95; 107].

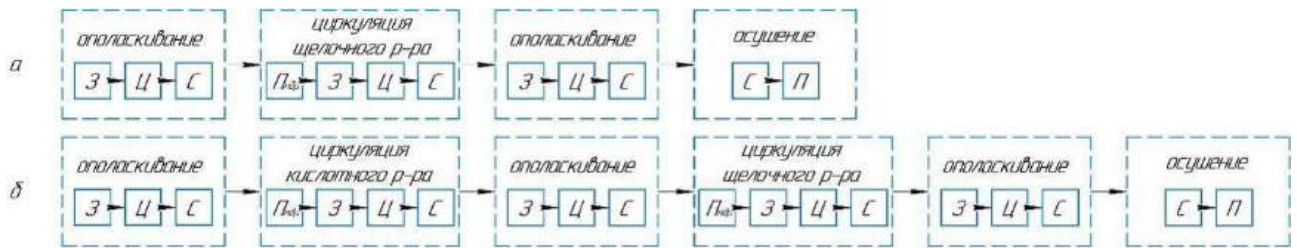


Рисунок 2.4 – Структурные схемы системы санитарной обработки доильной установки *: а) с использованием щелочных моюще-дезинфицирующих средств; б) с использованием кислотных моюще-дезинфицирующих средств; З-заполнение доильной установки водой или моюще-дезинфицирующим раствором; Ц – циркуляция воды или моюще-дезинфицирующего раствора; С – слив загрязнённой воды или моюще-дезинфицирующего раствора; П_{мдк} – подготовка моюще-дезинфицирующего раствора; П – продувка системы воздухом.

*Источник: составлено автором по данным [56; 95; 107]

Рабочий процесс ССОДУ можно разделить на три последовательных стадии – ополаскивание с целью удаления остатков молока, циркуляция моюще-дезинфицирующего раствора и ополаскивание для удаления остатков моюще-дезинфицирующих средств. На большинстве товарных ферм используется комбинация щелочных и кислотных моюще-дезинфицирующих средств (рисунок 2.4 а, б). Основная задача циркуляционной мойки щелочными моюще-дезинфицирующими средствами – удаление белково-жировых отложений с внутренней поверхности доильного оборудования. Данная схема применяется после каждого использования доильной установки. Однако щелочные средства позволяют удалить непрочно связанные белково-жировые части. Для удаления твердых кальцинированных загрязнений применяются моюще-дезинфицирующие составы на основе кислот. Данная схема санитарной обработки, в зависимости от параметров доильной установки и качества используемой воды, применяется раз в 3–7 дней [94].

Из анализа структурных схем можно сделать вывод, что при разработке ССОДУ необходимо учитывать тип и конструкционные параметры доильной установки, а также время циркуляции моюще-дезинфицирующего раствора.

Анализ научных работ, посвященных проблеме санитарной обработки доильных установок, показал, что на ее работу влияют технологические и

конструкционные параметры, а также свойства применяемых моюще-дезинфицирующих средств [56; 95]. При этом качество очистки в большей степени зависит от скорости движения раствора, интенсивности его турбулентности и температуры [56; 94].

Анализ способов санитарной обработки показал, что наиболее распространенным является циркуляционная промывка молокопровода управляемая автоматом промывки [1]. В некоторых системах для интенсификации очистки применяются эжекторы, завихрители потока и механические очистители [5; 33; 50; 56; 110].

На базе ГБОУ ВО НГИЭУ разработано несколько вариантов механических очистителей с активным рабочим органом и устройство для их подачи.

На рабочий процесс системы санитарной обработки доильной установки влияют параметры моющего раствора $X_{\text{мр}}$, параметры инжектора $X_{\text{и}}$, параметры подачи механических очистителей $X_{\text{мо}}$ и параметры доильной установки $X_{\text{ду}}$ (рисунок 2.5) [95].

К параметрам доильной установки, характеризующим условия работы ССОДУ, относятся длина, диаметр и материал молокопровода, и её техническое состояние. С целью сокращения материалоемкости и площади взаимодействия с молоком длину и диаметр доильной установки стараются минимизировать. Примером таких тенденций являются доильные установки типа «Карусель», «Елочка», «Тандем», длина молокопровода которых составляет не превышает 70 м. Однако применение доильных установок данного типа ограничено беспривязным способом содержания животных [95].

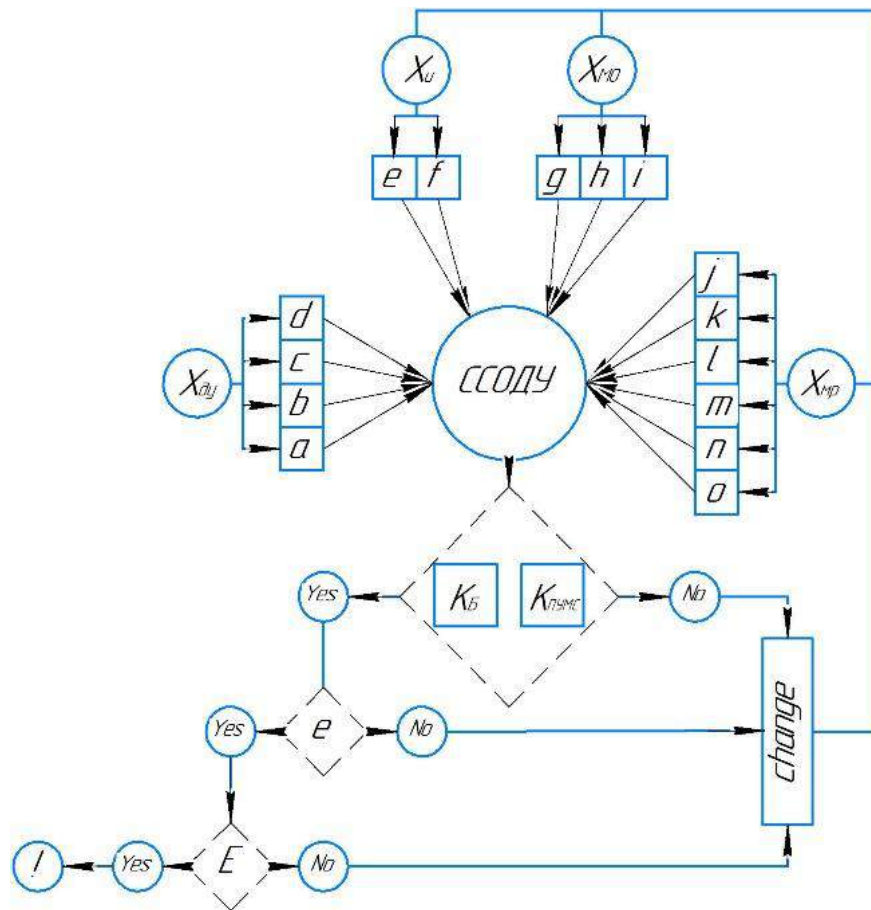


Рисунок 2.5 – Структурно-логическая схема функционирования системы санитарной обработки доильной установки с молокопроводом и автоматом промывки*: ССОДУ – система санитарной обработки доильной установки; X_{mp} – параметры моющего раствора; $X_{и}$ – параметры инжектора; $X_{мо}$ – параметры подачи механических очистителей; $X_{ду}$ – параметры доильной установки; а – длина молокопровода; b – диаметр молокопровода; c – материал молокопровода; d – техническое состояние доильной установки; e – время подачи воздуха; f – частота пульсаций; g – количество подаваемых механических очистителей; h – тип механических очистителей; i – время подачи механического очистителя; j – тип и агрессивность применяемого моюще-дезинфицирующего средства; k – концентрация моюще-дезинфицирующего средства; l – температура моющего раствора; m – скорость движения моющего раствора; n – объем моющего раствора; o – интенсивность турбулизации моющего раствора; K_b – количество бактерий на смывах со стенок доильного оборудования; $K_{пумс}$ – полнота удаления моющих средств; e – энергетические показатели; E – экономические показатели.

*Источник: составлено автором по данным [56; 95; 107]

При привязном содержании применяются доильные установки линейного типа с длиной молокопровода 100 и более метров. Диаметр применяемого молокопровода зависит от числа одновременно выдаиваемых коров. Наибольшее распространение получили молокопроводы диаметром 40, 52 и 63 мм. В качестве материала изготовления молокопровода может выступать нержавеющая сталь и стекло. Однако, из-за большого количества стыков и хрупкости, стеклянные молокопроводы практически перестали применяться. С

увеличением длины и диаметра молокопровода прямо пропорционально увеличивается площадь контакта молока с поверхностью оборудования, а, следовательно, возрастает нагрузка на ССОДУ. К тому же на таких доильных установках увеличиваются тепловые потери в результате чего температура моющего раствора снижается, что приводит к ухудшению качества очистки.

Большую роль на качество санитарной обработки оказывает и её техническое состояние. В результате эксплуатации возможно снижение рабочего давления, увеличение шероховатости и частичное нарушение герметичности молокопровода, что также приводит к увеличению нагрузки на ССОДУ. Однако изменение параметров доильной установки практически невозможно [95].

Следующей группой параметров, оказывающих влияние на ССОДУ, являются параметры моющего раствора, к которым относятся его концентрация, температура, скорость движения, объем и тип применяемого моюще-дезинфицирующего средства. Однако варьирование данных параметров ограничено безопасностью моющего раствора для оборудования и необоснованными энергетическими затратами [95].

Кроме вышеперечисленных групп параметров влияние на ССОДУ оказывают параметры инжектора и подаваемых механических очистителей. Инжектор устанавливается в начале молочной линии и подает в молокопровод порцию воздуха с определенной частотой и определенного объема. Создание воздушной пробки позволяет увеличить интенсивность турбулизации с минимальными энергетическими затратами. Однако данные интенсификаторы низкоэффективны против твердых загрязнений и требуют системы очистки подаваемого воздуха [95].

С целью усиления чистящего действия в молокопровод также подаются механические очистители различных типов. Самым простым механическим очистителем является поролоновый пыж, традиционно применяемый на стадии предварительного ополаскивания с целью удаления остатков молока и легкоудаляемых белково-жировых отложений. Однако из-за линейного

движения пыжа его эффективность недостаточная. Эти недостатки устраняются при придании ему вращательного движения за счет энергии потока или электродвигателя [95].

Оценка рабочего процесса системы санитарной обработки доильной установки проводится по нескольким критериям. Показатели K_B и $K_{ПУСМ}$, характеризующие качество выполнения операции, в большей степени зависят от конструкционных параметров доильной установки и применяемых интенсификаторов. Поэтому при несоответствии качества K_B зоотехническим требованиям в первую очередь необходимо изменять параметры X_{II} и $X_{МО}$.

Второй важный показатель работы ССОДУ – энергетический. Для большей объективности используют удельные энергозатраты, позволяющие сравнить различные конструкционные решения по повышению качества очистки. Необходимо стремиться к снижению затрат, поэтому оценка по качественным, количественным и энергетическим показателям должна проводиться одновременно. Обобщающим является экономический показатель E , который в данном случае в большей степени зависит от параметров моющего раствора и интенсификаторов [95].

В соответствии со структурно-логической схемой функционирования ССОДУ для качественного улучшения показателей разработанной схемы необходимо изменить параметры применяемых интенсификаторов либо параметры движения моющего раствора [94].

Анализ существующих систем позволил использовать готовые наработки для решения поставленных задач, а разработанная структурно-логическая схема функционирования системы санитарной обработки позволила предложить рациональные решения по её улучшению [95].

2.1.3 Усовершенствованный способ санитарной обработки доильной установки

На основании разработанной функционально-морфологической модели и структурно-логической схемы, влияющих на качество санитарной обработки, можно сделать вывод, что традиционная технология не позволяет с необходимой эффективностью осуществлять операцию.

Как уже говорилось ранее (пункт 1.3), в настоящее время большинство доильных установок работает по принципу циркуляции моюще-дезинфицирующего раствора по всей молочной линии. Схема движения моющего раствора в доильных установках, оснащенных автоматом промывки, изображена на рисунке 2.7. Движение моюще-дезинфицирующего раствора обеспечивается посредством работы вакуумного и циркуляционного насосов (на схеме изображено жирной стрелкой).

Однако мощности насосного оборудования для обеспечения эффективной очистки внутренних стенок доильного оборудования недостаточно. С целью усиления гидромеханического воздействия моюще-дезинфицирующего раствора и уменьшения его объема разработано несколько решений [33; 50; 91]:

- подача с определенной периодичностью в поток моюще-дезинфицирующего раствора порции воздуха [33];
- периодическая подача порции воздуха совместно с моющим раствором [1; 91].

Данные решения повысили гидромеханическое воздействие потока моюще-дезинфицирующего раствора. Однако они наиболее эффективны на доильных установках линейного типа с длиной молокопровода до 50 метров. Это обусловлено явлением «схлопывания» воздушно-жидкостной пробки из-за снижения их линейной скорости в результате деформации при столкновении со стенками и трении.

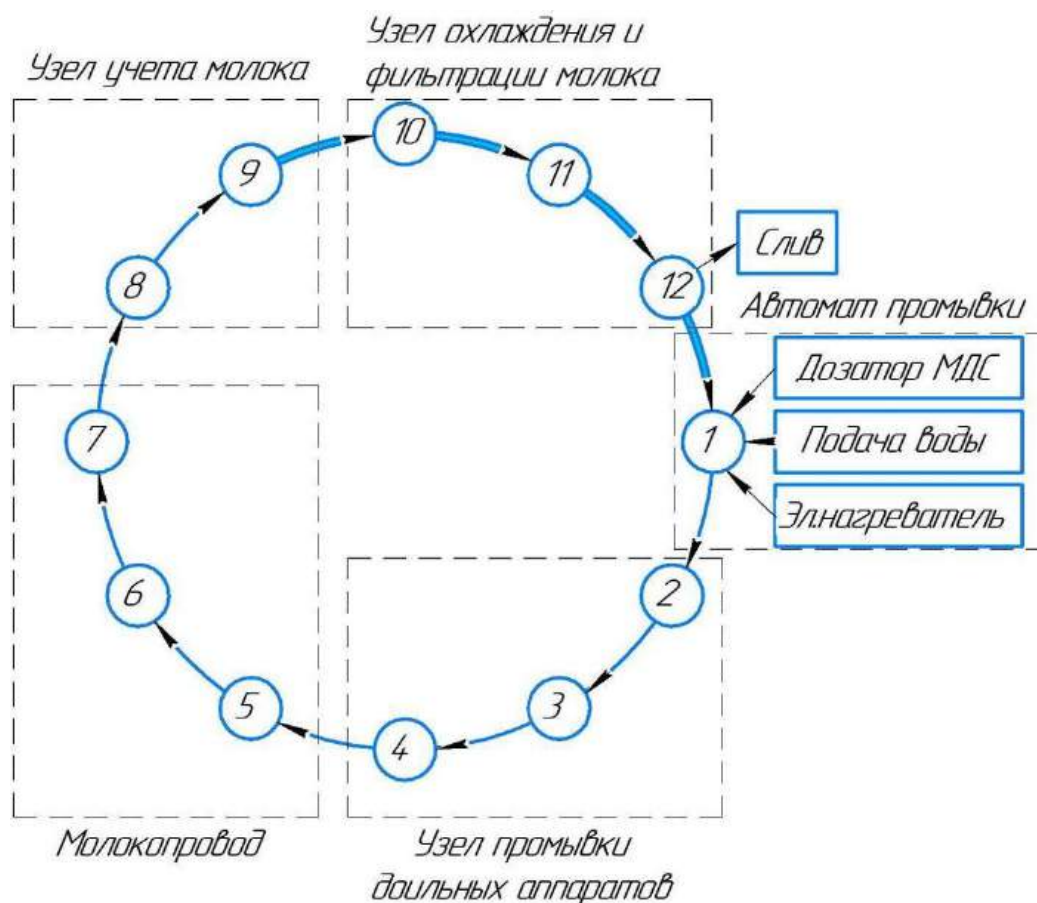


Рисунок 2.6 – Схема движения моющего раствора в доильных установках, оснащенных автоматом промывки*:

1 – бак подготовки моюще-дезинфицирующего раствора; 2 – моечная головка; 3 – доильный аппарат; 4 – молочно-вакуумный кран; 5 – контур молокопровода; 6 – переключатель; 7 – разделитель; 8 – дозатор молока; 9 – молокоприемник; 10 – молочный насос; 11 – фильтр; 12 – охладитель

*Источник: составлено автором по данным [33; 50; 91]

Все эти решения являются дополнением к общепринятой системе санитарной обработки доильного оборудования, прописанной в Санитарных правилах по уходу за доильными установками и молочной посудой, контролю их санитарного состояния и качества молока [86; 88; 101].

Однако, несмотря на все предпринимаемые усилия, система санитарной обработки доильной установки все еще обладает рядом недостатков, таких как:

- высокие энергетические затраты (электроэнергия, вода и моюще-дезинфицирующие средства);
- большая продолжительность;
- отсутствие оперативного контроля качества.

На качество выполнения санитарной обработки доильных установок оказывают влияние не только параметры движения моющего раствора, его температура и концентрация, но параметры применяемых механических очистителей. При этом это следует рассматривать не только их геометрические параметры, но и время подачи.

С целью устранения данных недостатков санитарной обработки доильной установки был предложен усовершенствованный способ (рисунок 2.8). Способ включает в себя все те же операции, что и традиционный: предварительное ополаскивание, циркуляционную промывку и ополаскивание, однако интенсификации механического воздействия подразумевает подачу нескольких очистителей на этапе циркуляционной промывки доильной установки.

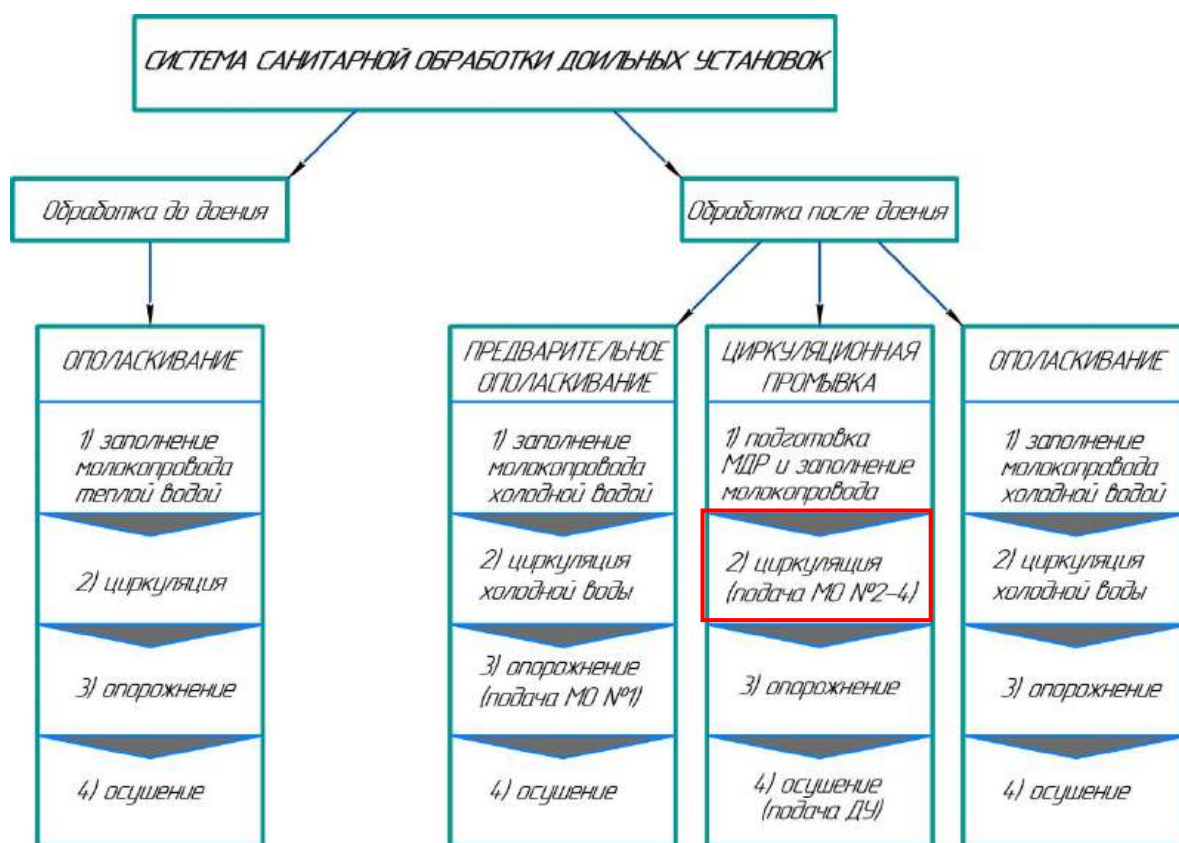


Рисунок 2.7 – Схема технологического процесса циркуляционной мойки после доения с использованием механических очистителей и диагностического устройства:

МО – механический очиститель; ДУ – диагностическое устройство.

*Источник: разработано автором

Подача дополнительных механических очистителей не нарушает работу пульсаторов и пробковый режим движения моюще-дезинфицирующего раствора [122; 130].

Усовершенствованный способ предусматривает подачу поролонового пыжа на стадии циркуляции во время предварительного ополаскивания, механических очистителей на стадии циркуляции моюще-дезинфицирующего устройства во время циркуляционной промывки и диагностического устройства в начале осушения.

Техническая реализация предложенного способа санитарной обработки отражена в конструктивно-технологической схеме доильной установки в режиме промывки, представленной на рисунке 2.8.

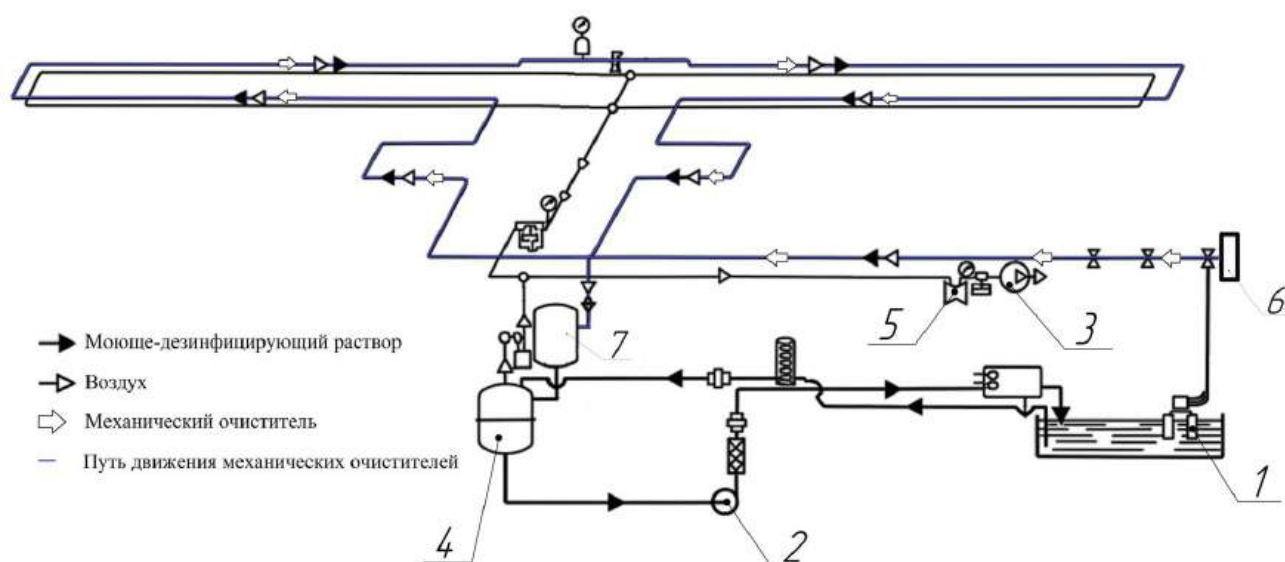


Рисунок 2.8 – Конструктивно-технологическая схема доильной установки в режиме промывки*:

1 – доильные аппарат; 2 – насос; 3 – вакуумный насос; 4 – бак моюще-дезинфицирующего раствора; 5 – вакуум-регулятор; 6 – устройство подачи механических очистителей; 7 – молокоприемник.

*Источник: разработано автором

Представленная на рисунке 2.8 схема отражает техническую реализацию усовершенствованного способа санитарной обработки. Схема отличается тем, что в начало молокопровода устанавливается устройство подачи механических очистителей 6 (рисунок 2.8), которое позволяет подавать их в поток моюще-дезинфицирующего раствора без нарушения герметичности системы.

Устройство подает сначала поролоновый пыж (для удаления остатков молока), а затем несколько механических очистителей с активными рабочими органами (для разрушения белково-жировых отложений).

В отличие от традиционной схемы, где очистка происходит за счет энергии турбулентного потока, данная схема реализует комбинированный гидромеханический принцип. Механический очиститель перемещается по молокопроводу под действие перепада давления, создаваемого вакуумным-насосом 5 (рисунок 2.8). Благодаря винту, а также спиральной форме чистящей поверхности и отверстий в корпусе, механический очиститель принимает поступательно-вращательное движение, активно воздействуя щетиной на загрязнения стенок.

Пройдя весь контур молокопровода, очистители попадают в молокоприемник 7 (рисунок 2.8), а отработанный раствор сливается или направляется на повторную циркуляцию. После очистки и дезинфекции механические очистители могут быть использованы повторно.

В результате изменения способа промывки усиливается механическое воздействие на внутреннюю поверхность молокопровода, а, следовательно, и на белково-жировые загрязнения.

2.2 Обоснование конструкции технических средств для санитарной обработки доильных установок

Для реализации усовершенствованного способа требуется разработка устройства, позволяющего подавать необходимое количество механических очистителей в заданный цикл работы автомата промывки. К тому же, согласно руководствам по эксплуатации большинства производителей автоматов промывки доильных установок, предусматривается подача поролонового пыжа в такте предварительного ополаскивания.

Традиционно механические очистители подаются посредством ручной их загрузки оператором в начало молокопровода (рисунок 2.9). При этом на качество выполнения этой операции значительное влияние оказывает человеческий фактор. К тому же в момент загрузки в молокопровод попадает нефльтрованный воздух, что также влияет на бактериальное обсеменение.



Рисунок 2.9 – Подача механических очистителей ручным способом [56]

Недостатками данной системы промывки являются:

- 1) большой расход воды и моющих средств на промывку молокопроводов;
- 2) большая продолжительность мойки по времени (40 мин);
- 3) однократное пропускание поролоновых губок (пыжей) по молокопроводам и, как следствие, неполное удаление остатков моющего раствора и ополаскивающей воды из системы, что снижает санитарное состояние доильной установки и качество молока [56].

Для автоматизации процесса подачи механических очистителей было разработано специальное устройство. Данное устройство предназначено для:

- уменьшения нагрузки на оператора;
- подачи механического очистителя в заданный программируемый момент времени;
- подачи обоснованного количества механических очистителей;
- повышения гигиеничности процесса промывки за счет сокращения времени контакта оператора и герметизации молокопровода;
- снижения влияния человеческого фактора на процесс промывки.

Устройство для подачи механических очистителей состоит из вращающегося на валу барабана со сквозными отверстиями под механические

очистители (пыжи). Молокопровод поочередно совмещается со сквозными отверстиями барабана при его повороте от управляемого электропривода на заданный угол. Устройство имеет 5 сквозных отверстий и, следовательно, вмещает пять механических очистителей. Устройство для подачи механических очистителей работает следующим образом [107]:

1. Устройство устанавливается в разрыв молокопровода. В отверстие барабана загружается механический очиститель.

2. В молокопроводе создается разряжение и в него подается промывочная жидкость.

3. Через некоторое время электропривод посредством вала поворачивает барабан на заданный угол, совмещая одно из сквозных отверстий с молокопроводом. Механический очиститель под действием разряжения и воздушного потока, поступающего через каналы впуска воздуха, попадает в молокопровод и начинает движение, очищая его стенки от белково-жировых отложений. Пройдя через весь контур молокопровода, очиститель попадает в молокоприемник. При необходимости дополнительной очистки молокопровода электропривод поворачивает барабан на заданный угол и в молокопровод подается из соответствующего сквозного отверстия следующий механический очиститель и т. д.

4. По окончании цикла промывки происходит ополаскивание молокопровода водой, а последний механический очиститель вытесняет остатки воды из молокопровода в молокоприемник и далее в канализацию. Цикл промывки заканчивается [107].

С целью снижения негативного действия этих недостатков был разработан способ с подачей дополнительных устройств различных типов непосредственно в молокопровод, включая:

1. Поролоновый пыж для промывки молокопроводов, который показал высокую эффективность при удалении остатков молока и легкоудаляемой белковой пленки.

2. Механический очиститель с активным рабочим органом высокоэффективен против твердых белково-жировых отложений и молочного камня [107].

Поролоновые пыжи рекомендует к применению большинство производителей доильного оборудования и автоматов промывки доильных установок. В большинстве руководств по эксплуатации к автоматам промывки рекомендован к применению один поролоновый механический очиститель. Их назначение ограничивается удалением остатков молока после дойки в цикле предварительного ополаскивания. Однако они обладают и чистящим эффектом за счет механического воздействия на поверхность. С целью определения этого эффекта они добавлены в эксперимент.

Для проверки чистящего действия механических очистителей с активными рабочими органами изначально испытывались пыжи, разработанные В.Ю. Матвеевым [39; 56] (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10– Устройство с активными органами [56]

Для повышения эффективности очистки путем снижения скорости продольного (линейного) движения и увеличения частоты вращения была разработана усовершенствованная модель механического очистителя со спиральными отверстиями. Отверстия предназначены для снижения линейной скорости движения за счет уменьшения разницы давлений до и после корпуса устройства. Спиральная форма отверстий предназначена для увеличения вращающего момента, что приводит к повышению частоты вращения [65; 106] (рисунке 2.11).

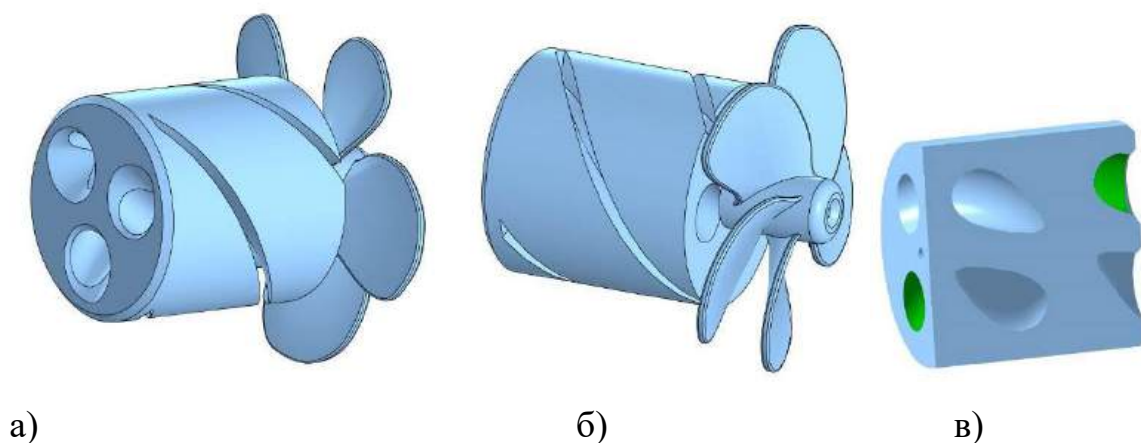


Рисунок 2.11 – Модель механического очистителя со спиральными каналами*:

а – вид спереди; б – вид сзади; в – разрез корпуса

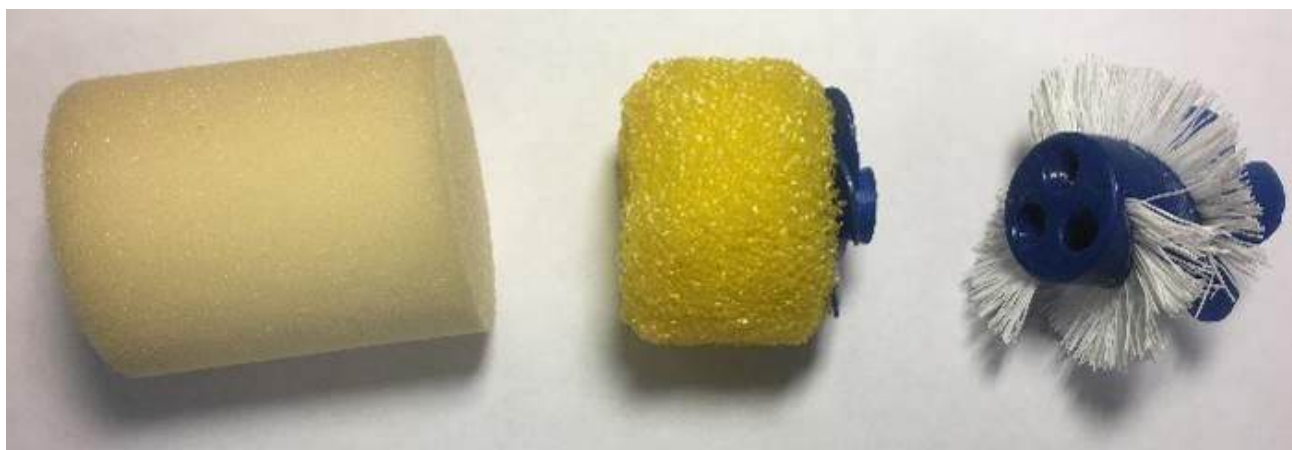
*Источник: разработано автором

Из-за того, что молочное загрязнение в зависимости от степени минерализации имеет различную консистенцию (мягкая пластичная жировая пленка и твердое минеральное отложение в виде «молочного камня»), было разработано два варианта чистящей основы – поролоновая и щетинистая. Поролоновая чистящая основа предназначена для улучшения смачиваемости и увеличения силы трения при удалении твердых загрязнений, а щетинистая – разрезает жировую пленку.

Следовательно, в роли механических очистителей выступали «традиционный» поролоновый пыж и две конструкции разработанных механических очистителей с чистящей поверхностью из поролона и щетины [65; 106] (рисунок 2.12).

Задачей механического очистителя является механическое воздействие на внутреннюю поверхность молокопровода чистящего элемента и гидравлического воздействия частиц жидкости.

Данная задача становится возможной вследствие придания винтовой формы каналам и чистящему элементу, за счет чего увеличивается вращательный момент. Благодаря этому данное устройство сможет более быстро и качественно удалить белково-жировые отложения.



а)

б)

в)

Рисунок 2.12 – Типы механических очистителей внутренней поверхности доильной установки, применяемые для санитарной обработки*:

а – поролоновый пыж; б – механический очиститель с поролоновой чистящей поверхностью;
в – механический очиститель с чистящей поверхностью из щетины

*Источник: разработано автором

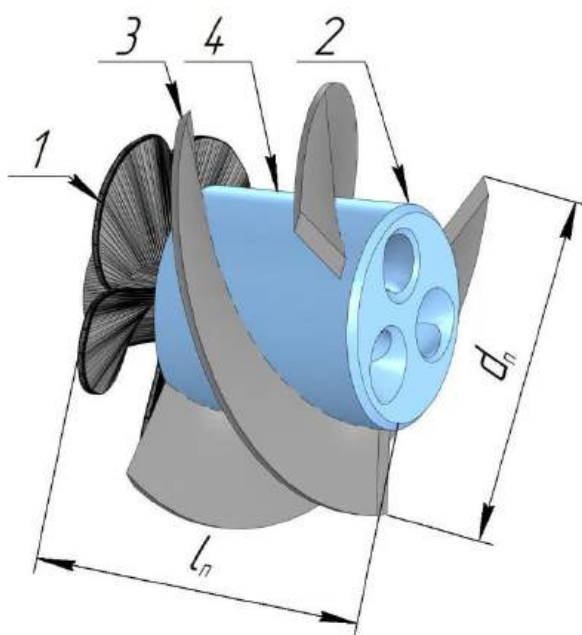


Рисунок 2.13 – Устройство для очистки молокопроводов доильных установок*

*Источник: разработано автором

Решение поставленной задачи становится возможным потому, что устройство имеет приводной элемент 1, винтовые каналы 2 и винтовую форму чистящего элемента 3, которые приводят во вращательное движение устройство под действием вакуума. Винтовые каналы придают вращательный момент и снижают линейную скорость устройства [106] (рисунок 2.13).

Устройство для очистки молокопровода работает следующим образом: поток воздуха и моющего раствора воздействует на жестко соединенный с корпусом чистящего устройства 4 приводной элемент 1, придавая ему вращательный момент, и продолжает движение через винтовые каналы 2. При движении через каналы 2 поток оказывает давление на их стенки, придавая дополнительный вращательный момент устройству. Направление винтовых каналов 2 соответствует направлению лопастей приводного элемента 1. На корпусе чистящего устройства 4 жестко закреплены минимум 3 ряда чистящих элементов 3, изогнутых по винтовой линии относительно продольной оси корпуса чистящего устройства 4. При вращении корпуса чистящего устройства 4 чистящий элемент 3 оказывает механическое воздействие на загрязнение, в результате которого оно разрушается, попадает в пространство между рядами и удаляется потоком моющего раствора.

Определение предельной длины механического очистителя L является критической задачей для предотвращения его заклинивания при прохождении углового элемента молокопровода радиусом R , и, как следствие, предотвращения поломок технологического оборудования и остановки технологического процесса.

Диаметр рассматриваемого механического очистителя определяется:

$$d_m = d_k + 2l_{щ}, \quad (2.1)$$

где d_m – диаметр механического очистителя, мм; d_k – диаметр корпуса механического очистителя, мм; $l_{щ}$ – длина щетины, мм.

Однако из-за того, что в задней части механического очистителя установлен приводной винт диаметром d_v , то исследуемый объект принимает ассиметричную форму.

Предельное положение заклинивания определяется геометрическими ограничениям, при котором середина механического очистителя касается внутренней стенки поворота молокопровода $R_{внут}$, а оба торца – внешней стенки

$R_{внеш}$.

Щетина центрирует механического очистителя, но при прохождении узкого поворота она сжимается под давлением стенок. Способность щетины сжиматься ограничена ее физическим объемом. Введем параметр δ – толщина слоя максимально сжатой щетины.

Тогда эффективный диаметр корпуса механического очистителя d_{κ}^{∂} в момент предельного заклинивания будет равен:

$$d_{\kappa}^{\partial} = d_{\kappa} + 2\delta \quad (2.2)$$

Из-за того, что в задней части механического очистителя установлен недеформируемый приводной винт, общая длина устройства складывается из двух отрезков: от точки касания внутренней стенки до переднего края l_1 и от точки касания до заднего винта l_2 (рисунок 2.14).

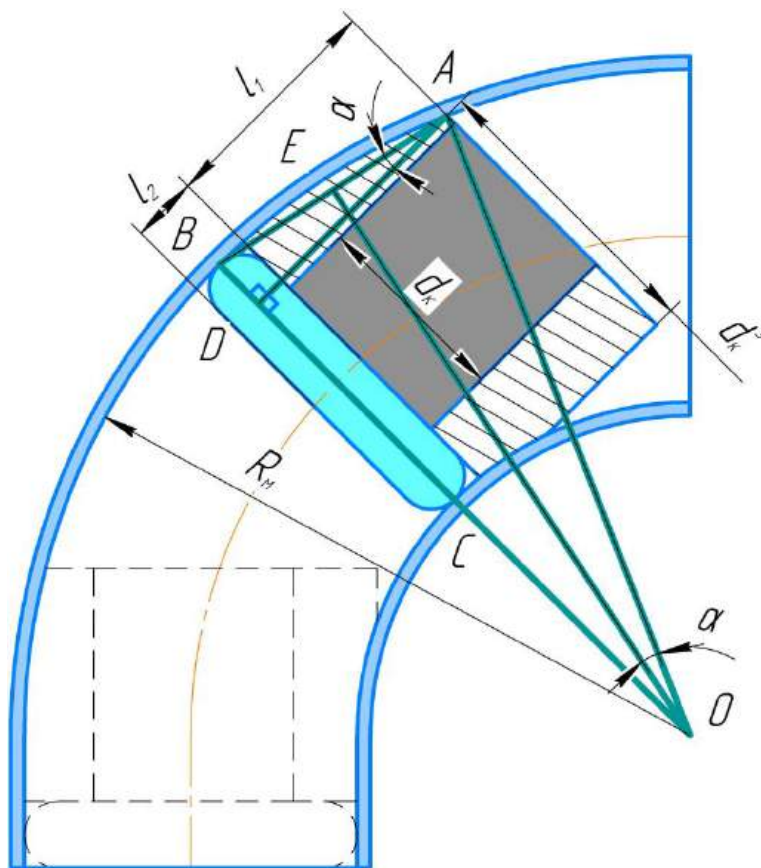


Рисунок 2.14 – Схема прохождения поворота молокопровода механическим очистителем*

*Источник: разработано автором

Анализируя схему процесса, геометрическая модель расчета предельной длины механического очистителя требует строгого учета крайних точек. На схеме выделено три крайних точки (А, В, С), определяющие габаритный

диапазон устройства. Проведя из вершины А высоту AD получаем два прямоугольных треугольника: $\triangle ABD$ и $\triangle ADO$. Так как форма винта имеет наружную сферическую, то точка соприкосновения В находится на расстоянии $l_2/2$. Тогда отрезок AD равен:

$$AD = l_1 + l_2/2. \quad (2.3)$$

С середины хорды АВ строим перпендикуляры вплоть до точки их взаимного пересечения. Точка пересечения перпендикуляров является центром искомой образующей окружности. Отрезок EO (рисунок 2.14) является высотой равнобедренного треугольника ABO.

Рассмотрим треугольники $\triangle ABD$ и $\triangle AEO$ (рисунок 2.14). Эти два прямоугольных треугольника имеют одинаковый угол α . Из условия подобия, делаем вывод, что эти треугольники подобны. Тогда должно выполняться правило пропорциональности:

$$\frac{BD}{AB} = \frac{AE}{AO}. \quad (2.4)$$

При этом известно, что отрезок АО равен радиусу изгиба молокопровода, а отрезок $AE = 0,5AB$. Выразим из уравнения 2.4 примет вид:

$$AB = \sqrt{2 \cdot BD \cdot R_{\text{внеш}}}. \quad (2.5)$$

Рассмотрев $\triangle AEO$, выражаем угол α :

$$\alpha = \arcsin \frac{AE}{AO} = \arcsin \frac{0,5AB}{R_{\text{внеш}}} = \arcsin \frac{AB}{2R_{\text{внеш}}}. \quad (2.6)$$

Рассмотрим треугольники $\triangle ABD$ и выразим максимальную длину механического очистителя, равную отрезку AD:

$$l_{\text{max}} = AD = AB \cdot \cos \alpha = \sqrt{2 \cdot BD \cdot R_{\text{внеш}}} \cdot \cos \alpha, \quad (2.7)$$

где $h_{\text{деф}} = BD$ – толщина деформируемого слоя щетины, определяемая по формуле:

$$h_{\text{деф}} = BD = \frac{d_{\text{м}}}{2} - \frac{d_{\text{к}}}{2} - \delta, \quad (2.8)$$

$$R_{\text{внеш}} = R_m + \frac{d_m}{2}, \quad (2.9)$$

где R_m – радиус изгиба молокопровода, мм.

Преобразовав выражения, максимальная длина механического очистителя равна [53]:

$$l_{\max} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{d_m}{2} - \frac{d_k}{2} - \delta \right) \cdot \left(R_m + \frac{d_m}{2} \right) \cdot \cos \alpha}. \quad (2.10)$$

Анализируя полученные зависимости, видно, что максимальная длина механического очистителя ограничивается параметрами обрабатываемого молокопровода (d_m , R_m , $\cos \alpha$), диаметром корпуса механического очистителя d_k и толщиной несжимаемого слоя чистящего элемента δ .

Для молокопровода из нержавеющей стали ($d_m = 50$ мм, $R_m = 75$ мм) максимальная длина механического очистителя представлена на рисунке 2.15 и в приложение Д.

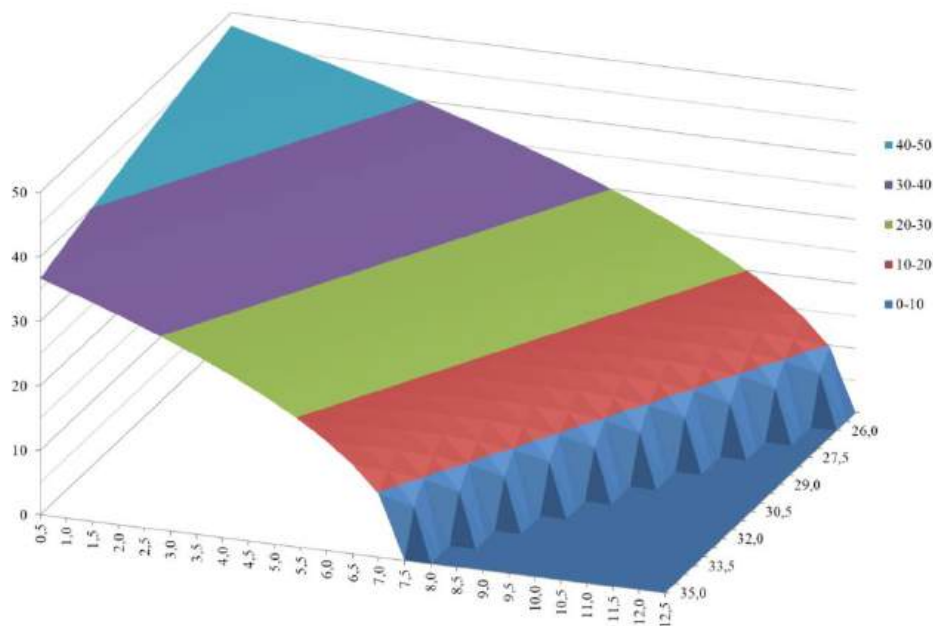


Рисунок 2.15 – Теоретические значения максимально допустимой длины очистителя при фиксированных параметрах молокопровода ($d_m = 50$ мм, $R_m = 75$ мм)*

*Источник: получено автором в ходе исследования

Нужно учесть, что при диаметре корпуса менее 25 мм, становится невозможным размещение в корпусе спиральных перепускных каналов.

Поскольку эффективность очистки механического очистителя находится в прямой зависимости от его длины, при разработке опытного образца целесообразно стремиться к максимально возможному значению данного параметра.

Анализ полученных данных (Приложение Д) и рисунка 2.15 позволяет научно обосновать габариты модернизированного очистителя из условия обеспечения проходимости и сохранения возможности вращения. Рационально выбирать диаметр корпуса в пределах 25–30 мм, что позволит увеличить его длину (и, как следствие, площадь контакта) до 40–48 мм в зависимости от типа щетины [53].

3. Устройство очистки и контроля чистоты молочных линий [65; 106].

Согласно исследованиям В.Ю. Матвеева [55], на качество санитарной обработки доильной установки оказывают влияние не только параметры моющего раствора, но и параметры подачи механических очистителей.

С целью изменения параметров подачи механических очистителей было спроектировано и изготовлено устройство их подачи (рисунок 2.14). Устройство позволяет автоматизировать процесс подачи механических очистителей в молокопровод и программировать количество и время их подачи. Процесс автоматизации процесса подачи позволяет исключить человеческий фактор и повысить гигиену процесса промывки доильной установки.

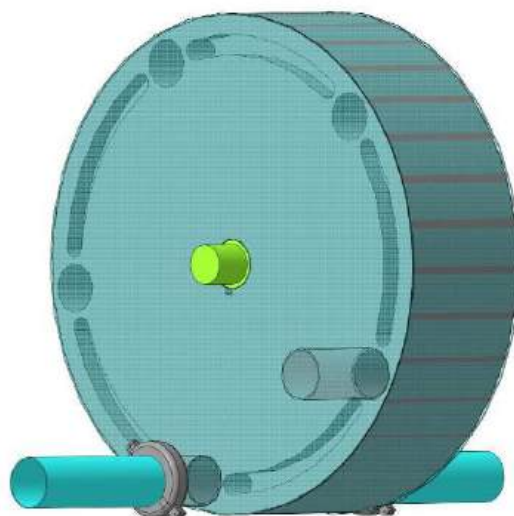


Рисунок 2.16 – Общий вид устройства подачи механических очистителей*

*Источник: разработано автором

Таким образом, усовершенствованный за счет подачи механических очистителей с активными рабочими органами способ санитарной обработки внутренней поверхности молокопровода, реализованный за счет внедрения в систему устройства автоматической их подачи, призван интенсифицировать воздействие на белково-жировые отложения.

2.3 Теоретическое обоснование необходимого объема моюще-дезинфицирующего раствора

2.3.1 Обоснование силы механического взаимодействия чистящего элемента с поверхностью молокопровода

Процесс взаимодействия чистящего элемента при его движении в турбулентном двухкомпонентном потоке с очищаемой поверхностью достаточно сложный, однако его аналитическое описание нашло отражение в ряде работ [39; 40; 56]. При проведении исследований были рассмотрены работы по теории щеточных устройств для решения различных задач А.Г. Лепеш, В.Ф. Ужика, Д.Б. Клименко, Ю.Г. Иванова, А.Г. Лапкина, Л.М. Гусева, В.А. Мухина, М.К. Дусенова, А.В. Михайлова [39; 40; 56], из которых следует, что при взаимодействии загрязнений поверхности с очищающими элементами рабочего органа механического очистителя наблюдаются сложные явления, в результате которых налипшие загрязнения разрушаются и удаляются.

Однако, если рассматривать процесс очистки внутренней поверхности механическим очистителем, усилие воздействия ворсинчатой частицы представлено только силами деформации загрязнения при волочении частицы.

Касательные напряжения, создаваемые в результате волочения ворсинчатой части о поверхность молокопровода $F_{тр}$, состоят из сил на

преодоление сопротивления деформации частиц белково-жировых загрязнений на поверхности, сопротивления волочению, разрушение связей между частицами загрязнений и поверхностью молокопровода и ряда других факторов.

При этом также не стоит исключать, что все это происходит одновременно с циркуляцией моюще-дезинфицирующего раствора, который ускоряет процесс очистки за счет смачивания белково-жирового слоя. Процесс очистки внутренней поверхности молокопровода посредством циркуляционной промывки совместно с механическим очистителем состоит из трех этапов (рисунок 2.15).

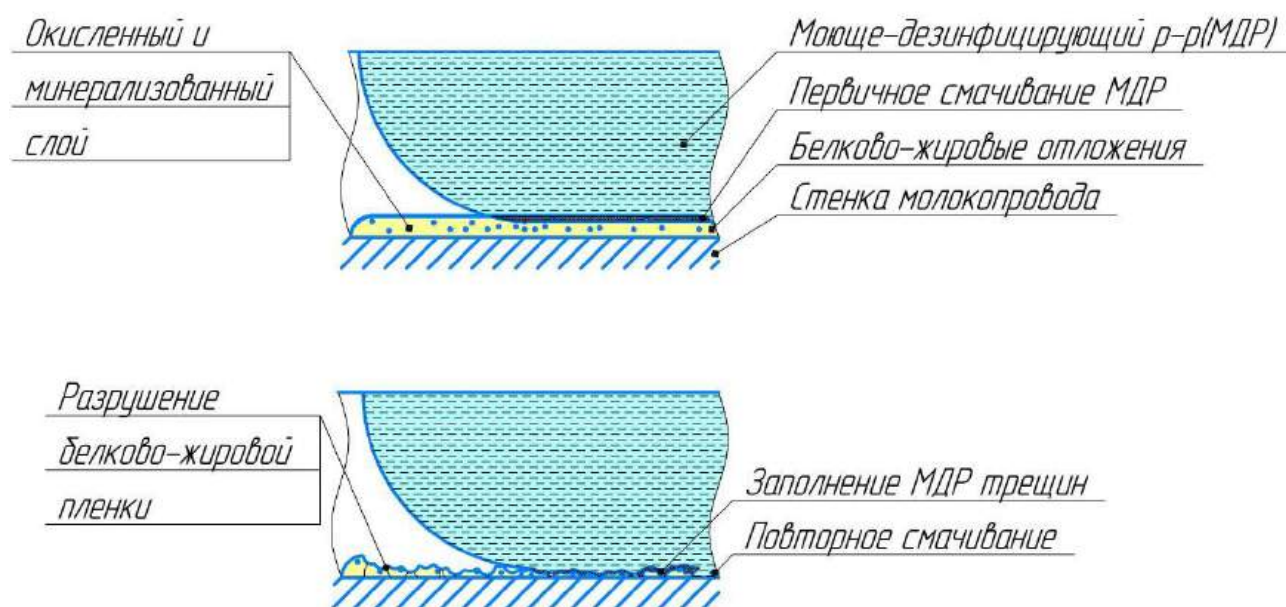


Рисунок 2.17 – Схема удаления белково-жирового загрязнения с внутренней поверхности молокопровода*

*Источник: составлено автором по данным [39; 40; 56]

На поверхности белково-жировых отложений вследствие взаимодействия с воздухом и водой при промывке в результате окисления и минерализации образуется твердая трудноудаляемая пленка, удаление которой циркуляционными способами является затруднительным. Однако при использовании механических очистителей процесс значительно ускоряется. Первым этапом очистки является смачивание поверхности загрязнения моюще-

дезинфицирующим раствором. Однако глубина смачивания, как правило, меньше толщины загрязнений. Вторым этапом – скольжение ворсинчатой частицы по поверхности стенки молокопровода, в результате чего белково-жировая пленка деформируется, и в ней образуются разрывы и трещины. Завершающим этапом является повторное смачивание деформированного слоя загрязнений и отрыв вследствие взаимодействия с потоком.

Аналитическое определение силы F_{mp} для вышерассмотренных случаев достаточно сложно из-за невозможности учета всех факторов, влияющих на загрязнения.

Учитывая вышеизложенное, считаем целесообразным применение положения В.П. Горячкина [118] о тяговом сопротивлении, создаваемом при преодолении упругого тела, т. е.:

$$P = f_{mp} \cdot G + k_0 \cdot a_0 \cdot B_0 + \varepsilon_0 \cdot a_0 \cdot B_0 \cdot \rho \cdot V_{MO}^2, \text{ Н}, \quad (2.11)$$

где f_{mp} – приведенный коэффициент трения ворсинок механического очистителя о стенку молокопровода; G – вес тела, кг; k_0 – коэффициент, характеризующий способность загрязнения сохранять свою форму при деформации; a_0 – толщина слоя загрязнения, м; B_0 – ширина зоны контакта, м; ε_0 – коэффициент, зависящий от формы механического очистителя; V_{MO}^2 – скорость механического очистителя, м/с.

Первое слагаемое уравнения (2.7) представляет собой часть энергии, затрачиваемой на преодоление силы трения механического очистителя о стенку молокопровода. В связи с тем, что механический очиститель представляет из себя упругое тело, а его вес G распределяется на стенки, целесообразнее принять его равным давлению механического очистителя на стенку молокопровода F_{cm} .

Второе слагаемое описывает упругие деформации, происходящие на границе загрязнения и механического очистителя.

Последнее слагаемое описывает пластическое деформирование слоя загрязнения вследствие его контакта с чистящим элементом. В связи с тем, что обрабатываемая поверхность выполнена в виде внутренней стенки трубы, ширина зоны контакта определяется как диаметр молокопровода за вычетом толщины слоя загрязнения:

$$B_0 = 2\pi R_{mp} - a_0, \quad (2.12)$$

где R_{mp} – диаметр молокопровода, м.

Подставив полученные выражения в формулу (2.7), получаем:

$$P = f_{mp} \cdot F_{cm} + k_0 \cdot a_0 \cdot (2\pi \cdot R_{mp} - a_0) + \varepsilon_0 \cdot a_0 \cdot (2\pi \cdot R_{mp} - a_0) \cdot \rho \cdot V_{MO}^2, \text{ Н.} \quad (2.13)$$

Для определения сил касательного напряжения F_{mp} необходимо разделить полученное выражение на площадь воздействия:

$$F_{mp} = \frac{P}{S_{MO}} = \frac{f_{mp} \cdot F_{cm} + k_0 \cdot a_0 \cdot (2\pi \cdot R_{mp} - a_0) + \varepsilon_0 \cdot a_0 \cdot (2\pi \cdot R_{mp} - a_0) \cdot \rho \cdot V_{MO}^2}{2\pi \cdot R_{mp} \cdot h_n}. \quad (2.14)$$

Анализируя выражение (2.10), можно сделать вывод, что на касательные напряжения на стенку молокопровода оказывает влияние материал механического очистителя, сила воздействия чистящей поверхности на стенку, толщина слоя загрязнения и габаритные размеры чистящего элемента.

2.3.2 Обоснование увеличения площади взаимодействия белково-жировых загрязнений с моющим раствором при использовании механических очистителей

Традиционно в качестве основного способа очистки белково-жировых отложений на внутренней поверхности молокопровода используется циркуляционная очистка моюще-дезинфицирующими растворами на кислотной и щелочной основах. Моющее действие этих растворов обусловлено применением поверхностно-активных веществ, благодаря которым обеспечивается улучшение смачивания вследствие уменьшения поверхностного натяжения жидкости, диспергирование и солюбилизация загрязнений, стабилизация образовавшейся дисперсной системы, мицеллообразование ПАВ в объеме моющей жидкости [110].

Молекулы поверхностно-активных веществ взаимодействуют преимущественно с верхним слоем загрязнения, следовательно, с увеличением площади их контакта с белково-жировыми отложениями увеличится их эффективность.

Согласно данной гипотезе, увеличение эффективности очистки внутренней поверхности молокопровода прямо пропорционально приращению изменяемой площади [65]:

$$\eta = \frac{\Delta S}{S_{\text{мол}}} . \quad (2.15)$$

При использовании механических очистителей с активными рабочими органами поверхность загрязнения деформируется и, как следствие, изменяет свою площадь (рисунок 2.16).

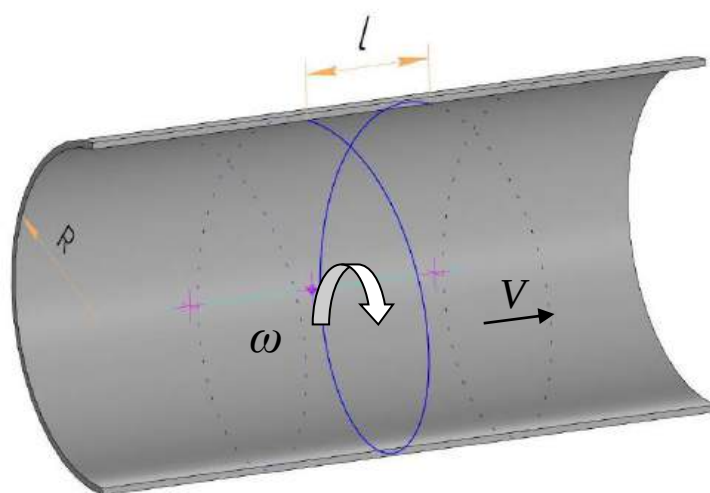


Рисунок 2.18 – Траектория движения ворсинки механического очистителя по внутренней стенке молокопровода*

*Источник: разработано автором

Согласно полученной модели, если принять, что каждая ворсинка во время движения очищает поверхность полностью, она формирует на внутренней стенке молокопровода канал с глубиной, равной толщине белково-жировой пленки, и шириной, равной её толщине.

Длина формируемого канала зависит от линейной V и угловой скорости ω механического очистителя. За один оборот механический очиститель проходит по молокопроводу путь, равный P , совершая при этом линейное перемещение l .

$$P = \pi d, \quad (2.16)$$

$$l = V \cdot t = \frac{V}{\omega}. \quad (2.17)$$

При формировании канала площадь контакта моющего вещества с загрязнением увеличивается на 2 толщины слоя загрязнения h .

$$\Delta S = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d - h)^2}{4} \right) \cdot n, \quad (2.18)$$

где n – число оборотов, совершаемых механическим очистителем за прохождение по всей длине молокопровода L .

$$n = \frac{L}{l} = \frac{L \cdot \omega}{V}. \quad (2.19)$$

Подставив число оборотов в выражение (2.14), получаем приращение площади ΔS взаимодействия, создаваемое одной ворсинкой при прохождении через весь молокопровод:

$$\Delta S_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \omega \cdot (d^2 - (d - h)^2)}{4 \cdot V}. \quad (2.20)$$

Общее приращение площади взаимодействия белково-жировых загрязнений с моющим раствором, создаваемое механическим очистителем, составит:

$$\Delta S = \Delta S_1 \cdot n_{\text{цет}} = \Delta S_1 \cdot n_{\text{ряд}} \cdot p \cdot l_{\text{ряд}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \omega \cdot (d^2 - (d - h)^2) \cdot n_{\text{ряд}} \cdot p \cdot l_{\text{ряд}}}{4 \cdot V}, \quad (2.21)$$

где $n_{\text{ряд}}$ – количество рядов чистящих элементов на механическом очистителе; p – плотность чистящих элементов, шт/см; $l_{\text{ряд}}$ – длина ряда чистящих элементов на механическом очистителе, см.

Согласно полученным зависимостям (2.17) для молокопровода из нержавеющей стали диаметром 50 мм, объеме моюще-дезинфицирующего раствора для цикла промывки 180 л, времени промывки 40 минут и подаче до 4 механических очистителей получаем следующие результаты (рисунок 2.17) [65].

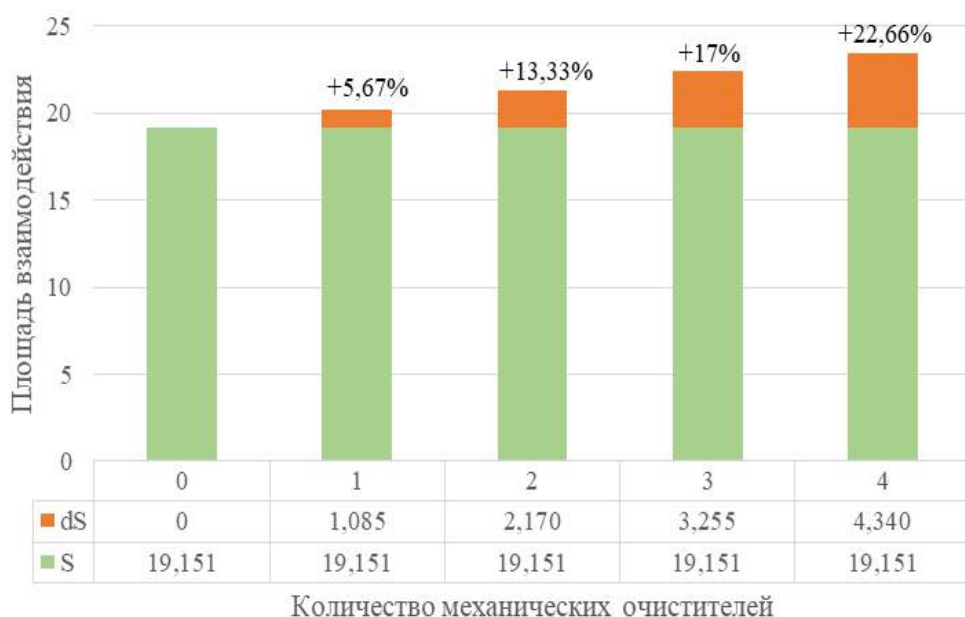


Рисунок 2.19 – График теоретической зависимости уменьшения объема моюще-дезинфицирующего раствора*

*Источник: получено автором в ходе исследования

Таким образом, при использовании каждого механического очистителя происходит увеличение площади взаимодействия моюще-дезинфицирующего раствора с загрязнением на 5,67 %, что пропорционально увеличивает его эффективность.

2.3.3 Обоснование количества моюще-дезинфицирующего раствора, необходимого для обеспечения надлежащего уровня санитарного состояния доильной установки

Традиционно для санитарной очистки доильных установок используется циркуляционный способ. Он заключается в обеспечении циркуляции моюще-дезинфицирующего раствора под действием разрежения, создаваемого вакуумным насосом.

Согласно работам Ю.И. Беляевского [6; 9] рекомендуемая скорость промывки составляет 0,41 м/с, Ю.П. Золотина и Р.Г. Алагезяна [3; 35] – 0,9–1,5

м/с, П.А. Курунина [49] – 1,2 м/с, А.С. Веприцкого и А.Е. Брагина [14; 17] – до 2,5 м/с.

При данных скоростях промывки обеспечивается турбулентный пробковый режим движения моюще-дезинфицирующего раствора. Структура турбулентного потока в пробковой форме движения представлена на рисунке 2.20.

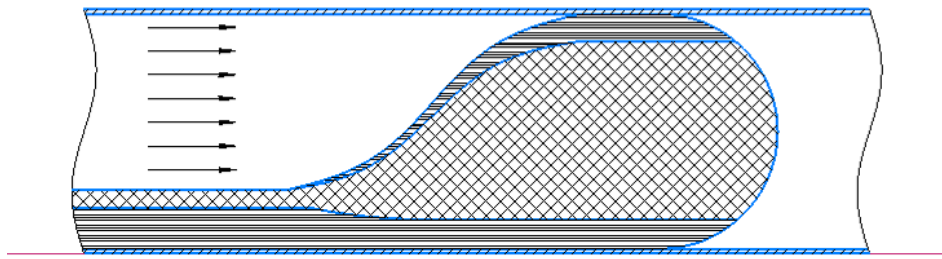


Рисунок 2.20 – Структура турбулентного потока в пробковой форме движения*

*Источник: составлено автором по данным [3; 6; 9; 35]

При движении жидкостная пробка под действием силы трения о стенки молокопровода и силы гравитации постоянно изменяет свою форму и объем. Обеспечение сохранности пробкового характера движения турбулентного потока является наиважнейшим условием эффективной очистки внутренней поверхности молокопровода.

Эффективность очистки стенок молокопровода зависит от силы воздействия потока на пристеночный слой, которая выражена в форме касательных напряжений, создаваемых потоком на пристеночный слой. Следовательно, эффективность очистки внутренней поверхности молокопровода можно выразить через критическую энергию деформации:

$$U_{кр} = \int_S E \cdot dS, \quad (2.22)$$

где $U_{кр}$ – критическая энергия деформации, Нм; E – энергия сдвига, затрачиваемая на деформацию материала, Нм.

Согласно закону Гука, энергия сдвига определяется по формуле:

$$E = \frac{\tau \cdot t^2}{\eta}, \quad (2.23)$$

где τ – касательные напряжения, Н; t – время воздействия, с; η – динамическая вязкость белково-жировых загрязнений, Па·с.

Согласно Л. Прайдтлему [110; 118], существует связь между законом Блазиуса и распределением скоростей внутри потока. Существующая закономерность, выраженная в форме касательного напряжения на стенки молокопровода при турбулентном потоке, определяется по формуле:

$$\tau = 0,0225 \rho u^{\frac{7}{4}} \left(\frac{\nu}{R} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (2.24)$$

где ρ – плотность моюще-дезинфицирующего раствора, кг/м³; u – средняя скорость движения пробки, м/с; ν – кинематическая вязкость моюще-дезинфицирующего раствора, м²/с; R – радиус молокопровода, м.

Для пограничного слоя средняя скорость потока определяется:

$$u = Q / \pi R^2, \quad (2.25)$$

где Q – гидравлический расход, м³/с.

Зная, что гидравлический расход Q характеризует объем, проходящий через площадь сечения за единицу времени, формула (2.21) примет вид:

$$u = \frac{V}{\pi R^2 t}, \quad (2.26)$$

где V – объем моюще-дезинфицирующего раствора, м³.

Подставив формулу (2.22) в выражение (2.20), получаем:

$$\tau = 0,03955\rho\left(\frac{V}{\pi R^2 t}\right)^{\frac{7}{4}}\left(\frac{\nu}{R}\right)^{\frac{1}{4}}. \quad (2.27)$$

Данные касательные напряжения характеризуют силу воздействия воздушно-жидкостного потока на внутреннюю поверхность молокопровода и обеспечивают очищение с их поверхности всех белково-жировых отложений. Согласно существующим нормам и стандартам данный способ санитарной обработки должен обеспечить надлежащее качество санитарного состояния оборудования.

С целью улучшения данной системы выдвинута гипотеза о возможности усиления чистящего действия за счет дополнительного механического воздействия путем подачи нескольких чистящих пыжей в цикле циркуляционной промывки моюще-дезинфицирующим раствором. Схема движения механического очистителя представлена на рисунке 2.19.

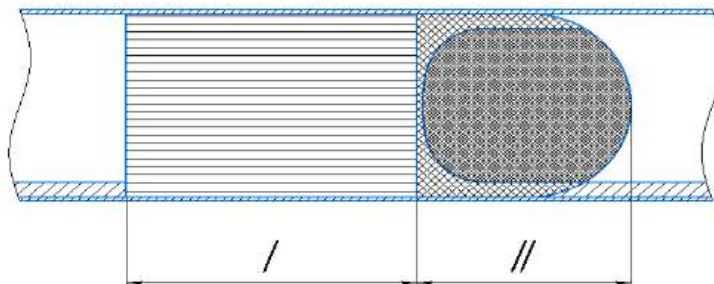


Рисунок 2.21 – Схема движения механического очистителя: I – зона воздействия силы трения очистителя; II – зона воздействия гидравлической пробки*

*Источник: составлено автором по данным [3; 6; 9; 35]

Согласно приведенной схеме на участок трубы воздействует не только касательное напряжение гидравлического потока, но и напряжения трения T механического очистителя.

$$\tau_0 = \tau_1 + nT, \quad (2.28)$$

где n – количество механических очистителей; T – напряжение трения, создаваемое механическим очистителем, Па; τ_0 – касательные напряжения гидравлического потока без использования механических очистителей, Н; τ_1 – касательные напряжения гидравлического потока при использовании механических очистителей, Н.

Напряжение трения определяется по формуле:

$$T = \frac{F_{mp}}{S_n}, \quad (2.29)$$

где F_{mp} – сила трения скольжения механического очистителя о внутреннюю поверхность стенки молокопровода, Н; S_n – площадь наружной поверхности механического очистителя, соприкасающегося со стенкой, м².

За счет введения в технологический процесс промывки молокопровода механического воздействия на его внутреннюю поверхность происходит снижение объема моюще-дезинфицирующего раствора и времени его воздействия. Тогда справедливо равенство:

$$\tau_0 \cdot S = \tau_1 \cdot (S + \Delta S) + \frac{n \cdot F_{mp}}{S_n}. \quad (2.30)$$

где S – площадь загрязнения, м²; ΔS – увеличение площади загрязнения за счет деформации белково-жирового слоя чистящей поверхностью механического очистителя, м².

Подставив в формулу (2.26) значение касательных напряжений из формулы (2.23), получаем следующую зависимость:

$$\frac{\tau_0 \cdot t_0 \cdot S}{\eta} = \frac{\left(\tau_1 + \frac{n \cdot F_{mp}}{S_n} \right) \cdot t_1^2 \cdot (S + \Delta S)}{\eta}. \quad (2.31)$$

где t_0 – время циркуляции моюще-дезинфицирующего раствора без использования механических очистителей, с; t_1 – время циркуляции моюще-дезинфицирующего раствора при использовании механических очистителей, с.

Подставив функцию касательных напряжений в формулу (2.12), получаем:

$$\frac{0,0225 \cdot \rho \cdot V_0^{\frac{7}{4}} \cdot \nu^{\frac{1}{4}} \cdot t_0^{\frac{1}{4}} \cdot S}{\pi^{\frac{7}{4}} \cdot R^2} = \frac{0,0225 \cdot \rho \cdot V_1^{\frac{7}{4}} \cdot \nu^{\frac{1}{4}} \cdot t_1^{\frac{1}{4}} \cdot (S + \Delta S)}{\pi^{\frac{7}{4}} \cdot R^2} + \frac{n \cdot F_{mp} \cdot t_1^2 \cdot (S + \Delta S)}{S_n} \quad (2.32)$$

После преобразования выражение (2.28) примет вид:

$$V_1 = \left(\frac{V_0^{\frac{7}{4}} \cdot t_0^{\frac{1}{4}} \cdot S}{t_1^{\frac{1}{4}} \cdot (S + \Delta S)} - \frac{n \cdot F_{mp} \cdot t_1^2 \cdot \pi^{\frac{7}{4}} \cdot R^2}{0,0225 \cdot \rho \cdot \nu^{\frac{1}{4}} \cdot S_n} \right) \quad (2.33)$$

Анализируя полученное уравнение, можно сделать вывод, что максимальное сокращение объема моюще-дезинфицирующего раствора возможно при максимальной длительности циркуляции и максимальном количестве механических очистителей.

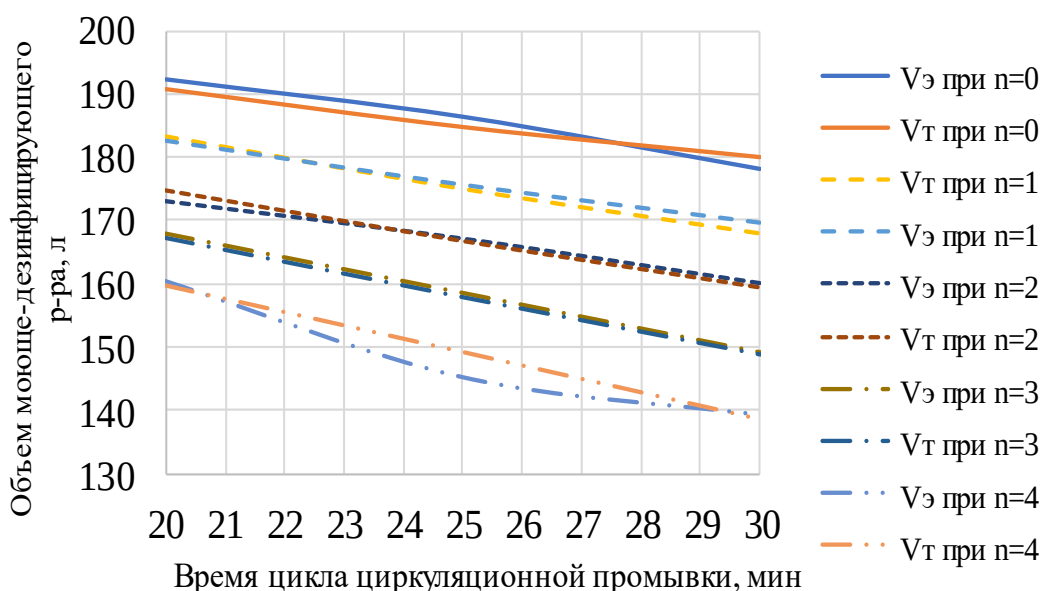


Рисунок 2.22 – График теоретической зависимости уменьшения объема моюще-дезинфицирующего раствора без изменения качества санитарной обработки*

*Источник: полученно автором в ходе исследования

На рисунке 2.22 представлен график сравнения теоретических и экспериментальных объема моюще-дезинфицирующего раствора и времени его циркуляции, при использовании механических очистителей, подтверждающий возможность их сокращения.

Результат сравнительной оценки теоретических и экспериментальных данных представлен в таблице Е.1 (приложении Е). Согласно полученным с помощью программы Excel данным был рассчитан коэффициент F-критерий Фишера, которой составил 0,92.

Согласно полученной теоретической зависимости при использовании 4 механических очистителей с чистящей поверхностью из щетины допустимо снижение объема моюще-дезинфицирующего раствора до 138 л без снижения продолжительности циркуляции и снижение объема до 161 л при его циркуляции до 20 мин (рисунок 2.22) [122].

2.4 Выводы

1. Проведенный анализ существующих систем санитарной обработки доильной установки позволяет выявить, что важнейшими из функций системы санитарной обработки являются удаление остатков молока и циркуляция моющего раствора. Полученная матрица решений позволяет избежать ошибок на стадии разработки и проектирования конструкции устройств для интенсификации. Однако полученные результаты подразумевают разработку устройства с возможностью подачи нескольких механических очистителей в молокопровод с управлением по перепаду давления.

2. Обосновано применение усовершенствованного способа санитарной обработки доильных установок, основанного на подаче нескольких механических очистителей различного типа в молокопровод на стадии циркуляционной промывки с применением устройства подачи.

3. Доработана конструкция устройства с активными рабочими органами для очистки молокопроводов путем добавления в его корпус спиральных каналов и придания чистящей поверхности спиралеобразной формы.

4. Получена теоретическая зависимость расчета максимальной длины механического очистителя с активными рабочими органами, учитывающая геометрические параметры молокопровода и чистящего элемента. Установлено, что для молокопровода диаметром 50 мм рационально выбирать диаметр корпуса механического очистителя в пределах 25–30 мм, что обеспечит возможность применения очистителя длиной до 40–48 мм (в зависимости от типа щетины).

5. Получена теоретическая зависимость изменения объема моюще-дезинфицирующего раствора от времени его циркуляции, типа и количества применяемых механических очистителей. На основании полученной зависимости обосновано минимальное количество чистящих устройств с активными рабочими органами, обеспечивающее высший сорт молока. Согласно полученной зависимости при использовании 4 механических очистителей с чистящей поверхностью из щетины допустимо снижение объема моюще-дезинфицирующего раствора до 138 л без снижения продолжительности циркуляции и снижение объема до 161 л при его циркуляции до 20 мин.

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общая программа и методика исследования

В соответствии с поставленными задачами исследования разработана следующая программа экспериментальных работ:

- лабораторные исследования силы воздействия механических очистителей различного типа на внутреннюю поверхность молокопровода с целью оценки их эффективности и сравнительного анализа;
- производственные эксперименты по очистке молокопроводов доильных установок с применением усовершенствованной технологии санитарной обработки;
- производственные испытания и оценка предложенных конструктивных параметров разработанных технических средств в реальных условиях эксплуатации;
- экспериментальная верификация сходимости теоретических расчетов и опытных данных, полученных в ходе лабораторных и производственных исследований.

В процессе проведения экспериментов определялись следующие основные параметры:

- качество очистки молокопровода в зависимости от типа подаваемого механического очистителя;
- качество очистки молокопровода в зависимости от количества подаваемых механических очистителей;
- количество и тип подаваемых в молокопровод механических очистителей;
- время подачи механических очистителей в процессе циркуляционной промывки доильной установки.

Исследование проводилось в условиях ГБОУ ВО «Нижегородского государственного инженерно-экономического университета» на кафедре «Технические системы и технологии». Полученные в ходе эксперимента данные были подвергнуты статистическому анализу и математическому моделированию с помощью специализированного программного пакета Statgraphics Centurion. Для установления количественных зависимостей был использован множественный регрессионный анализ, который позволил построить адекватную модель, связывающую выходной параметр (Y) с независимыми факторами (X_1 , X_2). Дисперсионный анализ (ANOVA) подтвердил статистическую значимость включённых в модель факторов (уровень значимости $p < 0,05$). Далее методом «поиска оптимального отклика» (Response Optimization) были определены значения факторов, обеспечивающие экстремум целевой функции [59; 64].

Отбор проб смывов с внутренней поверхности молокопроводов и подготовка их к испытанию проводились согласно ГОСТ 9225-84 и СанПиН 2.3.4.551-96 [22; 88].

Испытания разработанных технических средств проводились в соответствии с требованиями ГОСТа Р ИСО 5708-2012 (ISO 5708) «Оборудование для доения. Охлаждатели молока», ГОСТа Р 56988-2016 «Установки доильные. Общие технические условия», ГОСТа 34622-2019 «Молоко и молочная продукция. Методы санитарно-микробиологического контроля» [24; 25; 101; 102].

3.2 Лабораторные (экспериментальные) установки и оборудование

Для реализации описанной выше программы экспериментальных исследований на базе кафедры «Технические системы и технологии» Нижегородского государственного инженерно-экономического университета были спроектированы и реализованы два варианта механических очистителей с

активными рабочими органами и чистящей поверхностью из щетины и поролона (рисунок 3.1) [40; 65; 107; 130].

Механический очиститель состоит из приводного элемента в форме гребного винта, корпуса и чистящего элемента. Параметры гребного винта определены и доказаны в работах В.Ю. Матвеева [56] и не подвергались дальнейшему изменению и оптимизации.



Рисунок 3.1 – Общий вид изготовленных механических очистителей с чистящей поверхностью из щетины и поролона *

*Источник: разработано автором [65; 130]

На основе теоретических исследований выдвинута гипотеза об эффективности применения чистящего элемента из щетины против мягких белково-жировых загрязнений, а чистящего элемента из поролона – против твердых минерализованных загрязнений.

Согласно исследованиям большинства авторов [10; 39; 56; 130], наибольшее влияние на эффективность механических очистителей достигается при минимальной линейной скорости и максимальной частоте вращения.

С целью изменения параметров подачи механических очистителей было спроектировано и изготовлено устройство подачи механических очистителей (рисунок 3.2). Устройство позволяет автоматизировать процесс подачи механических очистителей в молокопровод и программировать количество и время их подачи. Процесс автоматизации процесса подачи позволяет убирать

человеческий фактор и повысить гигиену процесса промывки доильной установки [107].

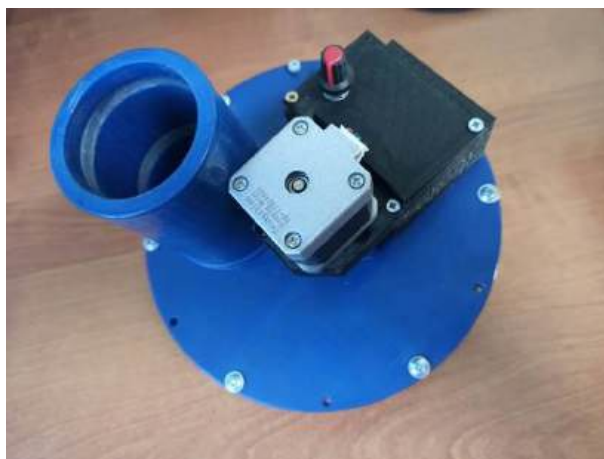


Рисунок 3.2 – Общий вид устройства подачи механических очистителей*

*Источник: разработано автором

Устройство состоит из корпуса, внутри которого на оси закреплен барабан-питатель. На боковой крышке размещен патрубок вывода механических очистителей, шаговый электродвигатель Nema 17 и блок управления. На обеих боковых крышках корпуса устройства располагаются отверстия с резьбой. Резьбовые выходы позволяют устанавливать устройство на различные диаметры молокопровода путем размещения переходных патрубков соответствующих диаметров. Устройство может быть установлено как в разрыв молокопровода, так и в его начале.

Работа устройства заключается в совмещении отверстий барабана-питателя с патрубком выхода механического очистителя в молокопровод доильной установки [107].

Барабан-питатель имеет 5 мест под механические очистители диаметром 50 мм и глубиной 50 мм (рисунок 3.3). Устройство изготовлено путем аддитивной печати экологически безопасным пластиком PLA. Пластик сохраняет форму и жесткость до температуры 150 °С, что обеспечивает работоспособность устройства даже при контакте с горячим моющим раствором. Для снижения шероховатости поверхности и повышения прочности

детали подвергались механической обработке с последующей обработкой дихлорметаном [65].



Рисунок 3.3 – Внешний вид барабана-питателя устройства подачи механических очистителей*

*Источник: разработано автором

Блок управления основан на микроконтроллере Arduino Nano и плате управления шаговым двигателем (рисунок 3.4). Питание устройства осуществляется от внешнего источника 5В. Устройство работает в 2 режимах: ручном и автоматическом.

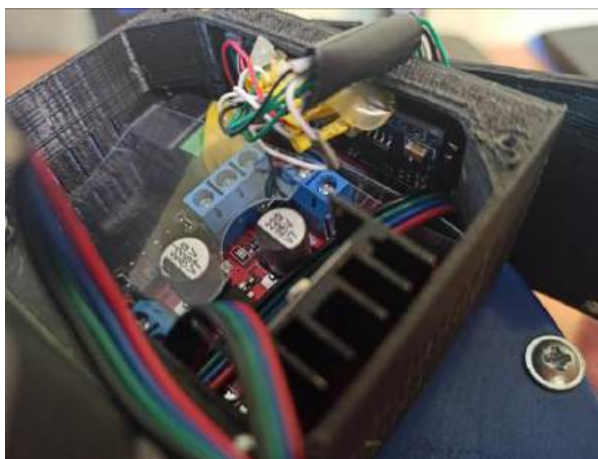


Рисунок 3.4 – Блок управления устройства подачи механических очистителей

*Источник: разработано автором

Для управления режимами работы на лицевой стороне блока управления располагается энкодер, позволяющий осуществлять вращение барабана-питателя либо по нажатию, либо через программируемый интервал времени.

3.3 Методика определения силы трения чистящего элемента о внутреннюю поверхность молокопровода

Теоретическое обоснование сил, возникающих между чистящим элементом и внутренней поверхностью молокопровода, достаточно трудоёмко из-за специфики движения (турбулентный поток, вращение механического очистителя, неоднородность чистящей поверхности и др.). Поэтому с целью определения силы трения о внутреннюю поверхность молокопровода был проведен ряд лабораторных опытов с использованием испытательного стенда (динамометрический комплекс) МЕГЕОН-03000.

Согласно полученной модели на внутреннюю поверхность молокопровода в точке соприкосновения ворсинки механического очистителя действуют следующие силы: $F_{упр}$ – сила упругости ворсинки, $F_{центр}$ – центробежные силы, $F_{тр}^{лин}$ – линейная составляющая силы трения, $F_{тр}^{вр}$ – вращательная составляющая силы трения, F_1 – равнодействующая сил $F_{упр} + F_{центр} + F_{тр}^{лин}$, $F_{тр}$ – результирующая сила трения (рисунок 3.5).

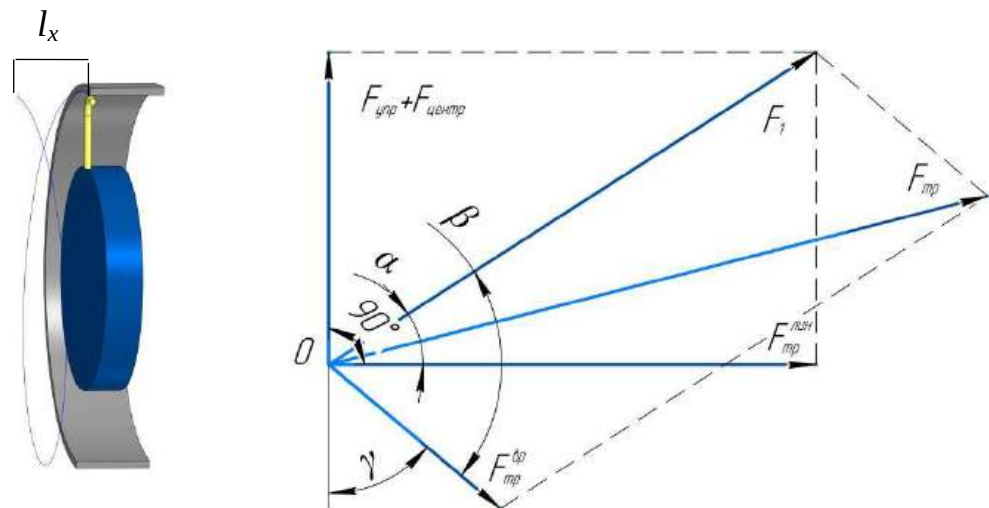


Рисунок 3.5 – Схема сил, действующих на механический очиститель*

*Источник: разработано автором

Так как сила упругости, возникающая в результате деформации чистящего элемента, и центробежная сила направлены от центра к окружности, их можно представить, как сумму сил. Согласно полученной схеме, равнодействующая сила F_1 определяется как:

$$F_1 = \sqrt{(F_{\text{упр}} + F_{\text{центр}})^2 + F_{\text{тр}}^{\text{лин}2} + 2(F_{\text{упр}} + F_{\text{центр}})F_{\text{тр}}^{\text{лин}} \cos 90}, \quad (3.1)$$

$$F_1 = F_{\text{упр}} + F_{\text{центр}} + F_{\text{тр}}^{\text{лин}}. \quad (3.2)$$

Центробежная сила зависит от массы механического очистителя, его частоты вращения и диаметра молокопровода.

$$F_{\text{центр}} = m\omega^2 R. \quad (3.3)$$

Для определения результирующей силы трения необходимо определить угол β между силами F_1 и $F_{\text{тр}}^{\text{сп}}$:

$$\beta = \alpha + \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right). \quad (3.4)$$

Из-за спирального вида движения ворсинки угол γ можно найти путем деления пройденного пути за оборот на расстояние линейного перемещения:

$$\gamma = \frac{2\pi R}{l_x} = \frac{\pi D\omega}{V}, \quad (3.5)$$

где R – внутренний радиус молокопровода, мм; l_x – линейное перемещение механического очистителя за один оборот, мм.

Учитывая вышесказанное, результирующая сил сопротивления движения механического очистителя внутри молокопровода определяется по формуле:

$$F_{mp} = \sqrt{F_1^2 + F_{mp}^{ep2} + 2F_1F_{mp}^{ep} \cos \beta} . \quad (3.6)$$

В связи с тем, что на действующие силы оказывает влияние большое количество факторов (форма механического очистителя, материал, форма и плотность расположения чистящего элемента, непостоянство площади контакта и др.) для определения этих сил применялся ряд лабораторных испытаний образцов механических очистителей.

Для определения силы трения механического очистителя о внутреннюю стенку был использован многоцелевой испытательный комплекс МЕГЕОН 03000, основанный на динамометре МЕГЕОН 04100 с возможностью подключения к ПК.

Общий вид испытательного стенда представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Общий вид испытательного стенда МЕГЕОН-03000*

*Источник: фотография автора

Для определения силы трения на различных участках молокопровода была использована часть углового элемента молокопровода. С целью приближения результатов лабораторных испытаний к реальным производственным испытаниям отрезки молокопровода и механические очистители были предварительно смочены моющим щелочным раствором.

Испытаниям подвергали 3 типа механических очистителей: поролоновый пыж, активный механический очиститель с поролоновым чистящим элементом, активный механический очиститель с чистящим элементом из щетины.



Рисунок 3.7 – Общий вид механических очистителей, используемых при определении силы трения*

*Источник: фотография автора

Испытания проводились в 3 этапа:

1. Определение линейной составляющей силы трения путем проталкивания образцов механических очистителей через горизонтально расположенные участки молокопровода $\varnothing 50$ мм, изготовленного из нержавеющей стали. Для приближения результатов к реальным производственным условиям участок молокопровода предварительно смазывался сливками, а механический очиститель – водой.

2. Определение силы упругости, создаваемой чистящим элементом механического очистителя, проводилось посредством определения с помощью

динамометра усилия с применением оправки, соответствующей диаметру молокопровода из нержавеющей стали AISI 304 Ø50 мм. Перед определением усилия механический очиститель проворачивался на 360° с целью правильной ориентации чистящего элемента.

Определение силы трения, возникающей вследствие вращения механического очистителя, проводилось в отрезке молокопровода путем его вращения на динамометре через плечо, равное 100 мм.

С целью компенсации веса вспомогательного элемента измерение проводилось в 2 этапа – сначала вращение осуществлялось вниз, а затем – вверх. Впоследствии к первому измерению прибавлялось найденное значение, а из второго оно же вычиталось:

$$\Delta = M_2 - M_1, \quad (3.7)$$

где Δ – отклонение вследствие действия силы тяжести вспомогательного элемента; M_1 – момент, необходимый для возникновения установившегося вращения механического очистителя при воздействии на рычаг вниз; M_2 – момент, необходимый для возникновения установившегося вращения механического очистителя при воздействии на рычаг вверх.

В результате сила трения, возникающая вследствие вращения механического очистителя, определяется как:

$$F_{mp}^{ep} = \frac{M_2 - \Delta}{L} \text{ или } F_{mp}^{ep} = \frac{M_1 + \Delta}{L}. \quad (3.8)$$

С целью уменьшения возможной ошибки измерение проводилось с трехкратным повторением. В результат записывались показания динамометра при установившемся движении механического очистителя.

3.4 Методика определения бактериального обсеменения поверхности доильного оборудования

Критерием оценки эффективности санитарной обработки было выбрано количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ или общее микробное число, ОМЧ) [21; 86]. Данный показатель является наиболее распространённым критерием оценки микробной безопасности. Высокий уровень этого показателя свидетельствует об активном размножении микроорганизмов, в том числе и патогенных.

Уровень бактериальной обсеменённости (КМАФАнМ) определялся в соответствии с методикой, предусмотренной ГОСТ 10444.15-94. Так как в 1 см³ проб содержится более 15 колониеобразующих единиц (КОЕ) мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов был выбран метод, предусматривающий посев исследуемого материала на агаризованные питательные среды [21].

Отбор и подготовка проб проводились в соответствии с санитарными правилами по уходу за доильными установками и молочной посудой.

Взятие проб проводилось перед очередным доением в цикле предварительного ополаскивания доильной установки путем забора 25 мл в пробирку.

Уровень КМАФАнМ определялся с использованием экспресс-теста «Биоконтроль» (рисунок 3.8), представляющий из себя герметичную пластиковую пробирку с двумя тестовыми поверхностями, закрепленными в колпачок.

С целью повышения точности данного эксперимента был выбран тест с двумя идентичными тестовыми поверхностями, на которые нанесен агар розового цвета (ОМЧ/ОМЧ) [21].

Качественная и количественная оценка санитарной обработки доильной установки осуществлялась с помощью смывов с внутренней поверхности и

экспресс-теста «Биоконтроль»: Сторона 1: (среда Nutrient Agar, TTC) – общего микробного числа ОМЧ (КМАФАнМ); Сторона 2: (среда Агар Сабуро, Rose Bengal, Хлорамфеникол) – грибов/дрожжей.



Рисунок 3.8 – Экспресс-тест «Биоконтроль» (КМАФАнМ/КМАФАнМ)*

*Источник: фотография автора

Забор проб осуществлялся согласно инструкции в следующей последовательности:

- по окончании цикла санитарной обработки производился забор смывов в объеме 25 мл непосредственно в пластиковую пробирку теста, и пробирка тщательно встряхивалась с целью гомогенизации пробы;
- тест погружался на 10 секунд в пробирку со смывом и встряхивался для равномерного распределения;
- через указанное время жидкость удалялась, и тест, плотно закрытый крышкой, помещался в шкаф, защищенный от солнечных лучей и с постоянной температурой в 22 ± 2 °C на 24 часа. После истечения указанного времени проводилась оценка результатов.

С целью облегчения процесса подсчета результатов образцы фотографировались и в дальнейшем обрабатывались в программе Adobe Photoshop CS5. Полученные фотографии масштабировались до размеров области с питательной средой 28x52 с последующим нанесением сетки. Данный способ позволил упростить подсчет количества и плотности колоний на пластинах.

Оценка осуществлялась посредством сравнения плотности колоний на пластине. Тесты сравнивались с эталонными фотографиями из инструкции с последующей интерполяцией результатов.

3.5 Методика определения скорости движения и частоты вращения механического очистителя

Для определения параметров движения усовершенствованной конструкции механических очистителей были проведены производственные испытания механических очистителей на базе доильной установки Polanes 80, оборудованной автоматом промывки Aquagus 50, принадлежащей СПК «Заря» Пильнинского муниципального округа Нижегородской области.

Контролируемыми параметрами являлись линейная скорость и частота вращения механического очистителя.

С целью определения параметров движения на различных режимах промывки проводилось ступенчатое изменение величины вакуума посредством регулировки вакуум-регулятора.

Величина вакуума варьировала от 5 до 70 кПа и контролировалась вакуумметром. Абсолютная погрешность измерений составляла $\pm 0,5$ кПа.

Для определения контролируемых параметров в конце молокопровода была установлена трубка (рисунок 3.9). Расстояние между соединяемыми трубками составляло 50 мм.



Рисунок 3.9 – Разрыв молокопровода*

*Источник: фотография автора

Для определения параметров движения напротив трубки была закреплена видеокамера, которая вела запись в формате 1080p 60 fps. Обработка записанного видео велась в программе Adobe After Effect 16.1. По результатам раскадровки полученного видео определялось время прохождения и количество оборотов на контрольном отрезке.

3.6 Выводы

1. Предложено устройство подачи механических очистителей с получением патента на изобретение, содержащее барабан с отверстиями для механических очистителей, жестко соединенный осью с приводным элементом, совершающим его вращательное движение и подающим механический очиститель в молокопровод, отличающееся тем, что приводной элемент выполнен в виде электродвигателя с заданным углом поворота, наличием каналов для сброса давления в барабане, обеспечивающих снижение нагрузки на вакуумный насос, возможностью автоматизации технологического процесса подачи требуемого количества механических очистителей [107].

2. Предложено устройство для очистки молокопроводов доильных установок, состоящее из приводного элемента, жестко соединенного с чистящим устройством пробкового типа, выполненным с возможностью поступательного движения в очищаемом трубопроводе под действием разницы давления, отличающиеся тем, что чистящее устройство имеет как минимум три сквозных внутренних канала, изогнутых по винтовой линии относительно продольной оси чистящего устройства, а снаружи к корпусу чистящего устройства прикреплено как минимум три ряда чистящих элементов, изогнутых по винтовой линии относительно продольной оси чистящего устройства, в том же направлении и с тем же шагом, что и внутренние каналы [65; 116].

3. Предложена методика определения скорости движения и частоты вращения механического очистителя, позволяющая рассчитать степень механического воздействия при движении на внутреннюю поверхность молокопровода.

4. Предложена методика определения силы трения чистящего элемента о внутреннюю поверхность молокопровода механическими очистителями различного типа.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

4.1 Исследование конструкционных параметров корпуса механического очистителя с активными рабочими органами

В соответствие с методикой, описанной в п. 3.5, исследовались конструкционные параметры механических очистителей, к которым относятся параметры центрального барабана (диаметр перепускного канала $d_{нк}$, количество перепускных каналов $n_{нк}$ и наружный диаметр корпуса d_k), параметры чистящего элемента (длина щетины $l_{щ}$, ее плотность $n_{щ}$ и диаметр $d_{щ}$) и параметры винта (количество лопастей, угол атаки лопасти, профиль лопасти и др.) [65]. При этом стоит отметить, что, опираясь на ранее проведённые испытания, диаметр корпуса d_k должен быть минимальный по следующим причинам:

1. При минимальном диаметре корпуса d_k облегчается прохождение угловых участков молокопровода. Увеличение диаметра корпуса механического очистителя d_2 более 30 мм приводит к его касанию о стенку и прекращению движения.

Таким образом, минимально возможный диаметр корпуса d_k , который сможет выполнять несущую функцию, представлен в таблице 4.7. Максимально возможный диаметр корпуса составляет 30 мм.

2. При минимальном диаметре корпуса d_k увеличивается площадь каналов между механическим очистителем и стенкой, что способствует повышению эффективности смачиваемости загрязнений и отводу загрязнений, в том числе и очистка чистящего элемента.

Таблица 4.1 – Значения диаметра корпуса механического очистителя в зависимости от количества и диаметра перепускных каналов [65]

Диаметр корпуса d_k , мм		Диаметр перепускного канала $d_{пк}$, мм		
		4	6	8
Количество перепускных каналов n_l , ед.	2	22	22	28
	3	22	24	30
	4	24	26	32

Линейная скорость механического очистителя определялась исходя из перемещения на 2 смежных кадрах (формула 4.1). Перемещение определялось по мерной шкале, закрепленной на прозрачной вставке:

$$V = \Delta l \cdot \Delta t_k, \quad (4.1)$$

где Δl – частота съемки камеры, мм/кадр; Δt_k – частота съемки камеры, кадров/сек.

Частота вращения ω механического очистителя рассчитывалась по формуле 4.2:

$$\omega = \frac{\arctg\left(\frac{h}{R_m''}\right) \cdot \Delta t_k}{360}, \quad (4.2)$$

где h – расстояние по вертикали, на которое переместилась ворсинка на двух смежных кадрах, мм/кадр; R_m'' – наружный диаметр молокопровода в месте крепления мерной шкалы, мм.

В качестве критерия оптимизации была выбрана частота вращения механического очистителя и его линейная скорость. При этом стоит отметить, что наибольшая эффективность очистки внутренней поверхности молокопровода при использовании механических очистителей достигается при его минимальной линейной скорости и максимальной частоте вращения.

Таблица 4.2 – Факторы и уровни их варьирования, исследуемые при изучении процесса движения механического очистителя [65]

Наименование и обозначение факторов		Диаметр перепускного канала $d_{нк}$, мм	Количество перепускных каналов $n_{нк}$, ед	Количество витков спирали $n_с$, ед
Уровень варьирования фактора	-1	4	2	0
	0	6	3	0,5
	+1	8	4	1
Интервал варьирования Δx_i		2	1	0,5

В процессе эксперимента параметры вакуум-регулятора и пульсатора не изменялись.

С целью определения оптимальных значений показателей и установления их взаимосвязи был разработан план эксперимента с использованием программного комплекса Statgraphics 19.1 [59; 64].

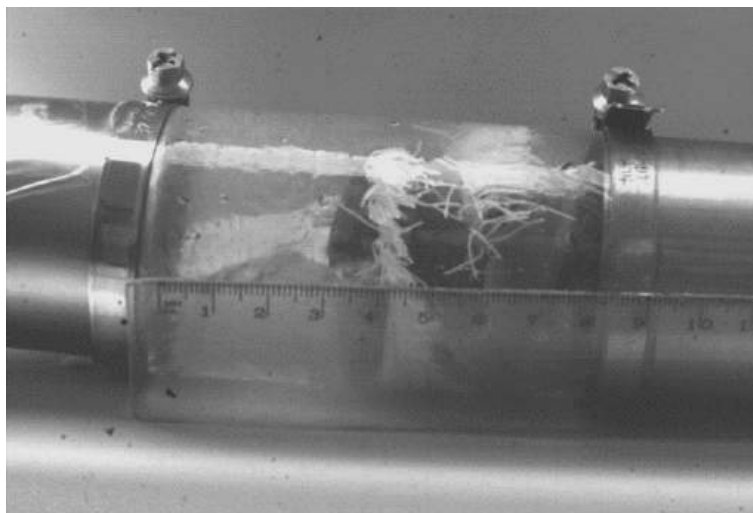


Рисунок 4.1 – Результат раскадровки видеосъемки *

*Источник: фотография автора [65]

На основе полученных данных с использованием методов математического анализа и программного комплекса Statgraphics получены регрессионные модели выбранных критериев. Незначимые коэффициенты, определенные по таблице дисперсии, исключены из регрессионных моделей (приложение Е). Для модели линейной скорости V_1 при допустимой вероятности в 1 % все факторы оказались значимыми, а для модели частоты вращения механического очистителя ω_1 незначимым оказался фактор $n_{нк} \cdot n_с$ [59; 64].

При исключении данных факторов регрессионные модели примут вид:

$$V_1 = 2,2 + d_{нк} - 0,4n_2 + 3,9n_3 - 0,1d_{нк}^2 - 0,1d_{нк}n_{нк} + 0,1d_{нк}n_г + 0,3n_{нк}^2 - 0,7n_{нк}n_г - 1,1n_г^2; \quad (4.3)$$

$$\omega_1 = 1,74 - 0,1d_{нк} - 0,001n_{нк} - 0,69n_г + 0,003d_{нк}^2 + 0,02d_{нк}n_{нк} + 0,02d_{нк}n_г - 0,02n_{нк}^2 + 0,25n_г^2. \quad (4.4)$$

Оценка адекватности регрессионной модели 4.3 и 4.4 проводилась по коэффициенту детерминации R^2 , который равнялся 99,16 % и 99,32 % соответственно. Это означает, что построенная модель может быть применима для описания изучаемого процесса [59; 64].

Для оценки соответствия регрессионных моделей 4.3 и 4.4, выражающих зависимости между переменными, экспериментальным данным и достаточности включенных в уравнение переменных, для описания зависимой переменных проведена сравнительная оценка расчетного и табличного значений критерия Фишера. Данные по адекватности моделей (4.3 и 4.4) представлены в таблице 4.3.

$$F_{рас}^{4.3} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} = \frac{0,9873^2}{1-0,9873^2} \cdot \frac{26-9-1}{9}; \quad (4.5)$$

$$F_{рас}^{4.4} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} = \frac{0,9903^2}{1-0,9903^2} \cdot \frac{26-8-1}{8}. \quad (4.6)$$

Таблица 4.3 – Данные по оценке адекватности модели регрессии (4.3) и (4.4)

№ регрессионной модели	Коэффициент детерминации	Скорректированный коэффициент детерминации	Число наблюдений	Количество значимых факторов модели	Расчетное значение критерия Фишера	Табличное значение критерия Фишера
	R	R^2	n	m	$F_{расч}$	$F_{табл} (0,05)$
4.3	0,9917	0,9873	26	9	68,66	2,538
4.4	0,9933	0,9903		8	107,95	2,548

Согласно проведенным расчетам, значение F-критерия Фишера для 5 % критического значения регрессионных моделей (4.3) и (4.4) составили $F_{рас} = 68,66 \geq F_{таб} = 2,538$ и $F_{рас} = 107,95 \geq F_{таб} = 2,548$ соответственно. Так как

фактическое значение F-критерия больше табличного, то признается статистическая значимость уравнения в целом.

По результатам полученных регрессионных моделей построены поверхности отклика, характеризующие влияние исследуемых факторов на параметры движения механического очистителя (рисунок 4.2) [65].

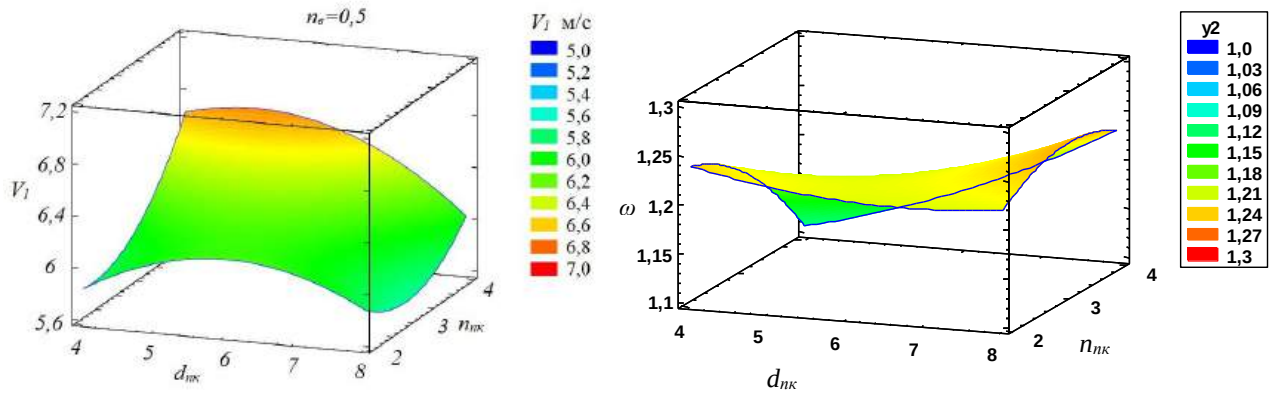


Рисунок 4.2 – Поверхность отклика, характеризующая влияние на критерий оптимизации факторов*:

V_1 – линейная скорость механического очистителя, м/с; ω_1 – частота вращения механического очистителя, об/с; $d_{нк}$ – диаметр перепускного канала, мм; $n_{нк}$ – количество перепускных каналов, ед; n_s – количество витков спирали, ед.

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

Анализируя поверхности отклика (рисунок 4.2), видно, что при увеличении диаметра перепускных каналов (фактор $d_{нк}$) происходит уменьшение критерия оптимизации линейной скорости V_1 . Дальнейшее увеличение диаметра перепускных каналов невозможно, так как это потребует увеличения диаметра корпуса, что недопустимо из-за невозможности прохождения им изгибов молокопровода [65].

Согласно полученным моделям, оптимальный результат ($\left\{ \begin{matrix} V_1 \rightarrow \min \\ \omega_1 \rightarrow \max \end{matrix} \right\}$) достигается при следующих значениях факторов: $d_{нк} = 8$ мм, $n_{нк} = 3$ шт. и $n_s = 0,5$ витка. Точки оптимума графически можно определить и по контурам расчетной поверхности отклика (рисунок 4.3) [65].

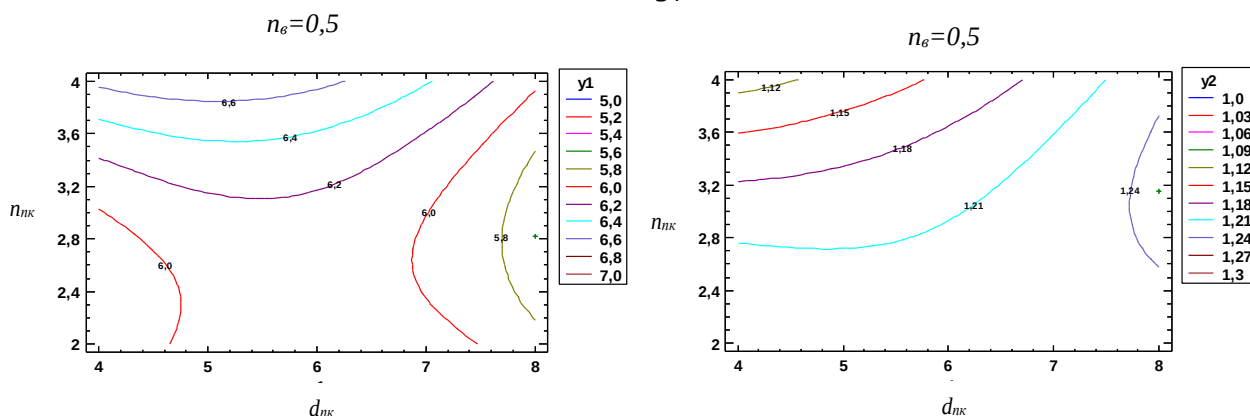


Рисунок 4.3 – Контуры расчетных поверхностей отклика*

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

При оптимальных значениях факторов критерии оптимизации равны $V_1 = 5,69716 \text{ м/с}$ и $\omega_1 = 1,24754 \text{ с}^{-1}$. Дальнейшее уменьшение линейной скорости с использованием данного исполнения механического очистителя с активными рабочими органами практически невозможно. Из-за относительно высокой линейной скорости остается необходимость подачи минимум 3 механических очистителей за цикл промывки и, как следствие, остается необходимость в автоматизации подачи механических очистителей [65].

Таким образом, созданный в результате экспериментальной деятельности механический очиститель с увеличенной эффективностью, имеющий активные рабочие органы, будет достигать оптимальных параметров очистки внутренней стенки молокопровода при наличии в его корпусе 3 перепускных каналов диаметром 8 мм, совершающих 0,5 витка [65].

4.2 Исследование конструктивно-технологических параметров чистящего элемента механического очистителя с активными рабочими органами

Следующим шагом является исследование конструктивно-технологических параметров механических очистителей с чистящим элементом из щетины, к которым относятся длина щетины $l_{щ}$, ее плотность $n_{щ}$ и

диаметр $d_{щ}$. При проведении исследования использовался корпус с рациональными параметрами, обоснованными в пункте 4.1.

Минимальный уровень варьирования длины щетины $l_{щ}$ при диаметре корпуса механического очистителя составляет 10 мм (рисунок 4.4, а). При меньшей длине создается вероятность появления необработанных участков и ухудшается позиционирование механического очистителя в трубе.

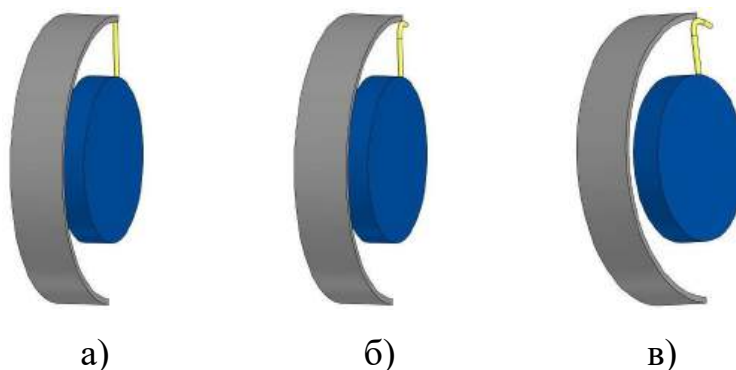


Рисунок 4.4 – Схема позиционирования щетины чистящего элемента механического очистителя (а) 10 мм, б) 15 мм, в) 20 мм).

Плотность щетины $n_{щ}$ в пазах корпуса механического очистителя варьировалась от 10 до 30 штук на сантиметр. При этом стоит отметить, что для обеспечения перекрытия щетина должна располагаться минимум в два ряда.

Диаметр щетины варьировал в пределах от 1,5 до 2,5 мм. С увеличением диаметра щетины чистящего элемента механического очистителя уменьшалось перекрытие и увеличивалась ширина ряда.

Критериями оптимизации параметров чистящего элемента механического очистителя является его минимальная линейная скорость и максимальная частота вращения, так как при этом достигается наибольшее механическое воздействие на внутреннюю поверхность молокопровода, а, следовательно, наилучшее качество санитарной обработки доильной установки.

Таблица 4.4– Факторы и уровни их варьирования, исследуемые при изучении процесса движения механического очистителя

Наименование и обозначение факторов		Длина щетины $l_{щ}$, мм	Плотность щетины $n_{щ}$, ед/см	Диаметр щетины $d_{щ}$, мм
Уровень варьирования фактора	-1	10	20	1,5
	0	15	30	2
	+1	20	40	2,5
Интервал варьирования Δx_i		5	10	0,5

Для определения необходимого количества повторений n произведен расчет:

$$n = \frac{t^2 \cdot S^2}{\Delta^2}, \quad (4.7)$$

где t – коэффициент Стьюдента (для доверительной вероятности 90 % $t = 1,645$); S – среднеквадратичное отклонение ($S = 1,2$); Δ – допустимая погрешность ($\Delta = 1$).

Округлив полученный результат, принимаем $n = 4$ повторениям.

В процессе эксперимента параметры вакуум-регулятора и пульсатора не изменялись.

Для расчета оптимальных значений факторов и оценки их влияния на отклик был разработан план эксперимента для 3 факторов на 3 уровнях. В качестве отклика учитывалась линейная скорость и частота вращения механического очистителя с активными рабочими органами из щетины. Для обработки результатов применялся программный комплекс Statgraphics [59; 64].

В результате обработки экспериментальных данных с использованием методов математического анализа и программного комплекса Statgraphics получены регрессионные модели выбранных критериев.

В результате анализа значимости факторов путем расчета таблицы дисперсии выявлено (приложение E):

1. Для модели линейной скорости V_1 при допустимой вероятности в 5 % незначимым оказался фактор $l_{щ} n_{щ}$.

2. Для модели частоты вращения механического очистителя ω_2 незначимыми оказались факторы $l_{щ}$, $n_{щ}^2$ и $n_{щ}$, и (приложение E) [59; 64].

При исключении данных факторов регрессионные модели примут вид:

$$V_2 = 9,87 - 0,57 \cdot l_{щ} + 0,04 \cdot n_{щ} - 1,09 \cdot d_{щ} + 0,018 \cdot l_{щ}^2 - 0,02 \cdot l_{щ} d_{щ} - 0,0007 \cdot n_{щ}^2 + 0,005 \cdot n_{щ} d_{щ} + 0,44 \cdot d_{щ}^2; \quad (4.8)$$

$$\omega_2 = -1,73 + 0,25 \cdot l_{\text{ц}} + 0,01 \cdot n_{\text{ц}} + 1,63 \cdot d_{\text{ц}} - 0,01 \cdot l_{\text{ц}}^2 - 0,002 \cdot l_{\text{ц}} n_{\text{ц}} - 0,03 \cdot l_{\text{ц}} d_{\text{ц}} + 0,01 \cdot n_{\text{ц}} d_{\text{ц}} - 0,48 \cdot d_{\text{ц}}^2. \quad (4.9)$$

Оценка адекватности регрессионной модели проводилась по коэффициенту детерминации R^2 , который равнялся 99,1 % и 95,5 % соответственно. Это означает, что построенные модели могут быть применимы для описания изучаемого процесса.

Для оценки соответствия регрессионных моделей (4.8) и (4.9), выражающих зависимости между переменными, включенными в уравнение переменных, для описания зависимой переменных проведена сравнительная оценка расчетного и табличного значений критерия Фишера. Данные по адекватности модели (4.8) и (4.9) представлены в таблице 4.5.

$$F_{\text{рас}}^{4.8} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} = \frac{0,987^2}{1-0,987^2} \cdot \frac{27-8-1}{8}; \quad (4.10)$$

$$F_{\text{рас}}^{4.9} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} = \frac{0,941^2}{1-0,941^2} \cdot \frac{27-9-1}{9}. \quad (4.11)$$

Таблица 4.5 – Данные по оценке адекватности модели регрессии (4.8) и (4.9)

№ регрессионной модели	Коэффициент детерминации	Скорректированный коэффициент детерминации	Число наблюдений	Количество значимых факторов модели	Расчетное значение критерия Фишера	Табличное значение критерия Фишера
	R	R^2	n	m	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{табл}} (0,05)$
4.8	0,991	0,987	27	8	84,85	2,510
4.9	0,955	0,941		9	14,6	2,494

Согласно проведенным расчетам, значение F-критерия Фишера для 5 % критического значения регрессионных моделей (4.8) и (4.9) составили $F_{\text{рас}} = 84,85 \geq F_{\text{таб}} = 2,510$ и $F_{\text{рас}} = 14,6 \geq F_{\text{таб}} = 2,494$ соответственно. Так как фактическое значение F-критерия больше табличного, то признается статистическая значимость уравнения в целом.

По результатам полученных регрессионных моделей построены поверхности отклика, характеризующие влияние исследуемых факторов на параметры движения механического очистителя (рисунок 4.5).

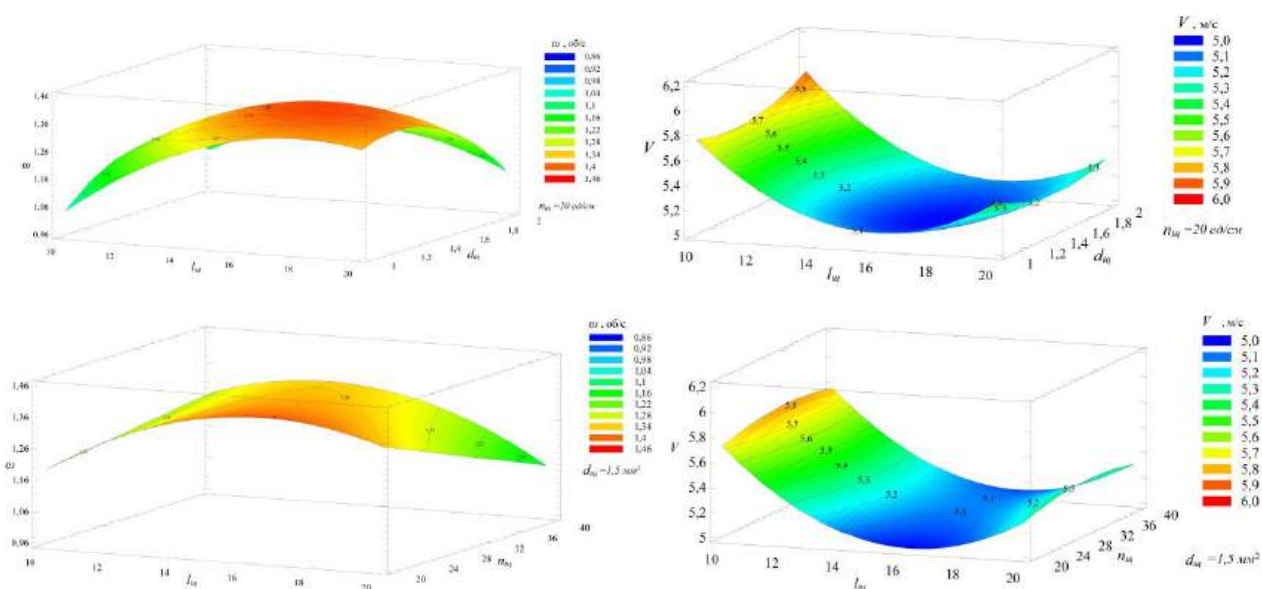


Рисунок 4.5 – Поверхность отклика, характеризующая влияние на критерий оптимизации факторов*:

V_2 – линейная скорость механического очистителя, м/с; ω_2 – частота вращения механического очистителя, об/с; $l_{щ}$ – длина щетины, мм; $n_{щ}$ – плотность щетины, ед/см; $d_{щ}$ – диаметр щетины, мм².

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

В результате анализа поверхностей отклика (рисунок 4.5) графически определено, что при значении фактора $l_{щ}$ (длина щетины) = 10 мм механический очиститель имеет максимальную линейную скорость V_2 и минимальную частоту вращения ω_2 . Согласно нашим исследованиям [65; 130] данный режим движения механического очистителя обладает наименьшей эффективностью по очистке внутренней поверхности молокопровода. Данный факт обусловлен минимальным давлением щетины на стенку молокопровода и, как следствие, минимальным вращательным моментом от спирального расположения чистящего элемента. Вследствие такой конфигурации чистящего элемента белково-жировая пленка практически не повреждается, что и обуславливает минимальный чистящий эффект.

Анализ влияния фактора $n_{щ}$ (плотность щетины) показал, что наилучший эффект на параметры оптимизации достигается при его значении $n_{щ} = 20$ ед/см. Дальнейшее уменьшение этого фактора невозможно по причине появления

разрывов при движении механического очистителя. При увеличении данного фактора пропорционально увеличивается сила трения щетины о стенку и, как следствие, уменьшается частота вращения механического очистителя.

Фактор $d_{щ}$, согласно полученным регрессионным моделям, имеет параболическую зависимость. Данный фактор оказывает минимальное влияние на поверхности отклика.

Согласно диаграммам Парето, наибольшее влияние на параметры оптимизации оказывает фактор $l_{щ}$.

Согласно полученным моделям регрессии, оптимальный результат ($\left\{ \begin{smallmatrix} V \rightarrow \min \\ \omega \rightarrow \max \end{smallmatrix} \right\}$) достигается при следующих значениях факторов: $l_{щ} = 17$ мм, $n_{щ} = 20$ ед/см и $d_{щ} = 1,5$ мм². Точки оптимума графически можно определить и по контурам расчетной поверхности отклика (рисунок 4.6).

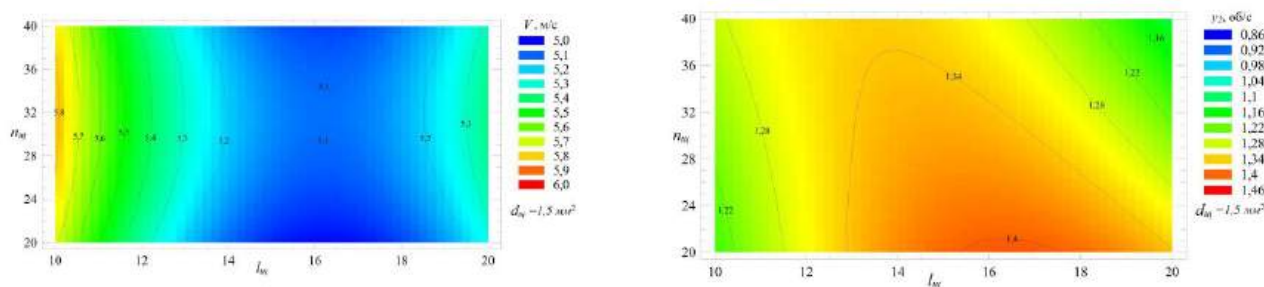


Рисунок 4.6 – Контурные расчетные поверхности отклика*

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

При оптимальных значениях факторов критерии оптимизации равны $V_2 = 5$ м/с и $\omega_2 = 1,42$ с⁻¹. Из-за относительно высокой линейной скорости остается необходимость подачи минимум 3 механических очистителей за цикл промывки и, как следствие, в автоматизации подачи механических очистителей.

Таким образом, усовершенствованный в результате экспериментальной деятельности механический очиститель с активными рабочими органами будет достигать оптимальных параметров очистки внутренней стенки молокопровода при длине щетины, равной 17 мм, плотности ее размещения в 20 ед./см и диаметре 1,5 мм.

4.3 Результаты определения силы трения чистящей поверхности о внутреннюю поверхность молокопровода механических очистителей различного типа

Лабораторные исследования проводились согласно методике, описанной в пункте 3.3, на базе лабораторий ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет». При определении силы трения в качестве объекта исследования применялся поролоновый пыж диаметром 70 мм и механические очистители с рациональными параметрами, обоснованными в пункте 4.1 и 4.2.

Из-за сложной геометрической формы корпуса механического очистителя и чистящей поверхности теоретически обосновать силу трения практически невозможно. Для её определения был проведен ряд лабораторных исследований.

Результаты исследований линейной составляющей сил трения механических очистителей различного типа представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты исследований линейной составляющей силы трения

Тип механического очистителя	Значение сил, Н						Среднее значение, Н	
	Для прямого отрезка молокопровода			Для углового элемента			Для прямого отрезка молокопровода	Для углового элемента
	I	II	III	I	II	III		
Поролоновый пыж	5,9	6,3	6,4	10,2	10,5	10,3	6,2	10,3
Активный МО с поролоновым чистящим элементом	4,8	4,9	4,9	13,2	13,7	13,7	4,9	13,5
Активный МО с чистящим элементом из щетины	3,3	3,5	3,4	6,3	6,1	5,7	3,4	6

Графики сил, полученных при проведении испытаний механических очистителей различного типа, представлены на рисунке 4.7.

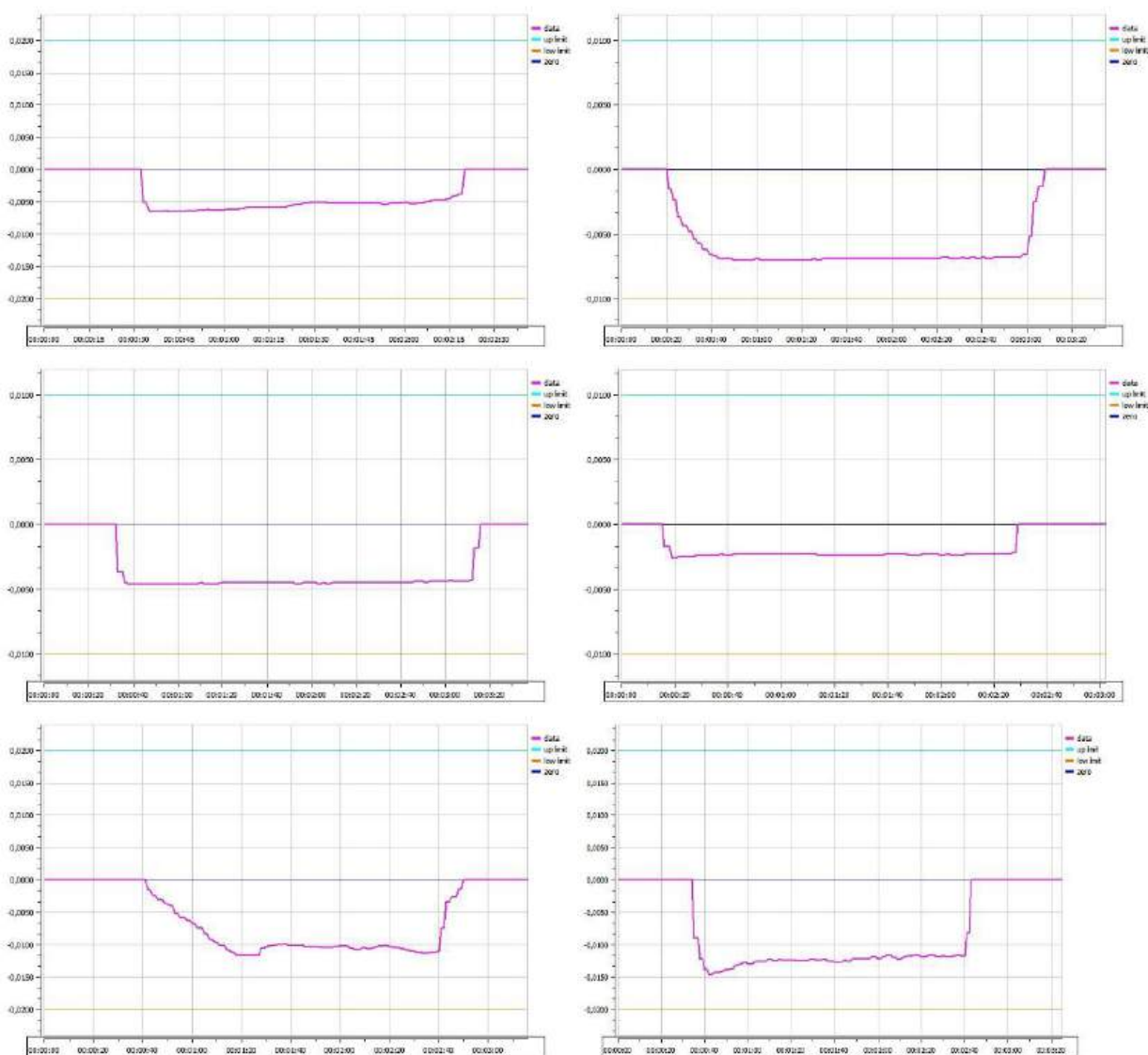


Рисунок 4.7 – Результаты измерений линейной составляющей силы трения*

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

Согласно полученным расчетам, наибольшее сопротивление движению и, как следствие, удельное касательное напряжение на стенку молокопровода оказывает поролоновый пыж со средним значением для прямолинейного участка в 6,2 Н. При этом стоит отметить, что поролоновый пыж движется линейно и, как следствие, у него нет силы трения от вращения, как у двух других образцов.

Определение силы давления на стенку производилось по методике, описанной в пункте 3.7. Пример проведения измерений представлен на рисунке 4.8.

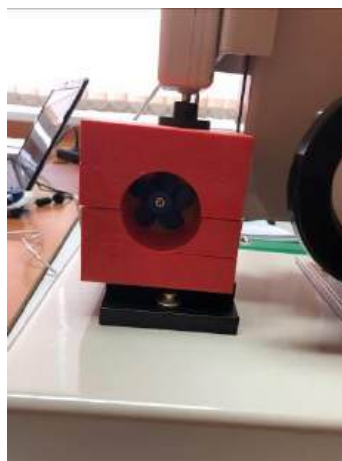


Рисунок 4.8 – Пример проведения исследований силы давления механического очистителя на стенку молокопровода*

*Источник: фотография автора

Результаты измерений представлены в таблице 4.7. С целью уменьшения ошибки каждое измерение проводилось с трехкратным повторением и находилось среднее значение показателя.

Таблица 4.7 – Результаты исследований силы давления механического очистителя (МО) на стенку молокопровода

Тип механического очистителя	Значение сил, Н			Среднее значение, Н
	I	II	III	
Поролоновый пыж	8,2	7,7	8,1	8,0
Активный МО с поролоновым чистящим элементом	7,3	7,7	7,6	7,5
Активный МО с чистящим элементом из щетины	18,6	19,2	18,8	18,9

Согласно полученным результатам, наибольшее усилие, создаваемое механическим очистителем на стенку молокопровода, оказывает механический очиститель с чистящим элементом из щетины. Наибольшее значение на данный показатель оказывают геометрические параметры механического очистителя и жесткость чистящего элемента.

Определение силы трения, возникающей вследствие вращения механического очистителя, проводилось по методике, описанной в пункте 3.7, а результаты измерений представлены в таблице 4.8. Значение отклонения вследствие действия силы тяжести вспомогательного элемента Δ производилось

по формуле 3.6. Расчет силы трения, возникающей вследствие вращения $F_{тр}^{вр}$, проводился по формуле 3.7. Пример проведения измерений представлен на рисунке 4.9. Длина плеча составляла 100 мм.



Рисунок 4.9 – Определение силы давления механического очистителя на стенку молокопровода, возникающей вследствие его вращения*

*Источник: фотография автора

Таблица 4.8 – Результаты исследований силы давления механического очистителя (МО) на стенку молокопровода, возникающей вследствие его вращения

Тип механического очистителя	Давление, МПа									Среднее значение, МПа	Сила трения возникающая вследствие вращения $F_{тр}^{ep}$, Н
	I			II			III				
	M_1	M_2	Δ	M_1	M_2	Δ	M_1	M_2	Δ		
МО с поролоновым чистящим элементом	1,3	1,3	0	1,4	1,3	0,1	1,6	1,5	0,1	1,38	0,014
Активный МО с чистящим элементом из щетины	1	1	0	1,1	1,0	0,1	1	1	0	1,00	0,01

Наибольшая сила трения при вращении возникает у механического очистителя с поролоновым чистящим элементом, что обусловлено большей площадью соприкосновения.

Обобщение результатов лабораторных исследований сил трения, возникающих при движении механического очистителя, приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Значение сил, влияющих на результирующую силу трения механического очистителя на стенку молокопровода

Тип механического очистителя	Масса механического очистителя m , кг	Частота вращения ω , с^{-1}	Линейная скорость V , м/с	Угол β между силами	Линейная составляющая силы трения $F_{тр}^{лин}$, Н	Сила упругости $F_{упр}$, Н	Центробежные силы $F_{центр}$, Н	Сила трения возникающая вследствие вращения $F_{тр}^{вр}$, Н	Результирующая сила трения, создаваемая механическим очистителем $F_{тр}$, Н
Поролоновый пыж		0	0,72	-	6,2	8,0	0	0	8,96
МО с поролоновым чистящим элементом	0,0225	1,317	0,576	0,36	4,9	7,5	0,01	0,014	12,41
МО с чистящим элементом из щетины	0,02	1,403	0,54	0,41	3,4	18,9	0,01	0,01	22,3

Таким образом, в результате лабораторных исследований наибольшую силу трения, создаваемую между стенками молокопровода и чистящей поверхностью механического очистителя, показал МО с чистящим элементом из щетины.

4.4 Исследование влияния зависимости линейной скорости и частоты вращения устройства очистки от вакуумметрического давления

Для определения зависимости линейной скорости и частоты вращения механических очистителей от вакуумметрического давления в молокопроводе

проведены производственные испытания двух видов механических очистителей:

1. Механический очиститель, разработанный Матвеевым В.Ю. [56], выступающий прототипом.

2. Усовершенствованный механический очиститель с рациональными параметрами, обоснованными в пункте 4.1 и 4.2.

Результаты исследования представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Результаты исследования зависимости линейной скорости и частоты вращения устройства очистки от вакуумметрического давления

№ п/п	Вакуумметрическое давление, кПа	Вид механического очистителя			
		стандартный		модернизированный	
		Частота вращения, мин ⁻¹	Линейная скорость, м/с	Частота вращения, мин ⁻¹	Линейная скорость, м/с
1	5	1,4	0,15	1,8	0,1
2	10	2,2	0,5	2,8	0,4
3	15	2,85	1	3,4	0,8
4	20	3,2	1,5	3,8	1,3
5	25	3,07	2	3,9	1,6
6	30	2,57	2,7	3,9	2,2
7	35	1,98	3,5	3,5	3
8	40	1,38	4,5	2,5	4
9	45	0,67	5,7	1,62	4,7
10	50	0,32	6,2	1,22	5
11	55	0	6,3	0,85	5,1
12	60	0	6,5	0,8	5,17
13	65	0	6,55	0,73	5,2
14	70	0	6,6	0,71	5,2

По полученным результатам был построен график зависимости линейной скорости и частоты вращательного движения от вакуумметрического давления (рисунок 4.10).

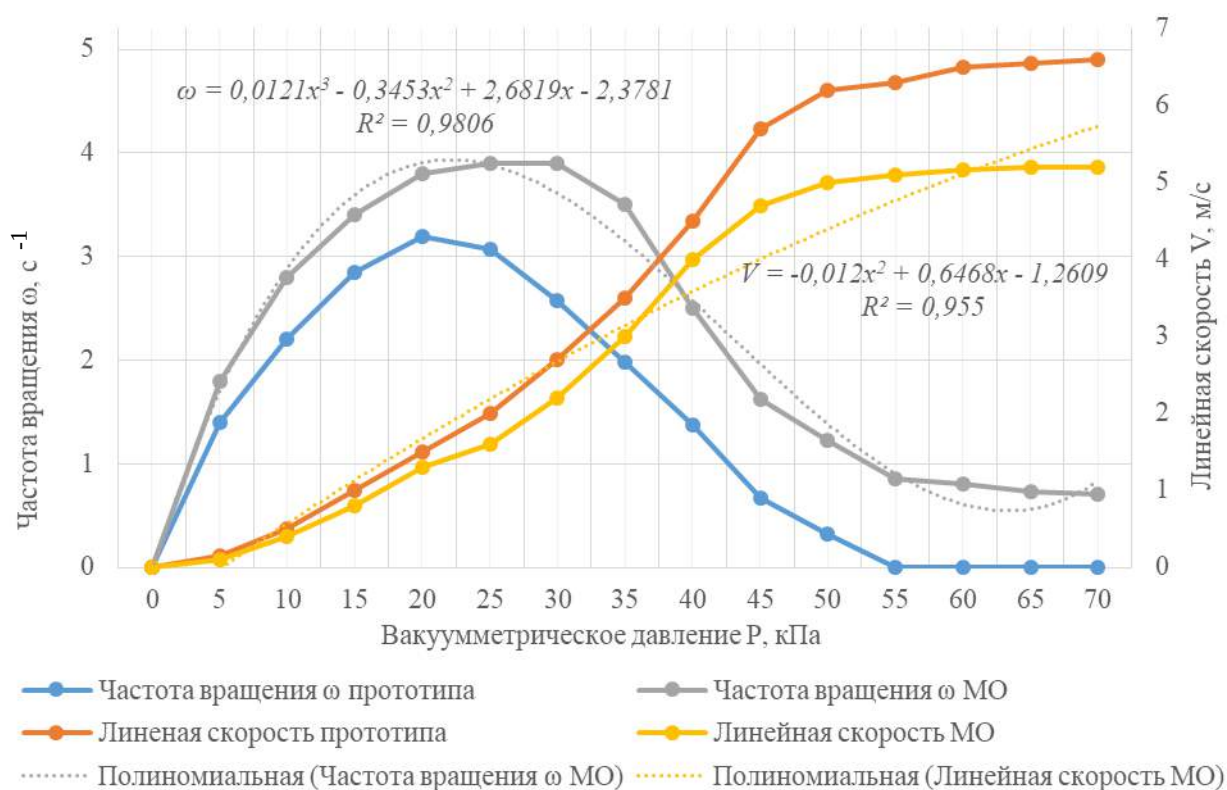


Рисунок 4.10 – График зависимости линейной скорости и частоты вращательного движения от вакуумметрического давления*

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

Оптимальной величиной вакуума для устройства предыдущей конструкции (на графике ПЧ) является 20 кПа [56]. Однако при этом значении гидравлическое воздействие моющего раствора недостаточное, а при его увеличении пыж резко снижает частоту вращения и переходит только на линейное движение. Усовершенствованные механические очистители за счет наличия спиральных отверстий позволяют увеличить значения вакуума до 40–45 кПа при одной и той же частоте вращения. Данное значение вакуума является номинальным для большинства дольных установок, что позволяет не проводить регулировку при смене режима работы доильной установки. Также повышение вакуумметрического давления приводит к увеличению скорости движения моющего раствора и усилению турбулентности потока, что усиливает гидравлическое воздействие моюще-дезинфицирующего раствора.

4.5 Исследование зависимости качества санитарной обработки от количества подаваемых механических очистителей

Бактериальное обсеменение внутренней поверхности зависит не только от температуры моющего раствора, его концентрации и времени циркуляции, но и от типа и количества подаваемых механических очистителей.

С целью определения оптимального количества подаваемых очистителей было проведено планирование эксперимента и выбран критерий оптимизации – η минимальное значение КМАФАнМ [59; 64].

В качестве факторов были выбраны следующие показатели: количество подаваемых механических очистителей и их тип (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Интервалы и уровни варьирования факторов, исследуемых при обосновании типа и количества механических очистителей

Наименование и обозначение фактора		Количество подаваемых очистителей N , шт.	Тип очистителя, k
Уровни варьирования факторов	количество уровней	6	3
	принятые значения	1	1) поролоновый пыж
		2	2) механический очиститель с поролоновой чистящей поверхностью
		3	3) механический очиститель с чистящей поверхностью из щетины
		4	
		5	
		6	

Значения фактора N приняты по результатам анализа предыдущих исследований и имели значение 1–6 с интервалом варьирования, равным 1. Значение фактора k приняты с целью проверки механических очистителей с активными рабочими органами в сравнении с традиционно применяемыми поролоновыми пыжами.

В качестве критерия оптимизации было принято количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), определяемое посредством смывов с внутренней поверхности молокопровода доильной установки непосредственно перед рабочим циклом при трехразовом доении (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Пример проб с использованием микробиологического экспресс-теста «Биоконтроль»*

*Источник: фотография автора

Для обработки результатов использовался программный комплекс Statgraphics 19 [59; 64]. При определении значимости факторов незначимым оказался фактор Nk (приложение Е).

Оценка значимости эффектов проводилась по критерию p , большие 0,05, имеют следующие эффекты: N , k , N^2 , k^2 . Наибольшую значимость имеет N .

После исключения незначимых факторов получена регрессионная модель при 95 % доверительной вероятности:

$$\eta = 2,38378 - 0,38231 \cdot N + 1,74417 \cdot k + 0,0265476 \cdot N^2 - 0,559167 \cdot k^2. \quad (4.12)$$

Оценка адекватности регрессионной модели проводилась по коэффициенту детерминации R^2 , который равнялся 93,12 %. С учетом этого построенная модель может быть применима для описания изучаемого процесса.

Для оценки соответствия регрессионной модели 4.12, выражающей зависимость между переменными, экспериментальными данными и достаточностью, включенных в уравнение переменных, для описания зависимой переменных проведена сравнительная оценка расчетного и

табличного значений критерия Фишера. Данные по адекватности модели (4.12) представлены в таблице 4.12.

$$F_{рас}^{4.12} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} = \frac{0,9667^2}{1-0,9667^2} \cdot \frac{18-4-1}{4}. \quad (4.13)$$

Таблица 4.12 – Данные по оценке адекватности модели регрессии (4.12)

№ регрессионной модели	Коэффициент детерминации	Скорректированный коэффициент детерминации	Число наблюдений	Количество значимых факторов модели	Расчетное значение критерия Фишера	Табличное значение критерия Фишера
	R	R^2	n	m	$F_{расч}$	$F_{табл} (0,05)$
4.12	0,9745	0,9667	18	4	46,37	3,179

Согласно проведенным расчетам, значение F-критерия Фишера для 5 % критического значения регрессионной модели (4.12) составило $F_{рас} = 46,37 \geq F_{таб} = 3,179$. Так как фактическое значение F-критерия больше табличного, то признается статистическая значимость уравнения в целом.

На основании полученной модели регрессии построены поверхности отклика, характеризующие влияние исследуемых факторов на эффективность работы механических очистителей (рисунок 4.12).

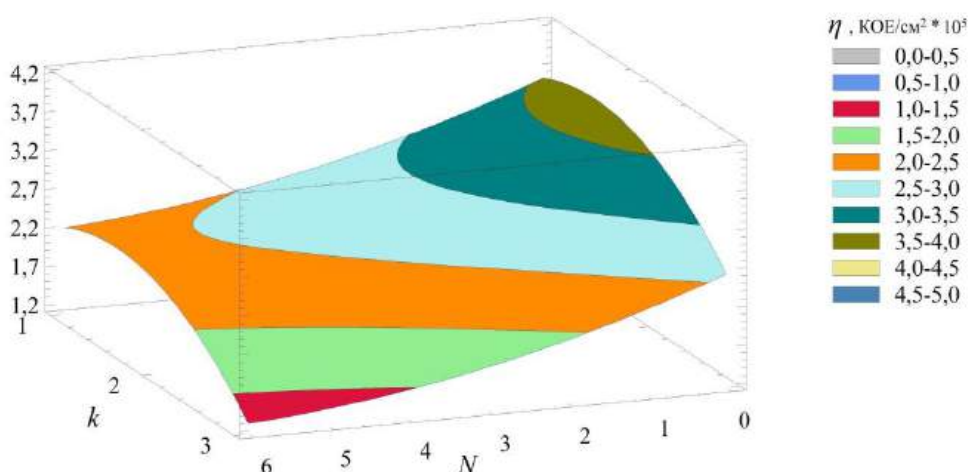


Рисунок 4.12 – Поверхность отклика, характеризующая влияние на критерий оптимизации факторов*:

η – уровень КМАФАНМ, KOE/cm² 10⁵; N – количество подаваемых механических очистителей, шт.; k – тип механических очистителей

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

Из анализа поверхности (рисунок 4.12) видно, при увеличении количества подаваемых очистителей (фактор N) происходит уменьшение критерия оптимизации η . Также стоит отметить, что эффективность механического очистителя с поролоновой чистящей поверхностью ($k = 2$) значительно ниже по сравнению с механическим очистителем с чистящей поверхностью из щетины ($k = 3$).

Минимальный уровень бактериального обсеменения возможен при максимальном количестве подаваемых очистителей с активными рабочими органами из щетины.

Однако следует отметить, что оптимальными значениями факторов N и k являются 4 механических очистителя с чистящей поверхностью из щетины. Графически точку оптимума можно определить по контуру расчетной поверхности отклика (рисунок 4.13).

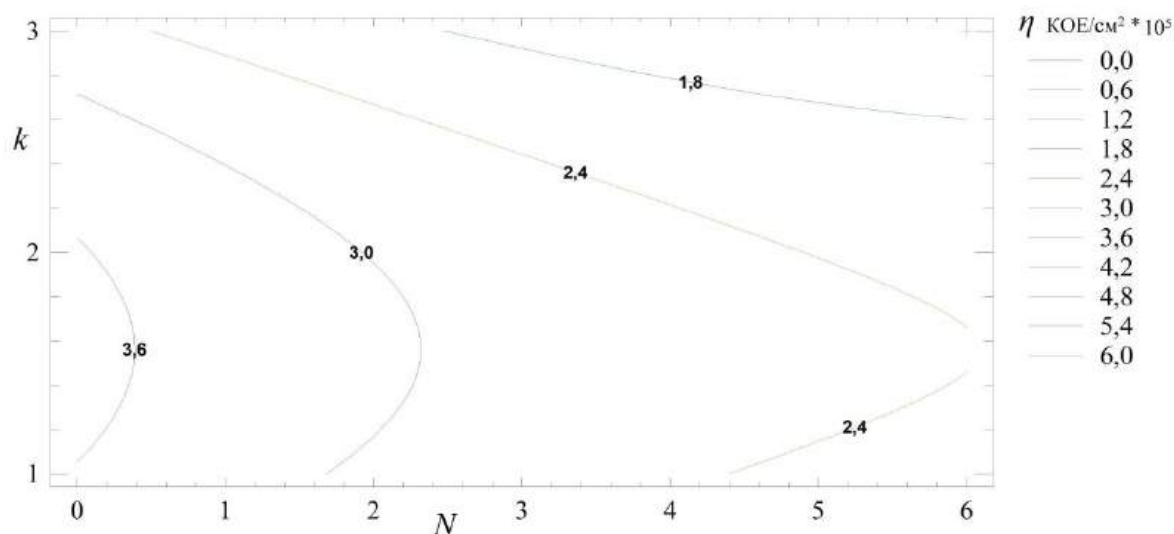


Рисунок 4.13 – Двумерное сечение поверхности отклика*:

η – уровень КМАФАнМ, КОЕ/см² * 10⁵; N – количество подаваемых механических очистителей, шт.;

k – тип механических очистителей

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

Таким образом, по результатам анализа полученной регрессионной модели можно сделать следующие выводы:

1. Использование механических очистителей для циркуляционной

промывки доильных установок является эффективным мероприятием и позволяет снизить уровень бактериальной обсеменённости внутренней поверхности доильной установки более чем на 30 %.

2. Максимальный чистящий эффект достигается при подаче 6 механических очистителей, однако из-за снижения эффективности оптимальным их числом являются 4 шт.

3. Из трех рассматриваемых конструкций механических очистителей наибольшую эффективность показал механический очиститель с чистящей поверхностью из щетины.

4. Использование механических очистителей совместно с традиционными способами санитарной обработки доильных установок позволяет достичь уровня КМАФАнМ значительно ниже пороговых значений, установленных нормативной документацией. Поэтому при применении механических очистителей появляется возможность сократить продолжительность санитарной обработки и объем моюще-дезинфицирующего раствора.

4.6 Исследование зависимости качества очистки от времени подачи механических очистителей

Основным этапом промывки доильной установки является циркуляционная мойка с моюще-дезинфицирующим раствором, так как непосредственно на этом этапе удаляется наибольшая часть загрязнений с внутренней поверхности молокопровода. С целью обоснования параметров подачи очистителей на этом этапе было проведено планирование эксперимента и выбран критерий оптимизации – η минимальное значение КМАФАнМ.

В качестве факторов были выбраны следующие показатели: время подачи механического очистителя t_1 и интервал времени между смежными механическими очистителями Δt (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Интервалы и уровни варьирования факторов, исследуемых при обосновании типа и количества механических очистителей

Наименование и обозначение фактора		Время подачи t_1 , мин	Интервал времени между смежными МО Δt , мин
Уровни варьирования факторов	min	1	0
	max	21	2
Интервал варьирования факторов Δx_i		5	0,5

Значение фактора t_1 соответствовали времени подачи первого механического очистителя и варьирует в интервале от 1 до 21 мин с шагом в 5 мин. Выбор минимального значения фактора t_1 обусловлен необходимостью обеспечения смачиваемости белко-жировой пленки моюще-дезинфицирующим раствором. Верхняя граница обусловлена необходимостью запуска всех механических очистителей из устройства подачи.

Значение фактора Δt 0–2 мин с интервалом 0,5 мин принималось с целью определения влияния оптимального временного интервала между запуском механических очистителей. Данное время необходимо для обеспечения взаимодействия моюще-дезинфицирующего раствора с загрязнением.

В качестве критерия оптимизации было принято количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), определяемое посредством смывов с внутренней поверхности молокопровода доильной установки непосредственно перед рабочим циклом при трехразовом доении.

По результатам обработки экспериментальных данных с помощью программного комплекса Statgraphics 19 было выявлено, что факторы Δt и $t_1 \Delta t$ не оказывают существенного влияния на критерий оптимизации (приложение Е).

Оценка значимости эффектов проводилась по критерию p ; больше 0,05 имеют эффекты t_1^2 , t_1 и Δt^2 . Наибольшую значимость имеет t_1 .

После исключения незначимых факторов получена регрессионная модель при 95 % доверительной вероятности:

$$\eta = 131,314 - 1,17771 \cdot t - 24,9143 \cdot \Delta t + 0,217714 \cdot t + 12,4571 \cdot \Delta t^2. \quad (4.14)$$

Оценка адекватности регрессионной модели проводилась по коэффициенту детерминации R^2 , который равнялся 98,96 %, что означает, что построенная модель может быть применима для описания изучаемого процесса.

Для оценки соответствия регрессионной модели (4.14), выражающей зависимость между переменными, экспериментальными данными и достаточностью включенных в уравнение переменных, для описания зависимости переменных проведена сравнительная оценка расчетного и табличного значений критерия Фишера. Данные по адекватности модели (4.12) представлены в таблице 4.14.

$$F_{pac}^{4.14} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m} = \frac{0,9898^2}{1 - 0,9898^2} \cdot \frac{18 - 4 - 1}{4}. \quad (4.15)$$

Таблица 4.14 – Данные по оценке адекватности модели регрессии (4.14)

№ регрессионной модели	Коэффициент детерминации	Скорректированный коэффициент детерминации	Число наблюдений	Количество значимых факторов модели	Расчетное значение критерия Фишера	Табличное значение критерия Фишера
	R	R^2	n	m	$F_{расч}$	$F_{табл} (0,05)$
4.14	0,9911	0,9898	18	4	241,3	3,179

Согласно проведенным расчетам, значение F-критерия Фишера для 5 % критического значения регрессионной модели (4.14) составило $F_{pac} = 241,3 \geq F_{таб} = 3,179$. Так как фактическое значение F-критерия больше табличного, то признается статистическая значимость уравнения в целом.

На основании полученной модели регрессии построены поверхности отклика, характеризующие влияние исследуемых факторов на эффективность санитарной обработки доильной установки (рисунок 4.14).

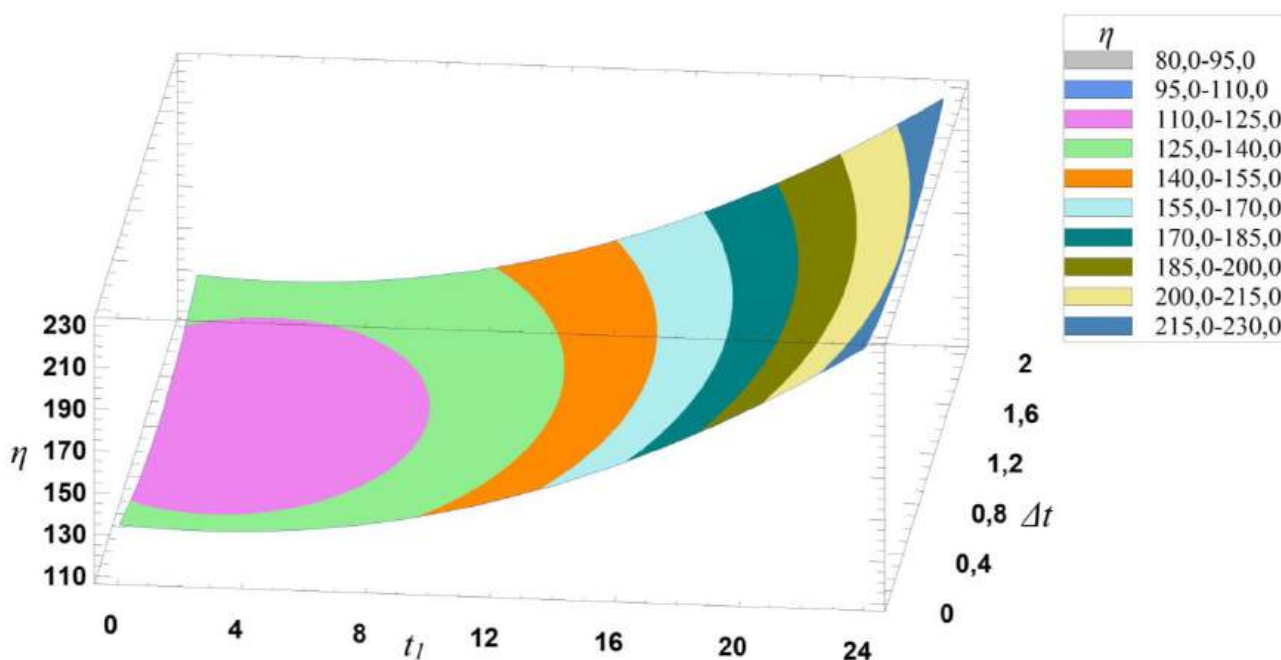


Рисунок 4.14 – Поверхность отклика, характеризующая влияние на критерий оптимизации факторов*:

η – уровень КМАФАНМ, КОЕ/см²10³; t_1 – время подачи 1 МО, мин;

Δt – интервал времени между смежными МО, мин

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

При анализе поверхности отклика заметно, что регрессионная кривая времени подачи механического очистителя (фактора t_1) имеет форму параболы. При оценке отклика фактора Δt можно отметить, что с уменьшением интервала времени между подаваемыми механическими очистителями Δt значение параметра оптимизации принимает оптимальное значение.

Оптимальное значение критерия оптимизации, то есть минимальный уровень бактериального обсеменения, достигается при подаче 4 механических очистителей спустя 2,7 мин от начала цикла циркуляционной промывки с интервалом времени в 1 мин.

Графически точку оптимума можно определить по контуру расчетной поверхности отклика (рисунок 4.15).

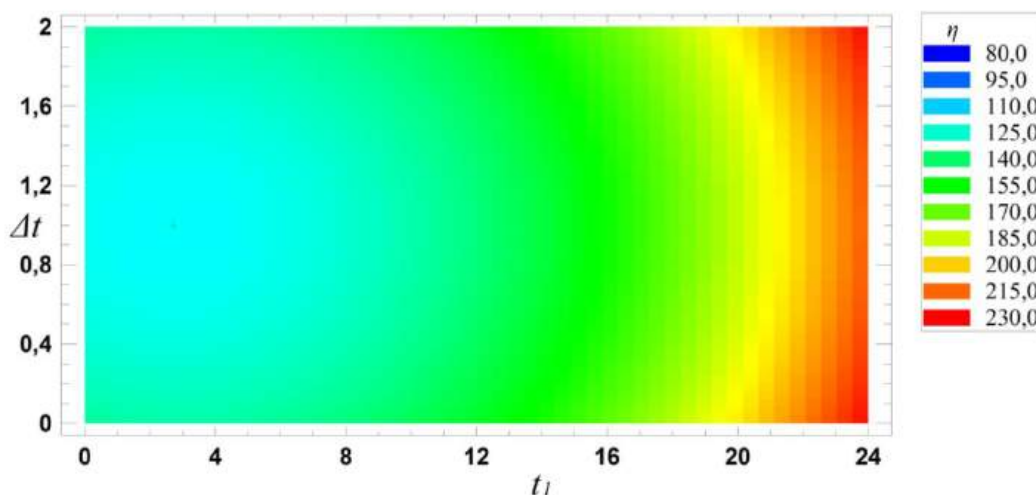


Рисунок 4.15 – Двумерное сечение поверхности отклика*:

η – уровень КМАФАНМ КОЕ/см² 10³; t_l – время подачи механического очистителя;

Δt – интервал времени между смежными механическими очистителями.

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что минимальное значение КМАФАНМ на смывах с внутренней поверхности молокопровода достигается при подаче в такте циркуляционной промывки механических очистителей с активным рабочим органом спустя 2,7 мин от начала цикла и интервалом времени в 1 мин.

4.7 Исследование зависимости необходимого объема моюще-дезинфицирующего раствора и времени его циркуляции от количества механических очистителей

С целью определения влияния количества подаваемых механических очистителей с активными рабочими органами на объем моюще-дезинфицирующего раствора и время его циркуляции было проведено планирование многофакторного эксперимента, где в качестве критерия оптимизации был выбран минимальный уровень КМАФАНМ.

Интервалы и уровни варьирования факторов представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Интервалы и уровни варьирования факторов, исследуемых при обосновании необходимого объема моюще-дезинфицирующего раствора и времени его циркуляции

Наименование и обозначение фактора		Объем V , л	Время циркуляции t , мин	Кол-во МО, n_m шт
Уровни варьирования факторов	min	130	20	0
	max	180	30	4
Интервал варьирования факторов Δx_i		25	5	1

Значение фактора V соответствовали объему моюще-дезинфицирующего раствора, используемого при циркуляционной промывке, и варьируется в интервале от 130 до 180 л с шагом в 25. Дальнее уменьшение объема не допустимо из-за условия реализации пробкового турбулентного движения жидкости.

В значение фактора t входило только время циркуляционной промывки. Фактор t принимал значения 20–30 мин с интервалом варьирования 5 мин. Дальнейшее уменьшение фактора недопустимо, так как достигнуто минимальное рекомендованное значение производителем моющих средств. Дальнейшее уменьшение времени приведет к снижению эффективности чистящего действия кислотных и щелочных моющих средств.

Значение фактора n_m было выбрано на основе предыдущих исследований и варьировало в диапазоне от 0 до 4 ед.

В качестве критерия оптимизации было принято количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). Методика определения описана в пункте 3.3 данной работы.

По результатам обработки экспериментальных данных с помощью программного комплекс Statgraphics 19 было выявлено, что факторы V^2 , $V t$, $V n_m$, t^2 и n_m^2 не оказывают существенного влияния на критерий оптимизации.

Оценка значимости эффектов проводилась по критерию p (больше 0,05) имеют следующие эффекты: V , t , n_m и $t \cdot n_m$. Анализ диаграммы Парето показал, что наибольшее влияние на критерий оптимизации оказывает фактор n_m .

После исключения незначимых факторов получена регрессионная модель при 95 % доверительной вероятности (приложение Е):

$$\eta = 621,274 - 0,862667 \cdot V - 8,42 \cdot t - 56,41 \cdot n_m + 1,59667 \cdot t n_m - 2,15873 \cdot n_m^2. \quad (4.16)$$

Оценка адекватности регрессионной модели проводилась по коэффициенту детерминации R^2 , который равнялся 98,91 %, т.е. построенная модель может быть применима для описания изучаемого процесса.

Для оценки соответствия регрессионной модели (4.16), выражающей зависимость между переменными, экспериментальным данным и достаточностью включенных в уравнение переменных, для описания зависимой переменных проведена сравнительная оценка расчетного и табличного значений критерия Фишера. Данные по адекватности модели (4.14) представлены в таблице 4.16.

$$F_{рас}^{4.14} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m} = \frac{0,9877^2}{1 - 0,9877^2} \cdot \frac{45 - 4 - 1}{4}. \quad (4.17)$$

Таблица 4.16 – Данные по оценке адекватности модели регрессии (4.16)

№ регрессионной модели	Коэффициент детерминации	Скорректированный коэффициент детерминации	Число наблюдений	Количество значимых факторов модели	Расчетное значение критерия Фишера	Табличное значение критерия Фишера
	R	R^2	n	m	$F_{расч}$	$F_{табл} (0,05)$
4.14	0,9891	0,9877	45	4	399	2,606

Согласно проведенным расчетам, значение F -критерия Фишера для 5 % критического значения регрессионной модели (4.14) составило $F_{рас} = 399 \geq F_{таб} = 2,606$. Так как фактическое значение F -критерия больше табличного, то признается статистическая значимость уравнения в целом.

На основании полученной модели регрессии построены поверхности отклика, характеризующие влияние исследуемых факторов на эффективность санитарной обработки доильной установки (рисунок 4.16 и 4.17).

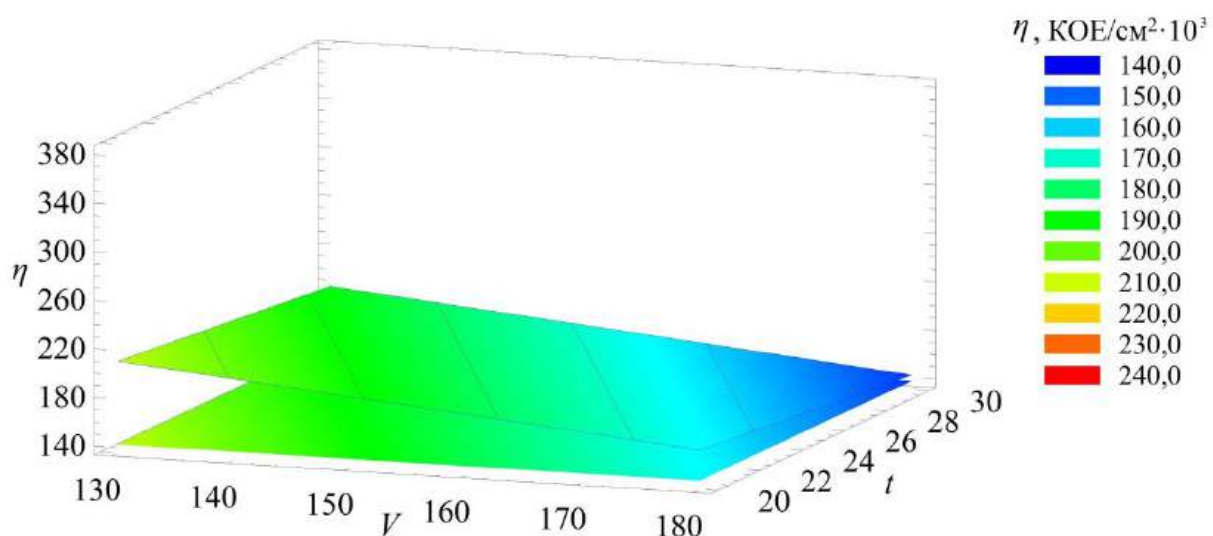


Рисунок 4.16 – Поверхности отклика, характеризующие влияние на критерий оптимизации факторов ($n_m = 4$)*:

η – уровень КМАФАнМ, КОЕ/см²·10⁴; V – объем моюще-дезинфицирующего раствора, л, мин;

t – время циркуляции, мин; n_m – количество применяемых механических очистителей, мин

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

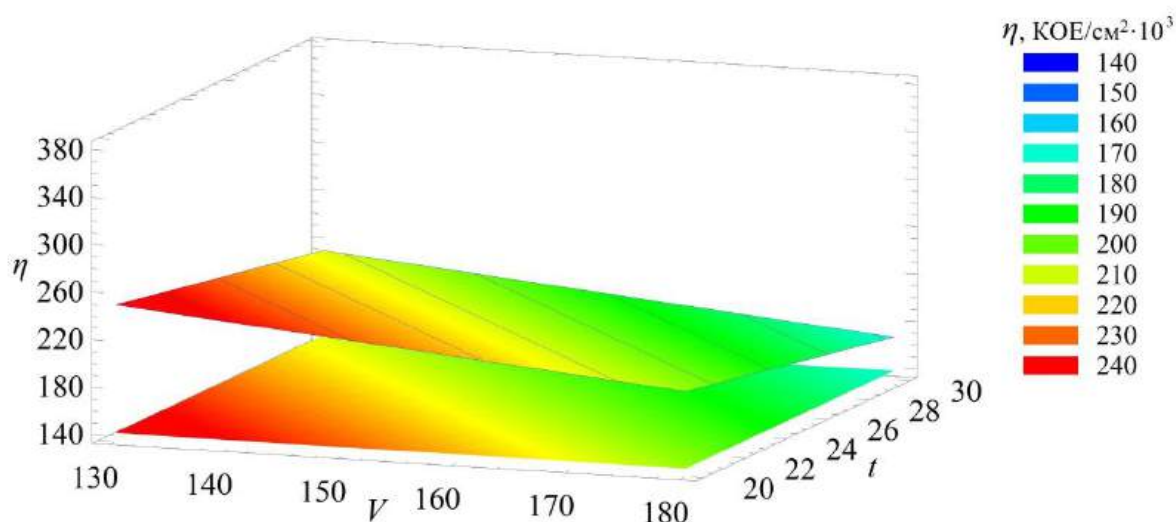


Рисунок 4.17 – Поверхности отклика, характеризующие влияние на критерий оптимизации факторов ($n_m = 3$)*:

η – уровень КМАФАнМ, КОЕ/см²·10⁴; V – объем моюще-дезинфицирующего раствора, л, мин;

t – время циркуляции, мин; n_m – количество применяемых механических очистителей, мин

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

При анализе поверхности отклика (рисунок 4.17) видно, что регрессионная кривая уровня КМАФАнМ имеет сложную нелинейную зависимость от факторов V и t с возможным взаимодействием между ними. Также стоит отметить, что поверхность имеет плавный наклон в результате отрицательной корреляции факторов V и t . Форма поверхности также свидетельствует о большем влиянии на отклик фактора V .

По данным исследований, проводимых Ю.А. Ушаковым [110], уровень бактериального загрязнения доильной установки (на примере УДМ-200) после промывки для получения молока высшего сорта не должен превышать $500 \cdot 10^3$ КОЕ/см². Однако согласно результатам экспресс-теста «Биоконтроль» допустимым уровнем КМАФАнМ является 220 – 240 10^3 КОЕ/см².

Согласно допустимому уровню бактериальной обсеменённости смывов внутренней поверхности молокопроводов достигается при подаче 4 механических очистителей с активными рабочими органами и циркуляции 151,185 л моюще-дезинфицирующего раствора в течение 20,38 мин. При использовании только 3 механических очистителей с активными органами на этапе циркуляционной промывки время циркуляции увеличивается до 22,5 мин.

Графически точку оптимума можно определить по контуру расчетной поверхности отклика (рисунки 4.18 и 4.19).

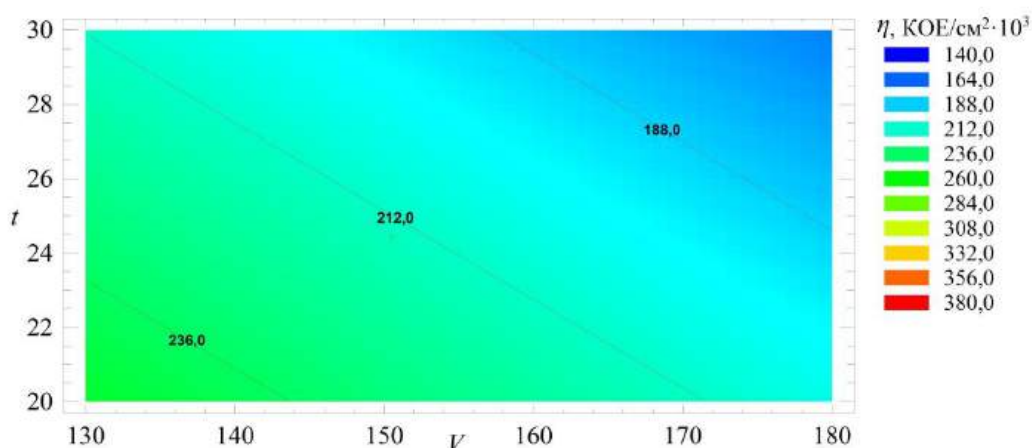


Рисунок 4.18 – Двумерное сечение поверхности отклика ($n_m = 3$)*:

η – уровень КМАФАнМ, КОЕ/см² · 10⁴; V – объем моюще-дезинфицирующего раствора, л, мин;

t – время циркуляции, мин; n_m – количество применяемых механических очистителей, мин

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

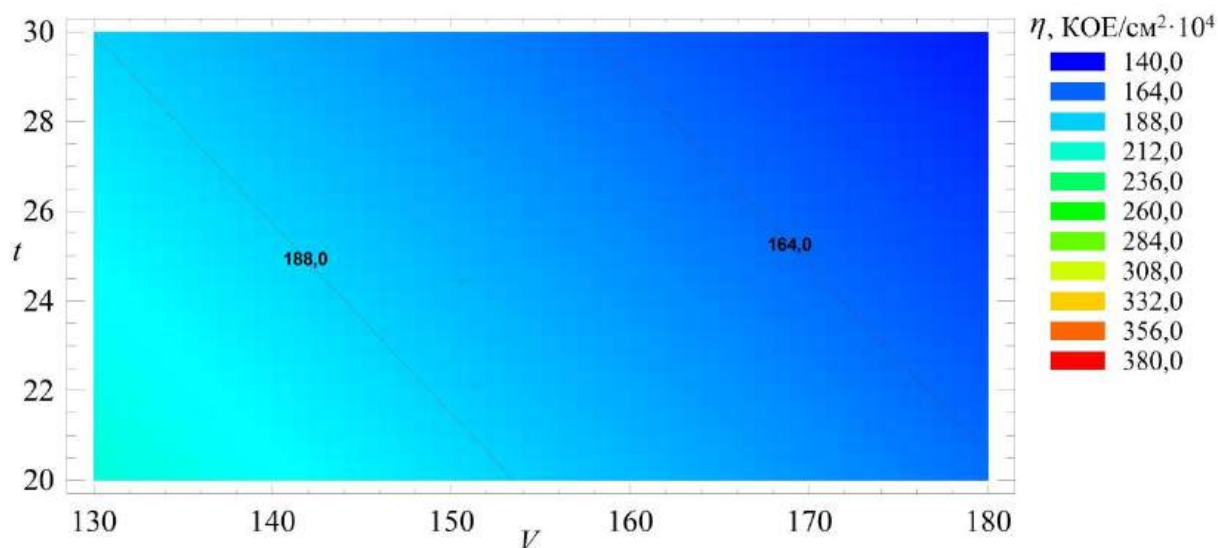


Рисунок 4.19 – Двумерное сечение поверхности отклика ($x_3 = 4$):

η – уровень КМАФАнМ, КОЕ/см²·10⁴; V – объем моюще-дезинфицирующего раствора, л, мин;

t – время циркуляции, мин; n_m – количество применяемых механических очистителей, мин

*Источник: получено автором на основе результатов исследования

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что оптимальный результат достигается при применении 4 механических очистителей с активными рабочими органами и циркуляции 151 л моюще-дезинфицирующего раствора в течение 20 мин.

4.8 Выводы

1. В результате проведенных исследований выявлены оптимальные параметры очистки внутренней стенки молокопровода, которые достигаются при наличии в его корпусе 3 перепускных каналов диаметром 8 мм, совершающих 0,5 витка, и чистящей поверхностью с длиной щетины равной 17 мм, плотностью ее размещения в 20 ед./см и диаметре 1,5 мм. В результате оптимизации конструктивно-технологических параметров корпуса и чистящей поверхности механического очистителя при вакууме 48 кПа линейная скорость составила 4,7 м/с (-17,5 % по сравнению с прототипом), а частота вращения – 1,62 с⁻¹ (+58,6 % по сравнению с прототипом).

2. В результате лабораторных исследований определена сила трения, создаваемая между стенками молокопровода и чистящей поверхностью механического очистителя различного типа, которая составила 22,3 Н для механического очистителя с чистящим элементом из щетины, 12,41 Н для механического очистителя с чистящим элементом из поролон и 8,96 Н для поролонового пыжа. Согласно полученным результатам наибольшую силу трения создают механические очистители с чистящим элементом из щетины.

3. С целью оценки зависимости качества санитарной обработки от количества и типа подаваемых механических очистителей для достижения допустимого качества санитарной обработки ($2 - 2,5 \cdot 10^5$ КОЕ/см²) необходима подача

1–2 механических очистителей с чистящей поверхностью из щетины или 5–6 механических очистителей с чистящей поверхностью из поролон. Максимальный чистящий эффект достигается при подаче 6 механических очистителей, однако из-за снижения эффективности оптимальным их числом является 4 – 5 шт.

4. Минимальное значение КМАФАнМ на смывах с внутренней поверхности молокопровода достигается при подаче в такте циркуляционной промывки моюще-дезинфицирующего раствора объемом в 180 литров и дополнительного использования 4 механических очистителей с активным рабочим органом спустя 7,7 минут от начала работы автомата или спустя 2,7 минуты от начала циркуляционной промывки.

5. Оптимальный результат санитарной обработки достигается при применении 4 механических очистителей с чистящей поверхностью из щетины и циркуляции 151 л моюще-дезинфицирующего раствора в течение 20 минут.

ГЛАВА 5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АПРОБАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

5.1 Производственная апробация усовершенствованной системы очистки молокопроводов доильной установки

Производственную проверку эффективности применения усовершенствованной системы очистки молокопроводов доильной установки на основе устройства подачи модернизированных механических очистителей с активными рабочими органами проводили на молочно-товарной ферме СПК «Заря» Пильнинского муниципального округа Нижегородской области в коровнике на 204 головы с привязной формой содержания.

В рамках эксперимента были сформированы две группы коров одинаковой численности – по 102 животных в каждой. Контрольную группу разместили в первых двух рядах животноводческого помещения. Эксплуатация доильного оборудования осуществлялась в соответствии с параметрами, регламентированными руководством по эксплуатации [56; 109].

Опытная группа (102 головы) была размещена в первом ряду стойл коровника. При сохранении заводской комплектации молочной линии доильной установки применялась усовершенствованная технология с внедрением устройства подачи модернизированных механических очистителей с активными чистящими органами из щетины.

Конструктивно молокопроводы доильной установки изготовлены преимущественно из нержавеющей стали Ø 52 мм. Исключение составляет участок трубопровода после молокоприемника, где использованы трубы Ø 40 мм. Общий вид коровника, рабочего оборудования и технологическая схема доильной установки в СПК «Заря» представлены на рисунках 5.1–5.3.



Рисунок 5.1 – Общий вид коровника*

*Источник: фотография автора



Рисунок 5.2 – Общий вид рабочего оборудования*

*Источник: фотография автора

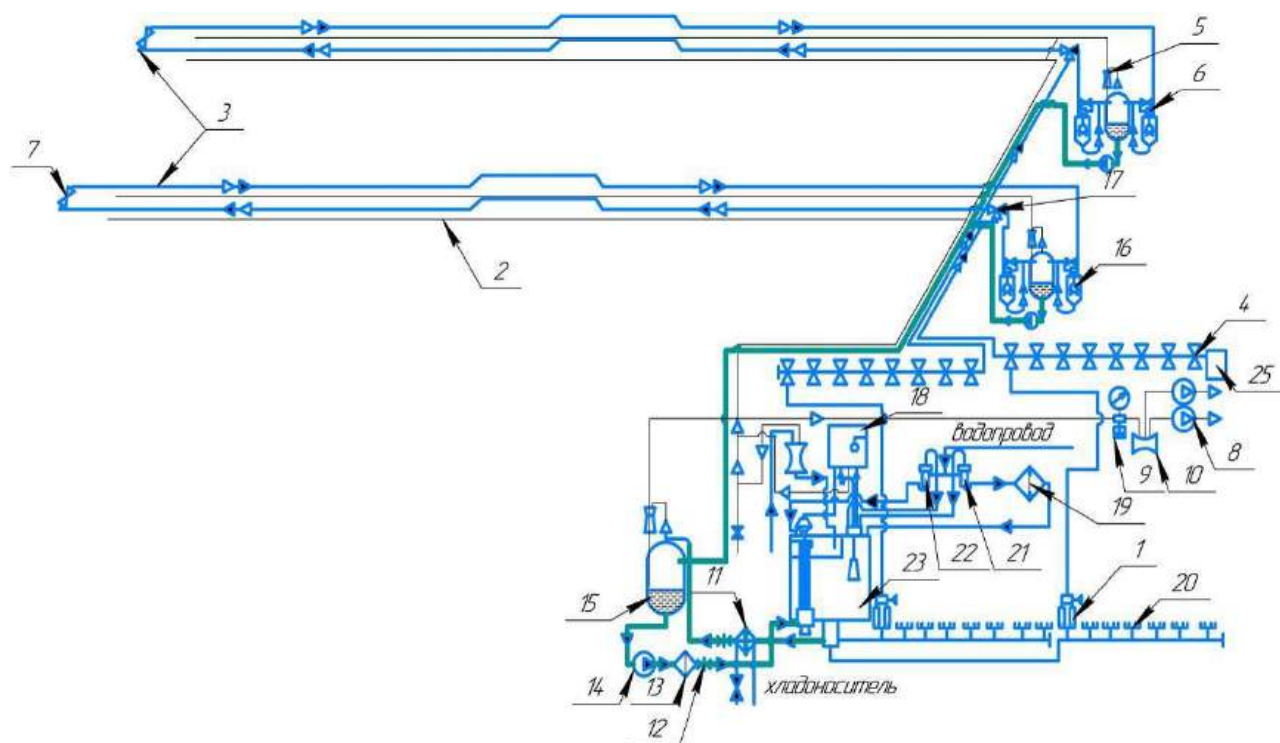


Рисунок 5.3 – Технологическая схема доильной установки коровника в режиме промывки*:

1 – доильный аппарат; 2 – вакуумпровод; 3 – молокопровод; 4 – молочно-вакуумный кран; 5 – предохранительная камера; 6 – сумматор; 7 – разделитель; 8 – вакуумный насос; 9 – вакуумметр; 10 – вакуумный баллон; 11 – охладитель молока; 12 – муфта; 13 – фильтр; 14 – молочный насос; 15 – молокоприемник; 16 – дозатор молока; 17 – переключатель; 18 – автомат промывки; 19 – электронагреватель; 20 – моечная головка; 21 – клапан горячей воды; 22 – клапан холодной воды; 23 – бак; 24 – дозатор моющего концентрата; 25 – устройство подачи очистителей

*Источник: разработана автором

Формирование экспериментальных групп животных осуществлялось в соответствии с ОСТ 7020.2-96 «Установки доильные для коров. Программа и методы испытаний». Обе группы состояли из коров черно-пестрой породы с живой массой 460–500 кг с продуктивностью за лактацию 4300–4700 кг. Доеение осуществлялось два раза в сутки.

В коровнике СПК «Заря», оборудованном доильной установкой Polanes 80, согласно рекомендациям производителя (Польша), на один доильный аппарат для эффективной промывки необходимо не менее 4,5 л воды. Также следует добавить не менее 1 л воды на каждый метр промывочного трубопровода и не менее 1 л воды на каждый метр длины молокопровода [24].

Из условия непрерывности пробкового турбулентного движения жидкости при величине вакуума 48–55 кПа, объем моюще-дезинфицирующего раствора, необходимого на цикл для данной установки, рассчитывается по формуле:

$$V_{\min} = n_c \cdot 4,5 + l_n + l_m = 6 \cdot 4,5 + 6 + 97 = 130 \text{ л}, \quad (5.1)$$

где $V_{\min}$ – минимальный объем жидкости на цикл промывки, л; l_n – длина промывочного молокопровода, м; n_c – количество доильных стаканов, шт; l_m – длина молокопровода доильной установки, м.

При подготовке моюще-дезинфицирующего раствора использовалось щелочное моющее средство Компомол Щ25 в концентрации 0,5 % и кислотное моющее средство Компомол К в концентрации 0,6 %. Температура моюще-дезинфицирующего раствора при циркуляционной мойке составляла 60 °С.

Согласно рекомендации завода-изготовителя доильной установки, трудоемкость ежесменного технического обслуживания составляет 55 минут, в том числе на операцию «мойка молокопровода» не менее 40 мин [1; 24].

Усовершенствованная технология санитарной обработки доильной установки (патент РФ № 2737968) реализована в последовательной подаче механического очистителя с активным рабочим органом и чистящей поверхностью из поролонa во время цикла предварительного ополаскивания, подаче 4 механических очистителей с активными рабочими органами и чистящей поверхностью из щетины во время циркуляционной мойки.

Экспериментальные механические очистители с активными рабочими органами (изготовлены по патенту РФ № 2728661) состоят из чистящего элемента, корпуса Ø30 мм с 3 спиральными каналами Ø 8 мм и винта. Конструкционные особенности позволяют за счет снижения линейной скорости придать вращение механическому очистителю. Чистящий элемент может быть

выполнен из поролона (Ø 52 мм) или щетины (3 ряда щетины Ø 2 мм, длиной 15 мм, плотностью 20 ед./см).

Для автоматизации процесса подачи механических очистителей используется устройство подачи механических очистителей (реализован по патенту РФ № 2688830), представляющее из себя корпус с размещенным внутри барабаном. Барабан соединен посредством вала с шаговым электродвигателем Nema17, управляемый микроконтроллером Arduino Nano. Барабан, имеющий 5 отверстий под механические очистители, при вращении осуществляет подачу необходимых механических очистителей. Для облегчения вращения барабан оснащен 10 перепускными каналами Ø 6 мм.



Рисунок 5.4 – Испытание усовершенствованной системы санитарной обработки в доильном зале молочно-товарной фермы СПК «Заря»*

*Источник: фотография автора

Испытания осуществлялись при следующих настроечных параметрах:

1. Настройки автомата промывки: цикл предварительного ополаскивания – 5 мин; циркуляционная промывка – 20 мин; ополаскивание – 5 мин.

2. Настройки устройства подачи: МО № 1 – в начале цикла предварительного ополаскивания (при запуске автомата промывки); МО № 2 – 2,7 мин от начала цикла циркуляционной промывки (7,7 мин от запуска автомата промывки); МО № 3 – через минуту после подачи МО № 2 (8,7 мин от запуска автомата промывки); МО № 4 – через минуту после подачи МО № 3 (9,7 мин от запуска автомата промывки); МО № 5 – через минуту после подачи МО № 4 (10,7 мин от запуска автомата промывки).

3. Параметры моюще-дезинфицирующего раствора: предварительное ополаскивание – вода 140 л без подогрева; циркуляционная промывка – моюще-дезинфицирующий щелочной раствор (5 % Компомол-Щ25) 160 л 60°; ополаскивание – вода 140 л без подогрева.

Качественная и количественная оценка санитарной обработки доильной установки осуществлялась с помощью смывов с внутренней поверхности и экспресс-теста «Биоконтроль»: Сторона 1: (среда Nutrient Agar, TTC) – общего микробного числа ОМЧ (КМАФАнМ); Сторона 2: (среда Агар Сабуро, Rose Bengal, Хлорамфеникол) – грибов/дрожжей.

Результаты испытаний усовершенствованной технологии санитарной обработки с помощью экспресс-теста «Биоконтроль» представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты микробиологических показателей проб смывов с внутренней поверхности молокопровода

№	Наименования показателя	Дата	Ед. изм.	Результат
1	КМАФАнМ	01.08.25	КОЕ/см ³	200·10 ³
		18.08.25		190·10 ³
		29.08.25		210·10 ³
2	Грибов/дрожжей	01.08.25	в 25 см ³	Не выявлено
		18.08.25		Не выявлено
		29.08.25		Не выявлено

Для подтверждения результатов, полученных с помощью экспресс-теста «Биоконтроль», была проведена оценка качества молока в Пильнинской испытательной лаборатории.

Таблица 5.2 – Результаты микробиологических показателей проб молока согласно протоколам испытаний № 356-25 от 01.08.2025, № 381-25 от 18.08.2025 и № 406-25 от 29.08.2025

№	Наименования показателя	Дата	Ед. изм.	Результаты
1	КМАФАнМ	01.08.25	КОЕ/см ³	7,5·10 ⁴
		18.08.25		3,5·10 ⁴
		29.08.25		4,5·10 ⁴
2	Патогенные микроорганизмы	01.08.25	в 25 см ³	Не выявлено
		18.08.25		Не выявлено
		29.08.25		Не выявлено

Применение усовершенствованной технологии позволяет осуществлять высококачественную санитарную обработку доильной установки, что удовлетворяет требованиям и нормам ГОСТа в полном объеме. Данная технология представляет интерес как для крупных хозяйств, так и для небольших фермерских хозяйств. Технические решения могут интегрироваться в состав автомата промывки, а также использоваться отдельно.

5.2 Оценка экономической эффективности результатов исследований

Экономическая оценка эффективности внедрения разработанной усовершенствованной технологии санитарной обработки проводилась в сравнении с традиционной технологией мойки молокопровода согласно утвержденным методикам [116]. Данная доильная установка оснащена двумя независимыми контурами с отдельными приборами учета и возможностью забора проб молока на каждой линии отдельно.

В таблице 5.3 представлены данные при использовании усовершенствованной технологии промывки с применением 4 механических очистителей и устройства их подачи в сравнении с серийной системой очистки и мойки молокопровода доильной установки.

Таблица 5.3 – Экономические показатели усовершенствованной системы санитарной обработки и серийной системы промывки

Наименование показателя	Сравниваемые варианты	
	Базовый	Новый
Продуктивность коров, кг	8 937	8 937
Продолжительность доения коров, дней	365	365
Надой от стада коров (204 голов) за год, ц	32 620	32 620
Годовые затраты труда на мойку, час	821,25	547,5
Рост производительности труда оператора, %	–	33
Удельные производственно-эксплуатационные затраты от использования системы мойки, руб/ц	46,54	37,42
Годовой экономический эффект, руб.	–	646926
Из них от: от снижения производственно-эксплуатационных затрат от повышения качества молока	–	297425
	–	349501
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	-	0,15

Исходные данные и результат расчета экономической эффективности использования усовершенствованного способа промывки молокопровода доильной установки даны в таблицах 1 и 2 приложения 3. Результаты расчета показывают, что годовые затраты на мойку молокопровода в новом варианте сокращаются на 45,39 ч по сравнению с серийной мойкой, что обеспечивает рост производительности оператора мойки на 25 %.

Источниками годового экономического эффекта являются сокращение удельных производственно-эксплуатационных затрат при использовании усовершенствованного способа санитарной обработки на 24,3 % за счет уменьшения затрат на электроэнергию, воду и моющие средства, а также 5 %-е увеличение количества молока, сдаваемого высшим сортом (см. акт производственной проверки, приложение Б). Таким образом, расчетный годовой экономический эффект составил 646926 руб., а срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $\sim 0,15$ г.

5.3 Выводы

1. В результате производственных испытаний усовершенствованного способа санитарной обработки молочного оборудования в СПК «Заря» Нижегородской области подтверждено, что при применении 4 механических очистителей, 160 л моюще-дезинфицирующего раствора температурой 60° и продолжительностью циркуляционной промывки 20 мин выдоенное молоко соответствует всем предъявляемым требованиям.

2. В результате расчетов годового экономического эффекта сокращение удельных производственно-эксплуатационных затрат на электроэнергию, воду и моющие средства при использовании усовершенствованного способа санитарной обработки составило 24,3 %, а также 5%-е увеличение количества молока, сдаваемого высшим сортом (приложение 3). Расчетный годовой экономический эффект составил 646926 руб., а срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $\sim 0,15$ г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенного анализа существующих систем санитарной обработки доильных установок линейного типа, основанных на циркуляционной промывке молокопроводов, выявлено, что качественное выполнение операции затруднено значительными тепловыми потерями и нарушением режимов движения моюще-дезинфицирующего раствора, значительным количеством угловых и стыковых соединений и большой площадью обрабатываемой поверхности.

2. Для снижения энергетических затрат и уменьшения продолжительности операции разработан способ, предусматривающий подачу поролонового пыжа на стадии циркуляции во время предварительного ополаскивания, механических очистителей – на стадии циркуляции моюще-дезинфицирующего устройства во время циркуляционной промывки и диагностического устройства в начале осушения. Для реализации усовершенствованного способа санитарной обработки спроектировано устройство автоматической подачи механических очистителей, представляющее из себя барабан с отверстиями, позволяющее минимизировать вероятность несвоевременной подачи механических очистителей.

С целью повышения эффективности санитарной обработки усовершенствована конструкция механического очистителя с активными рабочими органами, состоящего из корпуса с 3 сквозными отверстиями, изогнутыми по винтовой линии, и с 3 изогнутыми чистящими элементами, геометрические размеры которого обоснованы зависимостями (2.5) и (2.6).

Получена теоретическая зависимость расчета максимальной длины механического очистителя с активными рабочими органами, учитывающая геометрические параметры молокопровода и чистящего элемента. Установлено, что для молокопровода диаметром 50 мм рационально выбирать диаметр корпуса механического очистителя в пределах 25–30 мм, что обеспечит возможность применения очистителя длиной до 40–48 мм (в зависимости от типа щетины).

Получена теоретическая зависимость изменения объема моюще-дезинфицирующего раствора от времени его циркуляции, типа и количества применяемых механических очистителей. На основании полученной зависимости обосновано минимальное количество чистящих устройств с активными рабочими органами, обеспечивающее высший сорт молока. Согласно полученной зависимости при использовании 4 механических очистителей с чистящей поверхностью из щетины допустимо снижение объема моюще-дезинфицирующего раствора до 138 л без снижения продолжительности циркуляции и снижение объема до 161 л при его циркуляции в течение 20 мин.

3. В результате проведенных экспериментальных исследований выявлены рациональные параметры механического очистителя с активными рабочими органами, обеспечивающие линейную скорость 4,7 м/с (-17,5 % по сравнению с прототипом) и частоту вращения $1,62 \text{ с}^{-1}$ (+58,6 % по сравнению с прототипом) при вакууме 48 кПа: количество перепускных каналов в корпусе – 3; диаметр перепускных каналов – 8 мм; угол поворота канала – 0,5 витка; длина щетины – 17 мм, плотность – 20 ед./см; диаметр щетины – 1,5 мм.

Определены рациональные режимы технологии санитарной обработки: 4 механических очистителя с активным рабочим органами из щетины; подача 1 механического очистителя спустя 2,7 мин от начала циркуляционной промывки; подача последующих через 1 мин после предыдущего. При этом достигается снижение объема моюще-дезинфицирующего раствора на 29 л и времени циркуляции – на 10 мин, а произведённое молоко соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 033/2013.

4. В результате производственных испытаний в СПК «Заря» Нижегородской области подтверждено, что выдоенное молоко соответствует нормативным требованиям при 20 минутной продолжительности циркуляционной промывки с использованием 4 механических очистителей и 160 л моюще-дезинфицирующего раствора. Расчетный годовой экономический эффект при применении усовершенствованного способа санитарной обработки составил 646,9 тыс. рублей, а срок окупаемости дополнительных капитальных вложений – 0,15 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомат промывки C100E: Системная книга фирмы De Laval. – Швеция : De Laval, 2001. – 98 с.
2. Агропромышленный комплекс Нижегородской области [Электронный ресурс] : официальный сайт Законодательного Собрания Нижегородской области. – Режим доступа: , свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 02.12.2025).
3. Алагезян, Р. Г. Моющие и дезинфицирующие средства в молочной промышленности: Справочное пособие/ Р. Г. Алагезян. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 166 с.
4. Александров, А. В. Сопротивление материалов : учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин ; под ред. А. В. Александрова. – М. : Высшая школа, 2003. – 560 с.
5. Андреев, В.Б. Некоторые моменты обеспечения санитарного качества молока/ В.Б. Андреев, Л.Д. Демидова, В.В. Ивановцев. – Тверь: Изд-во «Триада», 2007. – 56 с.
6. Андреев, П.В. Техническое обслуживание машин и оборудования животноводческих ферм / П.В. Андреев. – Л. : Колос, 1977. – 272 с.
7. Аспекты выбора ПАВ для эффективного удаления масложировых загрязнений / Б. В. Маневич, Ж. И. Кузина, Т. В. Косьяненко, Е. И. Орлова // Переработка молока. – 2019. – № 9 (239). – С. 48–51.
8. Барановский, М. В. Уровень контаминации микробными клетками молокопроводящих поверхностей в зависимости от объёмно-конструктивных особенностей доильных установок / М. В. Барановский, О. А. Кажеко, А. С. Курак // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2018. – № 4. – С. 37–41.
9. Беляевский, Ю. И. Индустриализация молочного скотоводства / Ю.И. Беляевский. – М: Колос, 1984 – 383 с.

10. Беляевский, Ю. И. Исследование основных параметров устройства и способа циркуляционной промывки молочной линии доильных установок / Ю. И. Беляевский // Электрификация сельского хозяйства. – М., 1965. – Т. 16. – С. 94–115.

11. Березуцкий, В. И. Закономерности изменения температурного режима мойки молокопровода / В. И. Березуцкий, А. М. Жмырко // Совершенствование процессов и технических средств в АПК. – зерноград, 2001. – Вып. 3. – С. 27–32.

12. Березуцкий, В. И. Совершенствование технологии циркуляционной мойки молокопровода доильной установки УДС-3А : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Березуцкий Владимир Иванович. – зерноград, 2000. – 158 с.

13. Борьба с биопленками на молочных предприятиях / Б. В. Маневич, Ж. И. Кузина, Е. Б. Харитонов, Т. В. Орлова // Молочная промышленность. – 2018. – № 12. – С. 62–64.

14. Брагина, А. Е. Исследование циркуляционной мойки сложных молокопроводов на животноводческих фермах и молокозаводах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Брагина А. Е. – Краснодар, 1972. – 21 с.

15. Бушуева, И. Г. Российский рынок молока и молочной продукции – итоги и надежды / И. Г. Бушуева // Молочная промышленность. – 2013. – № 12. – С. 4–6.

16. Ведищев, С. М. Механизация доения коров : учебное пособие / С. М. Ведищев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 160 с.

17. Веприцкий, А. С. Влияние режима движения раствора в зависимости от числа Рейнольдса на эффективность мойки молокопроводов / А. С. Веприцкий, А. Е. Брагина // Проектирование рабочих органов машин для животноводческих хозяйств. – Ростов н/Д, 1969. – Вып. 1. – С. 104–114.

18. Гераймович, О. А. Внедрение ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко натуральное коровье – сырье. Технические условия» / О. А. Гераймович, И. А. Макеева // Молочная промышленность. – 2003. – № 11. – С. 19–20.

19. ГОСТ 13264-88. Молоко коровье. Требования при закупках. – Взамен ГОСТ 13264-70. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.
20. ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия» . – Введ. 2014 – 01 – 07. – М. : Стандартиформ, 2013. – 14 с.
21. ГОСТ 34622-2019. Молоко и молочная продукция. Методы санитарно-микробиологического контроля. – Введ. 2020–01–01. – М. : Стандартиформ, 2019. – 52 с.
22. ГОСТ 9225-84. Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа : с Изменениями № 1, 2, 3, 4. – М. : Колос, 1982. – 255 с.
23. ГОСТ Р 52054-2003. Молоко коровье сырое. Технические условия : с изменением № 2 : утверждено и введено в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.08.2017 № 885-ст с 01.09.2017. – Введ. 2010–01–01. – М. : Стандартиформ, 2008. – 12 с.
24. ГОСТ Р 56988-2016. Установки доильные. Общие технические условия. – Введ. 2017–07–01. – М. : Стандартиформ, 2017. – IV, 31 с.
25. ГОСТ Р ИСО 5708-2012. Оборудование для доения. Охлаждатели молока. – М. : Стандартиформ, 2013. – 26 с.
26. Дегтерев, Г. П. Интенсификация технологических процессов очистки доильно-молочного оборудования при техническом обслуживании и ремонте : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Дегтерев Георгий Павлович. – М., 1988. – 343 с.
27. Дегтерев, Г. П. Качество молока в зависимости от санитарного состояния доильного оборудования / Г. П. Дегтерев, А. М. Рекин // Молочная промышленность. – 2000. – № 5. – С. 23–27.
28. Дегтерев, Г. П. Механизм очистки загрязненных поверхностей молочного оборудования / Г. П. Дегтерев // Молочная промышленность. – 1999. – № 7. – С. 35–37.

29. Дегтерев, Г. П. Многоуровневая система обеспечения безопасности и качества молока и молочных продуктов / Г. П. Дегтерев // Молочная промышленность. – 2009. – № 11. – С. 9–12.

30. Дегтерев, Г. П. Моюще-дезинфицирующие средства и качество продукции / Г. П. Дегтерев // Молочная промышленность. – 1996. – № 6. – С. 12–13.

31. Дегтерев, Г. П. Новые моюще-дезинфицирующие средства / Г. П. Дегтерев, А. М. Рекин // Молочная промышленность. – 2000. – № 4. – С. 45–48.

32. Дегтерев, Г. П. Справочник по машинам и оборудованию для животноводства / Г. П. Дегтерев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1986. – 224 с.

33. Жмырко, А. М. Обоснование параметров и режимов работы системы мойки молокопровода доильных установок для доения коров в стойлах : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Жмырко Александр Михайлович. – зерноград, 2005. – 159 с.

34. Загрязненность отработанных моющих растворов при многократном использовании / Ж. И. Кузина, Б. В. Маневич, Т. В. Косьяненко [и др.] // Молочная промышленность. – 2019. – № 11. – С. 54–55.

35. Золотин, Ю. П. Циркуляционная мойка молочного оборудования / Ю. П. Золотин. – М. : Пищепромиздат, 1963. – 112 с.

36. Ивашура, А. И. Гигиена производства молока / А. И. Ивашура. – М. : Россельхозиздат, 1984. – 143 с.

37. Карцев, О. Интервью с Олегом Карцевым, менеджером по системам / О. Карцев ; [интервьюер Ф. И. О.] [Электронный ресурс] // Dairy News : сайт. – Режим доступа: URL: <https://dairynews.ru/interview/intervyu-s-olegom-kartsevymmenedzherom-po-sistema.html> (дата обращения: 11.03.2026).

38. Кильвайн, Г. Руководство по молочному делу и гигиене молока / Г. Кильвайн. – М. : Россельхозиздат, 1980. – 205 с.

39. Кирсанов, В. В. Повышение качества очистки молочных линий при использовании различных механических очистителей с активными рабочими органами / В. В. Кирсанов, В. Ю. Матвеев, М. М. Маслов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 3 (31). – С. 77–81.

40. Кирсанов, В. В. Структурно-технологическое обоснование эффективного построения и функционирования доильного оборудования : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Кирсанов Владимир Вячеславович. – М., 2001. – 470 с.

41. Кирсанов, В. В. Технология промывки молокопроводов / В. В. Кирсанов, В. Ю. Матвеев, А. Е. Крупин // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2016. – № 2 (43). – С. 86–91.

42. Королева, Л. Г. Совершенствование ветеринарно-санитарного контроля молока на перерабатывающих предприятиях : дис. ... канд. вет. наук : 06.02.05 / Королева Лариса Германовна. – М., 2018. – 149 с.

43. Корреляционный анализ факторов, влияющих на уровень бактериальной обсемененности молока / М. М. Маслов, Т. А. Казанина, А. Е. Крупин, В. Ю. Матвеев // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 41–45.

44. Кочеткова, Ю. А. Технологические условия повышения качества молока при санитарной очистке доильно-молочного оборудования : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.02.04 / Кочеткова Юлия Александровна. – М., 2008. – 202 с.

45. Крусъ, Г. Н. Химический состав и свойства молока : учебное пособие / Г. Н. Крусъ, В. А. Обелец, Н. Н. Каткова ; под ред. Н. А. Тихомировой. – М. : МГАПП, 1994. – 41 с.

46. Кузина, Ж. И. Возможности интенсификации санитарной обработки при производстве функциональных продуктов на молочной основе / Ж. И. Кузина, Б. В. Маневич, Е. А. Бурыкина // Молочная промышленность. – 2020. – № 6. – С. 60–62.

47. Курак, А. Г. Пути снижения бактериальной обсемененности молока / А. Г. Курак // Молочное скотоводство. – 2014. – № 1. – С. 43–45.
48. Курак, А. Г. Пути бактериальной обсемененности молока / А. Курак // Животноводство России. – 2015. – Спецвыпуск. – С. 21–25.
49. Курунин, П. А. Разработка и исследование устройства для приготовления растворов и мойки молокопроводов доильных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Курунин П. А. – Краснодар, 1975. – 30 с.
50. Мамедова, Р. А. Интенсификация циркуляционной промывки доильных установок : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Мамедова Рена Адиль кызы. – М., 2008. – 163 с.
51. Маневич, Б. В. Разработка и использование средств для гигиенической обработки рук на молочных предприятиях / Б. В. Маневич, Ж. И. Кузина // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. – 2020. – Т. 1, № 1 (1). – С. 350–361.
52. Маслов, М. М. Анализ путей совершенствования качества очистки молочных линий доильных установок на основании априорного ранжирования факторов / М. М. Маслов // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 9. – С. 64–67.
53. Маслов М. М. Теоретическое обоснование конструкции технических средств интенсификации санитарной обработки доильных установок // Тенденции развития научного сообщества в эпоху глобальных перемен: сборник статей Международной научно–практической конференции (г. Воронеж, 7 июля 2026 г.). Уфа: Omega science, 2026. С. 38–40.
54. Мастит коров : учебное пособие / Б. Л. Белкин, Л. А. Черепяхина, Т. В. Попкова [и др.] ; под ред. Б. Л. Белкина. – Орел : Изд-во Орел ГАУ, 2011. – 88 с.
55. Матвеев, В. Ю. Меры санитарной обработки молочных линий / В. Ю. Матвеев // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 3 (70). – С. 32–40.

56. Матвеев, В. Ю. Повышение эффективности промывки доильных установок на основе пневмомеханического интенсификатора с активными рабочими органами : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Матвеев Валерий Юрьевич. – М., 2011. – 141 с.

57. Матвеев, В. Ю. Разработка функционально-морфологической модели системы санитарной обработки доильной установки / В. Ю. Матвеев, В. П. Заикин, М. М. Маслов // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 3. – С. 85–90.

58. Машошина, Е. В. Повышение качества молока при использовании различных моющих средств для очистки доильно-молочного оборудования в козоводстве : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.02.10 / Машошина Елена Владимировна. – М., 2016. – 133 с.

59. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. С. Алешкин, П. М. Рощин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. – 168 с.

60. Министерство сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Нижегородской области [Электронный ресурс] : официальный сайт. – Режим доступа: https://mcx-nnov.ru/programma_razv_apk/2023/Приказ%20190.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 02.12.2025).

61. Моделирование влияния проточного устройства анализа качества молока на поток в доильной установке / Д. Ю. Павкин, А. Р. Хакимов, А. В. Шкирин [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2023. – Т. 17, № 1. – С. 70–75.

62. Модернизация доильной системы устройством экспресс-анализа качества молока / А. Р. Хакимов, Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка [и др.] // Аграрная наука. – 2024. – № 11. – С. 145–149.

63. Моор, В. Мойка и дезинфекция в молочном деле / В. Моор, М. Вольтер ; пер. с нем. – М. : Пищепромиздат, 1957. – 163 с.

64. Новик, Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Аросов. – М. : Машиностроение ; София : Техника, 1980. – 304 с.

65. Обоснование геометрических параметров корпуса механического очистителя с активными рабочими органами / М. М. Маслов, В. Ю. Матвеев, Е. Б. Миронов, В. П. Заикин // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 1 (152). – С. 7–17.

66. Олейник, А. В. Маститы у высокопродуктивных коров / А. В. Олейник // Ветеринария. – 2007. – № 8. – С. 9-12.

67. Оптимизация составов экологических средств санитарной обработки / Ж. И. Кузина, Б. В. Маневич, Е. Б. Харитоновна, Т. В. Косьяненко // Переработка молока. – 2019. – № 11 (241). – С. 72–75.

68. Остроухов, А. И. Повышение эффективности очистки доильно-молочного оборудования щелочными моющими растворами в воде различной жесткости : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Остроухов Андрей Иванович. – М., 2013. – 120 с.

69. Оценка надежности доильных установок на основании анализа их отказов / М. М. Маслов, А. Е. Крупин, В. Ю. Матвеев, Е. Б. Миронов // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 23–27.

70. Павкин, Д. Ю. Обоснование параметров датчика-счётчика потока молока для общего и почётвертного доения : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Павкин Дмитрий Юрьевич. – М., 2018. – 135 с.

71. Панин, А. А. Совершенствование системы промывки и контроля состояния внутренней поверхности молокопровода доильной установки : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Панин Алексей Александрович. – Оренбург, 2012. – 122 с.

72. Перспективный механический очиститель молокопроводов / В. В. Кирсанов, В. Ю. Матвеев, М. М. Маслов, А. Е. Ческов // Сельский механизатор. – 2018. – № 9. – С. 26–27.

73. Полянская, И. В. Влияние микробиологических показателей сырого молока на качество и безопасность молочной продукции / И. В. Полянская, О. Б. Тарасенко // Вестник ВГУИТ. – 2020. – Т. 82, № 4. – С. 234–241.

74. Практические рекомендации по технологии производства высококачественного молока. – М. : Изд-во МСХА, 2004. – 126 с.

75. Рекин, А. М. Повышение санитарно-гигиенических показателей качества получаемого молока путем разработки технологии санитарной обработки доильного оборудования : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.02.04 / Рекин Алексей Михайлович. – М., 2001. – 161 с.

76. Родионов, Г. В. Организация производственного контроля качества молока-сырья / Г. В. Родионов, Ю. А. Юлдашбаев, Ю. А. Кочеткова. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2009. – 136 с.

77. Российская Федерация. Законы. Технический регламент на молоко и молочную продукцию : Федер. закон № 88-ФЗ : [принят Гос. Думой 23 мая 2008 г. : одобр. Советом Федерации 30 мая 2008 г.] : (с изменениями на 22 июля 2010 г.). – М. : [б. и.], 2010. – 124 с.

78. Российская Федерация. Министерство здравоохранения. Приказ об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания : от 19 августа 2016 г. № 614 : (с изменениями на 1 декабря 2020 г.) / М-во здравоохранения Рос. Федерации. – М. : [б. и.], 2016. – 8 с.

79. Российская Федерация. Правительство. О Государственной программе развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 8 сентября 2022 г. № 2267-р [Электронный ресурс] // ГАРАНТ : информ.-правовой портал. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287/>, свободный. (Дата обращения: 11.03.2026).

80. Рыбалова, Т. И. Молочная отрасль Канады. Переработка молока / Т. И. Рыбалова // Молочная промышленность. – 2014. – № 8. – С. 67–70.

81. Рыбалова, Т. И. Молочный сектор Новой Зеландии: жизнь без субсидий / Т. И. Рыбалова // Молочная промышленность. – 2015. – № 4. – С. 60–62.

82. Самосюк, В. Г. Технологическое оборудование для производства молока / В. Г. Самосюк, В. О. Китиков, Э. П. Сорокин ; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск : Беларус. навука, 2013. – 494 с.

83. Санитарная обработка: баланс безопасности и эффективности. Обеззараживание воздуха в производственных помещениях / Б. В. Маневич, Ж. И. Кузина, Е. Б. Харитонов, Т. В. Косьяненко // Молочная промышленность. – 2019. – № 6. – С. 52–55.

84. Санитарно-гигиеническое качество заготавливаемого молока и пути его улучшения / Н. Г. Бельский, Н. С. Королева, И. П. Даниленко, В. В. Молочников // Улучшение качества молока и молочной продукции. – М. : Колос, 1980. – С. 27–37.

85. Санитарное состояние технологического оборудования и качество производимого молока / А. Л. Сидорова, Н. В. Донкова, С. С. Смолин [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 12 (165). – С. 156–164.

86. Санитарные правила по уходу за доильными установками и молочной посудой, контролю их санитарного состояния и санитарного качества молока от 29 сентября 1986 г. // Рекомендации Госагропрома СССР по внедрению достижений с.-х. науки и практики в производство. – М., 1986. – Вып. 9. – 24 с.

87. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов : санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : ФГУП «ИнтерСЭН», 2002. – 168 с.

88. СанПиН 2.3.4.551-96. Производство молока и молочных продуктов : санитарные правила и нормы. – Введ. 1997-01-01. – М. : Госкомсанэпиднадзор России : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1996. – 52 с.

89. Сапожников, В. М. Монтаж и испытание гидравлических и пневматических систем летательных аппаратов / В. М. Сапожников. – М. : Машиностроение, 1979. – 256 с.

90. Современные системы и средства для промывки доильного оборудования : аналитическая справка. – М. : Росинформагротех, 2001. – 9 с.

91. Способ промывки доильных установок с молокопроводом : пат. 2350071 Рос. Федерация : МПК А01J7/02 / Цой Ю. А., Зеленцов А. И., Бойко А. Я., Мамедова Р. А. ; заявитель и патентообладатель Гос. науч. учреждение Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хозяйства. – № 2007147448 ; заявл. 21.12.2007 ; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9.

92. Способ санитарной обработки доильного оборудования и молокопроводов (варианты) : пат. 2238001 Рос. Федерация : МПК А01J7/00 / Горлов И. Ф., Каренгина Т. В., Митрофанов А. З. ; заявитель и патентообладатель Поволж. науч.-исслед. ин-т производства и переработки мясомолоч. продукции. – № 2003119900/13 ; заявл. 30.06.2003 ; опубл. 20.10.2004.

93. Способ санитарной обработки молочного оборудования : пат. 2648147 Рос. Федерация : МПК А01J7/02, B08B9/02 / Кравченко В. Н., Мазаев Ю. В. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский гос. аграрный ун-т им. И. Т. Трубилина». – № 2016127600 ; заявл. 08.07.2016 ; опубл. 22.03.2018.

94. Степаненко, П. П. Микробиология молока и молочных продуктов : учебник для вузов / П. П. Степаненко. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : ГИОРД, 2018. – 384 с.

95. Структурно-логическая схема функционирования системы санитарной обработки доильных установок с молокопроводом и автоматом промывки / В. Ю. Матвеев, М. М. Маслов, В. П. Заикин, Д. В. Филиппов // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 6. – С. 111–115.

96. Тёгерле, Т. Молочное скотоводство в Израиле. Коровы отдыхают на компосте / Т. Тёгерле // Новое сельское хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 32–34.

97. Терентьева, А. С. Поддержка молочного сектора США / А. С. Терентьева // Молочная промышленность. – 2013. – № 10. – С. 69–70.

98. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Нижегородской области [Электронный ресурс] : официальный сайт. – Режим доступа: https://mcx-nnov.ru/programma_razv_apk/2023/, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 02.12.2025).

99. Техническое обеспечение животноводства [Электронный ресурс] : учебник / А. И. Завражнов [и др.] ; под ред. А. И. Завражнова. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2018. – 516 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/108449>., для зарегистрир. пользователей. – Загл. с экрана.

100. Толпесов, А. С. Совершенствование конструкции приборов индивидуального учета молока на линейных молокопроводах / А. С. Толпесов, С. В. Соловьев, О. А. Герасимова // Техника и технологии в животноводстве. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 24–29.

101. ТР ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции : технический регламент Таможенного союза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499050562>., свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 16.11.2018).

102. Установка доильная с молокопроводом УДМ-100, УДМ-200 : техническое описание и инструкция по эксплуатации. – [Б. м. : б. и.], 2005. – 49 с.

103. Устройство для очистки внутренней поверхности молокопровода : пат. на полезную модель 203615 Рос. Федерация : МПК А01J7/02 / Герасимова О. А., Соловьев С. В., Шестопапов В. Д., Шилин Е. В. ; заявитель и патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Великолукская гос. сельскохозяйственная академия». – № 2019141927 ; заявл. 13.12.2019 ; опубл. 14.04.2021, Бюл. № 11.

104. Устройство для очистки внутренней поверхности молокопровода : пат. на полезную модель 209456 Рос. Федерация : МПК А01J7/02, В08В9/053 / Герасимова О. А., Соловьев С. В., Соловьев М. С. ; заявитель и

патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Великолукская гос. сельскохозяйственная академия». – № 2021102810 ; заявл. 05.02.2021 ; опубл. 16.03.2022, Бюл. № 8..

105. Устройство для очистки внутренней поверхности молокопровода : пат. на полезную модель 213061 Рос. Федерация : МПК A01J7/02 / Герасимова О. А., Соловьев С. В., Соловьев М. С. ; заявитель и патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Великолукская гос. сельскохозяйственная академия». – № 2021102812 ; заявл. 05.02.2021 ; опубл. 22.08.2022, Бюл. № 24.

106. Устройство для очистки молокопроводов доильных установок : пат. 2728661 Рос. Федерация : МПК A01J7/02 / Кирсанов В. В., Матвеев В. Ю., Маслов М. М., Миронов К. Е. ; заявитель и патентообладатель Федер. гос. бюджет. науч. учреждение «Федер. науч. агроинженер. центр ВИМ». – № 2020105316 ; заявл. 04.02.2020 ; опубл. 30.07.2020, Бюл. № 22.

107. Устройство для подачи механических очистителей в молокопровод : пат. 2688830 Рос. Федерация : МПК A01J7/02 / Кирсанов В. В., Матвеев В. Ю., Маслов М. М. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Рос. гос. аграрный заочный ун-т». – № 2018116186 ; заявл. 28.04.2018 ; опубл. 22.05.2019.

108. Устройство очистки и контроля чистоты молочных линий : пат. 2654623 Рос. Федерация : МПК A01J7/02, B08B9/051 / Кирсанов В. В., Цой Ю. А., Лобачевский Я. П. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Федер. гос. бюджет. науч. учреждение «Федер. науч. агроинженер. центр ВИМ». – № 2017122178 ; заявл. 23.06.2017 ; опубл. 21.05.2018, Бюл. № 15.

109. Устройство, работа и техническое обслуживание современных автоматизированных доильных установок отечественного производства : методические указания по изучению устройства и работы / Д. Ф. Кольга, А. Н. Пунько, Н. Ю. Козловская, С. П. Коновалов. – Минск : БГАТУ, 2007. – 48 с.

110. Ушаков, Ю. А. Инженерные методы обеспечения качества молока : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Ушаков Юрий Андреевич. – Оренбург, 2011. – 35 с.

111. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] : официальный сайт. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Rossia_2025.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 02.12.2025).

112. Функционально-стоимостной анализ системы санитарной обработки доильной установки / М. М. Маслов, В. Ю. Матвеев, А. Е. Крупин, Е. Б. Миронов // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 10. – С. 113–116.

113. Харитонова, Д. Водные процедуры на ферме / Д. Харитонова // Молочная промышленность. – 2009. – № 11. – С. 13–16.

114. Харьков, С. В. Обоснование режима промывки доильной установки унифицированного ряда и разработка технических средств для ее реализации : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Харьков Сергей Викторович. – Ростов н/Д, 1983. – 143 с.

115. Чикина, Л. В. Надзор за качеством и безопасностью молока и молочных продуктов / Л. В. Чикина // Молочная промышленность. – 2013. – № 1. – С. 20–21.

116. Экономическая эффективность механизации сельскохозяйственного производства / А. В. Шпилько, В. И. Драгайцев, Н. М. Морозов [и др.]. – М. : Россельхозакадемия, 2001. – 346 с.

117. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. 1. Статика. Кинематика : учебник для технических вузов / А. А. Яблонский. – 6-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 1984. – 344 с.

118. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. 2. Динамика : учебник для технических вузов / А. А. Яблонский. – 6-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 1984. – 423 с.

119. Яковлева, Н. ХАССП – лучшее для качества молока / Н. Яковлева // Агрорынок. – 2010. – № 2. – С. 2.

120. E.M.W. Электронная мини-промывка : руководство при работе с системой промывки «MiniWash» фирмы PANAZOO. – Италия : [б. и.], 2004. – 11 с.

121. Detry, G. Soil adherence to solid surfaces: relation with fouling and cleaning : PhD Thesis / G. Detry. – Gembloux : Gembloux Agricultural University, 2009. – 186 p.

122. Influence of devices for cleaning the milk pipes of the milking units on the ecology of milk production / V. V. Kirsanov, V. Y. Matveev, M. M. Maslov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 422. – P. 012075.

123. Jennings, W. G. An interpretive review of detergency for the food technologist / W. G. Jennings // Food Technology. – 1963. – Vol. 17. – P. 863–881.

124. Kieselmann Fluid Process Group. Alle Produktinfos im Schnellzugriff [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kieselmann.de>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 01.02.2026).

125. Kristiansen, O. Experiments on stratified-slug transition in two-phase flow at varying pressures / O. Kristiansen, V. Ancel, O. J. Nydal // 40th European Two-Phase Flow Group Meeting (Sweden, June 10–13 2002). – Sweden, 2002. – P. 12–15.

126. Putkilypsykoneen ja tilasailion pesuautomaatt. Futura. Automatic cleaning unit for pipeline milking machine and milk cooling tank future / Yakola // Koetuselostus. – 1990. – № 1290. – S. 1–7.

127. Richards, R. Microbial composition, biofilm formation, and removal from the surfaces of the manway lid gaskets of citrus and dairy liquid transportation tankers : Master of Science Thesis / R. Richards. – Gainesville : University of Florida, 2005. – 95 p.

128. Tinkharn, R. Soil Removal and Redeposition on Cotton, Nylon, and Polyester Fabrics Wet-Cleaned with Anionic and Nonionic Surfactants : Master of Science Thesis / R. Tinkharn ; Department of Human Ecology. – Edmonton : [b. i.], 2001. – 124 p.

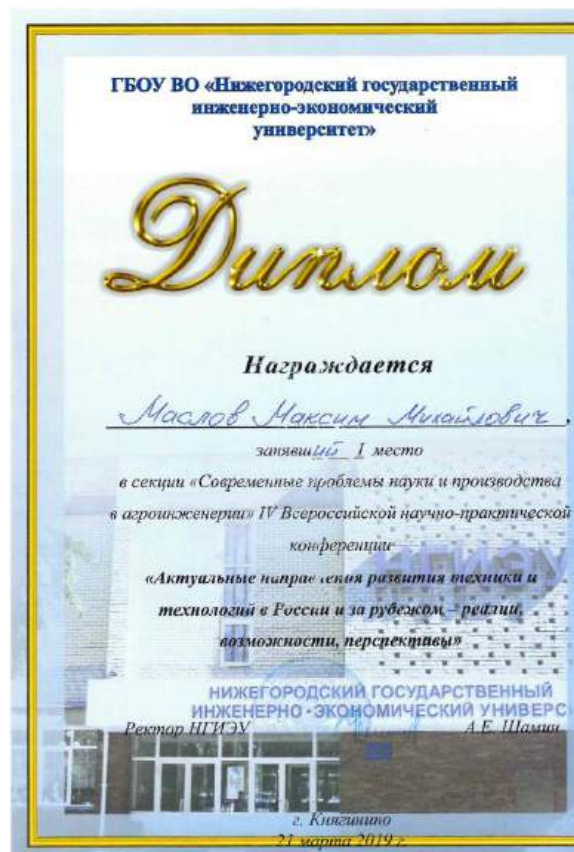
129. Schliisler, Hans-Joachim. Zue Reinigung fester Oberflächen in der Lebensmittelindustrie / Hans-Joachim Schliisler // Milchwissenschaft. – 1970. – Jahrgang 25, Heft 3. – S. 133–145.

130. Substantiation and optimization of quantity and type of mechanical cleaners supplied to milk pipe when rinsing milking units / V. V. Kirsanov, V. Yu. Matveev, M. M. Maslov [et al.] // Bio Web of Conferences. – 2020. – Vol. 27. – P. 00121.

Приложение А

Патенты, дипломы и сертификаты

(справочное)








Министерство
образования, науки и
молодежной политики
Нижегородской области
ул. Ульянова, д. 18, г. Нижний Новгород,
ГТЦ 58, 603950
тел. 433-24-51, факс 434-11-00
e-mail: otb@edu.gov.nizhny-novgorod.ru
06.06.2019 № Иск-316-133600/19

По месту требования

на № _____ от _____
Об участии в мероприятии

Министерство образования, науки и молодежной политики Нижегородской области подтверждает участие в 24-й Нижегородской сессии молодых ученых (технические, естественные, математические науки), проходившей с 21 по 23 мая 2019 г., Маслова Максима Михайловича, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», с докладом на тему: «Повышения качества и безопасности молока, за счет модернизации системы промывки доильных установок».

Председатель оргкомитета сессии,
Министр

С.В.Злобин



Зоярел Ирекл Амбергелов
4343120

Приложение Б
Акт апробации в СПК «Заря»
(справочное)

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе
и инновационному развитию

к.э.н., доцент

 Д.В. Ганин

29 августа 2025 года



УТВЕРЖДАЮ

председатель СПК «Заря»

И.А. Мараков

29 августа 2025 года



АКТ

**апробации в СПК «Заря» Пильнинского муниципального органа
Нижегородской области усовершенствованной технологии санитарной
обработки доильной установки.**

Комиссия в составе представителей СПК «Заря»: председатель Мараков И.А., главного зоотехника Круглова А.А, главного инженера Цапина В.А и представителей ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»: кандидата технических наук, доцента Матвеева В.Ю., аспиранта Маслова М.М. составили настоящий акт о том, что в июле-августе 2025 года в СПК «Заря» Пильнинского муниципального округа Нижегородской области проведена апробация усовершенствованной системы санитарной обработки доильной установки разработанной и реализованной инженерным институтом ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Апробация усовершенствованной системы санитарной обработки доильной установки (рисунок 1) проводилась в доильном зале молочно-товарной фермы.

Усовершенствование технология санитарной обработки доильной установки (патент РФ №2737968) реализована в последовательной подаче механического очистителя с активным рабочим органом и чистящей поверхностью из поролонa во время цикла предварительного ополаскивания, подачи 4 механических очистителей с активными рабочими органами и чистящей поверхностью из щетины во время циркуляционной мойки.

Экспериментальные механические очистители с активными рабочими органами (изготовлены по патенту РФ № 2728661) состоят из чистящего элемента, корпуса Ø30 мм с 3 спиральными каналами Ø 8 мм и винта. Конструкционные особенности позволяют за счет снижения линейной скорости придать вращение механическому очистителю. Чистящий элемент

может быть выполнен из поролона ($\varnothing$ 52 мм) или щетины (3 ряда щетины $\varnothing$ 2 мм длиной 15 мм плотностью 20 ед/см).

Для автоматизации процесса подачи механических очистителей используется устройство подачи механических очистителей (реализован по патенту РФ №2688830), представляющее из себя корпус с размещенным внутри барабаном. Барабан соединен посредством вала с шаговым электродвигателем Nema17, управляемый микроконтроллером Arduino Nano. Барабан, имеющий 5 отверстий под механические очистители, при вращении осуществляет подачу необходимого количества механических очистителей. Для облегчения вращения барабан оснащен 10 перепускными каналами $\varnothing$ 6мм.



Рисунок 1 – Испытание усовершенствованной системы санитарной обработки в доильном зале молочно-товарной фермы СПК «Заря»

Испытания осуществлялись при следующих настроечных параметрах:

1. Настройки автомата промывки: цикл предварительного ополаскивания – 5 мин.; циркуляционная промывка – 20 мин.; ополаскивание – 5 мин.

2. Настройки устройства подачи: МО №1 – в начале цикла предварительного ополаскивания (при запуске автомата промывки); МО №2 – 2,7 мин. от начала цикла циркуляционной промывки (7,7 мин. от запуска автомата промывки); МО №3 – через минуту после подачи МО №2 (8,7 мин. от запуска автомата промывки); МО №4 – через минуту после подачи МО №3 (9,7 мин. от запуска автомата промывки); МО №5 – через минуту после подачи МО №4 (10,7 мин. от запуска автомата промывки).

3. Параметры моюще-дезинфицирующего раствора: предварительное ополаскивание – вода 140л без подогрева; циркуляционная промывка –

моюще-дезинфицирующий щелочной р-р (5% Компомол-Щ25) 160л 60°; ополаскивание – вода 140л без подогрева.

Качественная и количественная оценка санитарной обработки доильной установки осуществлялась с помощью смывов с внутренней поверхности и экспресс-теста «Биоконтроль»: Сторона 1: (среда Nutrient Agar, TTC) – общего микробного числа ОМЧ (КМАФАнМ); Сторона 2: (среда Агар Сабуро, Rose Bengal, Хлорамфеникол) – грибов/дрожжей.

Результаты испытаний усовершенствованной технологии санитарной обработки с помощью экспресс-теста «Биоконтроль» представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты микробиологических показателей проб смывов с внутренней поверхности молокопровода

№	Наименования показателя	Дата	Ед. изм.	Результат
1	КМАФАнМ	01.08.25	КОЕ/см ³	240 10 ³
		18.08.25		217 10 ³
		29.08.25		222 10 ³
2	грибов/дрожжей	01.08.25	в 25 см ³	Не выявлено
		18.08.25		Не выявлено
		29.08.25		Не выявлено

Для подтверждения результатов, полученных с помощью экспресс-теста «Биоконтроль», была проведена оценка качества молока в Пильнинской испытательной лаборатории.

Таблица 2 - Результаты микробиологических показателей проб молока согласно протоколам испытаний № 356 от 01.08.2025, № 381 от 18.08.2025 и № 406 от 29.08.2025

№	Наименования показателя	Дата	Ед. изм.	Результаты
1	КМАФАнМ	01.08.25	КОЕ/см ³	7,5 10 ⁴
		18.08.25		3,5 10 ⁴
		29.08.25		4,5 10 ⁴
2	Патогенные микроорганизмы	01.08.25	в 25 см ³	Не выявлено
		18.08.25		Не выявлено
		• 29.08.25		Не выявлено

Применение усовершенствованной технологии позволяет осуществлять высококачественную санитарную обработку доильной установки, что удовлетворяет требованиям и нормам ГОСТ в полном объеме. Данная технология представляет интерес, как для крупных хозяйств, так и небольших фермерских хозяйств. Технические решения могут интегрироваться в состав автомата промывки, а также использоваться отдельно.

к.т.н., доцент кафедры «Технические

системы и технологии»

Аспирант

Гл. зоотехник

Гл. инженер



В.Ю. Матвеев

М.М. Маслов

А.А. Круглов

В.А. Цапин

Приложение В

Акт внедрения в производство (справочное)



УТВЕРЖДАЮ:
Председатель СПК «Заря»
И.А. Мараков

«29» августа 2025 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ в производство

результатов научно-исследовательской работы по модернизации и оптимизации системы санитарной обработки доильной установки за счет использования механических очистителей с активными рабочими органами и устройства их подачи.

Настоящий акт подтверждает, что в СПК «Заря» переданы от ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» материалы разработки и исследований усовершенствованной технологии санитарной обработки молокопровода, механических очистителей с активными рабочими органами и устройства их подачи.

Совершенствование технологии санитарной обработки доильной установки заключается в последовательной подаче механического очистителя с активным рабочим органом и чистящей поверхностью из поролона во время цикла предварительного ополаскивания, подачи 3 механических очистителей с активными рабочими органами и чистящей поверхностью из щетины во время циркуляционной мойки и подачи механических очистителей с активным рабочим органом и чистящей поверхностью из поролона во время цикла ополаскивания.

Для автоматизации процесса подачи механических очистителей используется устройство подачи механических очистителей, представляющее из себя корпус с размещенным внутри барабаном. Барабан соединен посредством вала с шаговым электродвигателем, управляемый микроконтроллером. Барабан, имеющий 5 отверстий под механические очистители, при вращении осуществляет подачу необходимого количества механических очистителей.

Механические очистители с активными рабочими органами состоят из чистящего элемента, корпуса со спиральными каналами и винта. Конструкционные особенности позволяют за счет снижения линейной скорости придать вращение механическому очистителю. Чистящий элемент может быть выполнен из поролона или щетины.

Результаты научно-исследовательской работы внедрены в производство и используются при санитарной обработке молокопроводов доильных установок на молочно-товарных фермах хозяйства.

От ГБОУ ВО НГИЭУ

Доцент кафедры к.т.н.

В.Ю. Матвеев В.Ю. Матвеев

Аспирант

М.М. Маслов М.М. Маслов

От предприятия

Председатель



И.А. Мараков И.А. Мараков

Приложение Г
Акт внедрения в учебный процесс
(справочное)

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
 И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**
 Государственное бюджетное
 образовательное учреждение
 высшего образования
 «Нижегородский государственный
 инженерно – экономический университет»
 (ГБОУ ВО НГИЭУ)

А К Т

20.03.2026 № 244/01-12
 г. Княгинино

Г О внедрение результатов диссертационной
 работы в учебный процесс

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе
 _____ Касимова Ж.В.



АКТ

внедрения результатов диссертации Маслова Максима Михайловича,
 представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
 в учебный процесс ГБОУ ВО НГИЭУ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ГБОУ ВО Нижегородский государственный инженерно-экономический университет: Е. В. Воронов – директор инженерного института, к.э.н., доцент; О. А. Тареева – заведующий кафедрой «Технические системы и технологии», к.т.н., доцент составили настоящий акт о том, что следующие результаты исследовательских работ, отраженные в диссертации на тему «Совершенствование технологии и технических средств санитарной обработки доильных установок линейного типа» на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, подготовленной на кафедре «Технические системы и технологии», реализованы в лаборатории кафедры:

1. Усовершенствованный способ санитарной обработки, техническая новизна которого подтверждена патентом на изобретение РФ № 2737968 C1;
2. Конструктивно-технологическая схема и образец устройства для подачи механических очистителей в молокопровод (патент РФ № 2688830 C1);
3. Конструктивно-технологическая схема и образец устройства для очистки молокопроводов доильных установок (патент РФ № 2728661 C1).

Материалы работы используются в учебном процессе для студентов высшего образования по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия при чтении лекций и проведении практических занятий в рамках дисциплин «Технологии, техника и оборудование в животноводстве» и «Технология ремонта машин».

Директор инженерного института
 к.э.н., доцент
 Заведующий кафедрой
 «Технические системы и технологии»
 к.т.н., доцент

 Е. В. Воронов

 О. А. Тареева

(справочное)

нержавеющей стали ($d_m=50\text{мм}$, $R_m=75\text{мм}$).

Диаметр корпуса d _к , мм	Толщина недеформируемого слоя чистящего элемента δ, мм																				
	35,0	34,5	34,0	33,5	33,0	32,5	32,0	31,5	31,0	30,5	30,0	29,5	29,0	28,5	28,0	27,5	27,0	26,5	26,0	25,5	25,0
0,5	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2	39,8	40,4	41,0	41,5	42,1	42,7	43,2	43,8	44,3	44,9	45,4	45,9	46,4	47,0	47,5	48,0
1	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2	39,8	40,4	41,0	41,5	42,1	42,7	43,2	43,8	44,3	44,9	45,4	45,9	46,4	47,0
1,5	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2	39,8	40,4	41,0	41,5	42,1	42,7	43,2	43,8	44,3	44,9	45,4	45,9
2	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2	39,8	40,4	41,0	41,5	42,1	42,7	43,2	43,8	44,3	44,9
2,5	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2	39,8	40,4	41,0	41,5	42,1	42,7	43,2	43,8
3	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2	39,8	40,4	41,0	41,5	42,1	42,7
3,5	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2	39,8	40,4	41,0	41,5
4	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2	39,8	40,4
4,5	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9	38,5	39,2
5	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6	37,3	37,9
5,5	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3	36,0	36,6
6	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9	34,6	35,3
6,5	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5	33,2	33,9
7	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0	31,7	32,5
7,5	0,0	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4	30,2	31,0
8			0,0	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7	28,5	29,4
8,5					0,0	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9	26,8	27,7
9							0,0	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0	25,0	25,9
9,5									0,0	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9	23,0	24,0
10											0,0	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6	20,8	21,9
10,5													0,0	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0	18,3	19,6
11															0,0	6,9	9,8	12,0	13,8	15,5	17,0
11,5																	0,0	6,9	9,8	12,0	13,8
12																			0,0	6,9	9,8
12,5																					0,0

Приложение Е (справочное)

Таблица Е.1 – Сравнительная оценка экспериментального и теоретического объема моюще-дезинфицирующего раствора

№	t	n	$V_{экс}$	$V_{теор}$
1	20	0	192,28	190,73
2	25	0	186,37	184,75
3	30	0	178,14	180,00
4	20	1	183,45	182,55
5	25	1	175,09	175,58
6	30	1	167,98	169,57
7	20	2	173,08	174,72
8	25	2	167,09	166,65
9	30	2	159,98	159,25
10	20	3	168,08	167,17
11	25	3	158,64	157,91
12	30	3	149,19	148,96
13	20	4	160,44	159,87
14	25	4	145,18	149,29
15	30	4	139,19	138,61
F-test			0,919	

Таблица Е.2 – План эксперимента по оптимизации геометрических параметров корпуса механического очистителя

№	Диаметр перепускного канала d_I , мм	Количество перепускных каналов n_I , ед	Количество витков спирали n_2 , ед	Скорость V , м/с	Частота вращения ω , c^{-1}
1	4	3	1,5	6,112	1,076
2	4	4	1,5	6,073	1,014
3	4	4	0,5	6,637	1,099
4	6	2	1,5	7,029	1,148
5	4	4	1,0	6,567	0,993
6	6	3	0,5	6,184	1,208
7	6	3	1,5	6,404	1,15
8	8	4	1,5	5,829	1,217
9	8	2	0,5	5,839	1,222
10	6	4	0,5	6,671	1,15
11	4	2	1,5	6,621	1,133
12	6	3	1,0	6,606	1,114
13	4	3	0,5	6,015	1,201
14	8	3	0,5	5,679	1,247
15	8	4	1,0	6,26	1,158
16	8	2	1,0	6,762	1,144
17	6	2	1,0	6,924	1,123
18	4	3	1,0	6,269	1,087
19	6	2	0,5	6,177	1,216
20	4	2	1,0	6,509	1,121
21	4	2	0,5	5,788	1,244
22	8	3	1,0	6,177	1,184
23	8	3	1,5	6,2	1,231
24	8	4	0,5	6,022	1,231
25	8	2	1,5	7,065	1,204
26	6	4	1,0	6,707	1,067
27	6	4	1,5	6,253	1,107

Analysis of Variance for y1

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:x1	0,0319202	1	0,0319202	17,20	0,0007
B:x2	0,159613	1	0,159613	85,99	0,0000
C:x3	0,368082	1	0,368082	198,31	0,0000
AA	0,557337	1	0,557337	300,28	0,0000
AB	0,305283	1	0,305283	164,48	0,0000
AC	0,117612	1	0,117612	63,37	0,0000
BB	0,365231	1	0,365231	196,78	0,0000
BC	1,39128	1	1,39128	749,59	0,0000
CC	0,45632	1	0,45632	245,85	0,0000
Total error	0,0315532	17	0,00185607		
Total (corr.)	3,78423	26			

R-squared = 99,1662 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 98,7248 percent
PRESS = 0,0789266
R-squared (predicted) = 97,9143 percent
Standard Error of Est. = 0,0430821
Mean absolute error = 0,0296461
Durbin-Watson statistic = 1,69746 (P=0,1908)
Lag 1 residual autocorrelation = 0,129907

Regression coeffs. for y1

Coefficient	Estimate
constant	2,18265
A:x1	1,03353
B:x2	-0,415
C:x3	3,94122
AA	-0,0761944
AB	-0,07975
AC	0,099
BB	0,246722
BC	-0,681
CC	-1,10311

Рисунок Е.1 – Результаты регрессионного анализа модели 4.3

Analysis of Variance for y2

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:x1	0,04205	1	0,04205	916,68	0,0000
B:x2	0,0149645	1	0,0149645	326,22	0,0000
C:x3	0,0160802	1	0,0160802	350,55	0,0000
AA	0,00106667	1	0,00106667	23,25	0,0001
AB	0,0152653	1	0,0152653	332,78	0,0000
AC	0,00621075	1	0,00621075	135,39	0,0000
BB	0,0030375	1	0,0030375	66,22	0,0000
CC	0,023064	1	0,023064	502,79	0,0000
Total error	0,000825694	18	0,0000458719		
Total (corr.)	0,122565	26			

R-squared = 99,3263 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99,0269 percent
PRESS = 0,00196417
R-squared (predicted) = 98,3974 percent
Standard Error of Est. = 0,00677288
Mean absolute error = 0,00404938
Durbin-Watson statistic = 2,01956 (P=0,5262)
Lag 1 residual autocorrelation = -0,199122

Regression coeffs. for y2

Coefficient	Estimate
constant	1,7405
A:x1	-0,0920833
B:x2	-0,000833333
C:x3	-0,692278
AA	0,00333333
AB	0,0178333
AC	0,02275
BB	-0,0225
CC	0,248

Рисунок Е.2 – Результаты регрессионного анализа модели 4.4

Таблица Е.3 – План эксперимента по оптимизации параметров чистящего элемента механического очистителя

№	Длина щетины l_1 , мм	Плотность щетины n_1 , ед/см	Диаметр щетины d , мм ²	Скорость V , м/с	Частота вращения ω , с ⁻¹
1	10	20	1	5,8	1,03
2	15	20	1	5,1	1,32
3	20	20	1	5,4	1,32
4	10	30	1	5,8	1,03
5	15	30	1	5,2	1,22
6	20	30	1	5,5	1,15
7	10	40	1	5,8	1,02
8	15	40	1	5,1	1,12
9	20	40	1	5,4	1,07
10	10	20	1,5	5,7	1,14
11	15	20	1,5	5	1,43
12	20	20	1,5	5,3	1,37
13	10	30	1,5	5,8	1,22
14	15	30	1,5	5,1	1,38
15	20	30	1,5	5,4	1,25
16	10	40	1,5	5,8	1,28
17	15	40	1,5	5,1	1,3
18	20	40	1,5	5,3	1,1
19	10	20	2	5,9	1,1
20	15	20	2	5,2	1,27
21	20	20	2	5,3	1,08
22	10	30	2	6	1,22
23	15	30	2	5,3	1,23
24	20	30	2	5,5	1,07
25	10	40	2	6	1,28
26	15	40	2	5,3	1,25
27	20	40	2	5,4	1

Analysis of Variance for Var 1

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Factor A	0,933889	1	0,933889	799,77	0,0000
B:Factor B	0,0138889	1	0,0138889	11,89	0,0029
C:Factor C	0,0355556	1	0,0355556	30,45	0,0000
AA	1,27574	1	1,27574	1092,53	0,0000
AC	0,03	1	0,03	25,69	0,0001
BB	0,0312963	1	0,0312963	26,80	0,0001
BC	0,0075	1	0,0075	6,42	0,0208
CC	0,0740741	1	0,0740741	63,44	0,0000
Total error	0,0210185	18	0,0011677		
Total (corr.)	2,42296	26			

R-squared = 99,1325 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 98,747 percent
R-squared (predicted) = 97,9134 percent (PRESS = 0,0505583)
Standard Error of Est. = 0,0341716
Mean absolute error = 0,0247599
Durbin-Watson statistic = 2,15786 (P=0,3762)
Lag 1 residual autocorrelation = -0,173927

Regression coeffs. for Var 1

Coefficient	Estimate
constant	9,8713
A:Factor A	-0,568889
B:Factor B	0,0386111
C:Factor C	-1,09444
AA	0,0184444
AC	-0,02
BB	-0,000722222
BC	0,005
CC	0,444444

Рисунок Е.3 – Результаты регрессионного анализа модели 4.8

Analysis of Variance for Var 2

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
B:Factor B	0,0227556	1	0,0227556	25,89	0,0001
AA	0,0988167	1	0,0988167	112,43	0,0000
AB	0,0690083	1	0,0690083	78,52	0,0000
AC	0,0690083	1	0,0690083	78,52	0,0000
BC	0,0243	1	0,0243	27,65	0,0000
CC	0,0864	1	0,0864	98,31	0,0000
Total error	0,0175778	20	0,000878889		
Total (corr.)	0,387867	26			

R-squared = 95,4681 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 94,1085 percent

R-squared (predicted) = 91,4867 percent (PRESS = 0,0330202)

Standard Error of Est. = 0,0296461

Mean absolute error = 0,0215638

Durbin-Watson statistic = 2,42629 (P=0,7336)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,242871

Regression coeffs. for Var 2

Coefficient	Estimate
constant	-1,72833
A:Factor A	0,245
B:Factor B	0,00569444
C:Factor C	1,625
AA	-0,00513333
AB	-0,00151667
AC	-0,0303333
BC	0,009
CC	-0,48

Рисунок Е.4 – Результаты регрессионного анализа модели 4.9

Таблица Е.4 – План эксперимента по обоснованию необходимого количества и типа механического очистителя

№	Количество механических очистителей п, ед	Тип механического очистителя *	Уровень КМАФАНМ, 10 ⁵ КОЕ/см ²
1	1	1	3,3
2	2	1	3,0
3	3	1	2,8
4	4	1	2,4
5	5	1	2,2
6	6	1	2,1
7	1	2	3,1
8	2	2	2,9
9	3	2	2,7
10	4	2	2,6
11	5	2	2,5
12	6	2	2,4
13	1	3	2,3
14	2	3	1,9
15	3	3	1,7
16	4	3	1,35
17	5	3	1,34
18	6	3	1,3

* тип применяемого механического очистителя: тип 1 – поролоновый механический очиститель; тип 2 – механический очиститель с активными рабочими органами и чистящей поверхностью из поролона; тип 3 – механический очиститель с активными рабочими органами и чистящим элементом из щетины

Analysis of Variance for Var 1

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Factor A	2,02665	1	2,02665	160,82	0,0000
B:Factor B	2,91067	1	2,91067	230,96	0,0000
AA	0,0789349	1	0,0789349	6,26	0,0265
BB	1,25067	1	1,25067	99,24	0,0000
Total error	0,16383	13	0,0126023		
Total (corr.)	6,43076	17			

R-squared = 97,4524 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 96,6685 percent

R-squared (predicted) = 94,6085 percent (PRESS = 0,346716)

Standard Error of Est. = 0,11226

Mean absolute error = 0,0838501

Durbin-Watson statistic = 0,797394 (P=0,0001)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,569191

Regression coeffs. for Var 1

Coefficient	Estimate
constant	2,38378
A:Factor A	-0,38231
B:Factor B	1,74417
AA	0,0265476
BB	-0,559167

Рисунок Е.5 – Результаты регрессионного анализа модели 4.12

Таблица Е.5 – План эксперимента по оптимизации времени подачи
механического очистителя

№	Время подачи t_1 , мин	Интервал времени между смежными МО Δt , мин	Уровень КМАФАнМ, 10^3 КОЕ/см ²
1	1	0	134
2	6	0	128
3	11	0	149
4	16	0	165
5	21	0	200
6	1	0,5	121
7	6	0,5	119
8	11	0,5	138
9	16	0,5	160
10	21	0,5	195
11	1	1	117
12	6	1	116
13	11	1	135
14	16	1	155
15	21	1	190
16	1	1,5	121
17	6	1,5	119
18	11	1,5	139
19	16	1,5	159
20	21	1,5	195
21	1	2	134
22	6	2	130
23	11	2	145
24	16	2	170
25	21	2	200

Analysis of Variance for y

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:x1	16308,2	1	16308,2	2003,50	0,0000
AA	2073,73	1	2073,73	254,76	0,0000
BB	678,914	1	678,914	83,41	0,0000
Total error	170,937	21	8,13986		
Total (corr.)	19231,8	24			

R-squared = 99,1112 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 98,9842 percent
 PRESS = 240,495
 R-squared (predicted) = 98,7495 percent
 Standard Error of Est. = 2,85304
 Mean absolute error = 2,19886
 Durbin-Watson statistic = 2,72303 (P=0,9328)
 Lag 1 residual autocorrelation = -0,42008

Regression coeffs. for y

Coefficient	Estimate
constant	131,314
A:x1	-1,17771
B:x2	-24,9143
AA	0,217714
BB	12,4571

Рисунок Е.6 – Результаты регрессионного анализа модели 4.14

Таблица Е.6 – План эксперимента по выбору оптимального объема моюще-дезинфицирующего раствора и времени его циркуляции в зависимости от количества используемых механических очистителей

№	Объем V, л	Время циркуляции t, мин	Кол-во МО, n шт.	Уровень КМАФАнМ, 10 ³ КОЕ/см ²
1	140	20	0	340
2	160	20	0	320
3	180	20	0	305
4	140	25	0	298
5	160	25	0	275
6	180	25	0	260
7	140	30	0	265
8	160	30	0	240
9	180	30	0	210
10	140	20	1	310
11	160	20	1	290
12	180	20	1	265
13	140	25	1	273
14	160	25	1	250
15	180	25	1	230
16	140	30	1	245
17	160	30	1	220
18	180	30	1	195
19	140	20	2	290
20	160	20	2	255
21	180	20	2	245
22	140	25	2	260
23	160	25	2	235
24	180	25	2	220
25	140	30	2	235
26	160	30	2	215
27	180	30	2	190

Продолжение таблицы Е.6

28	140	20	3	255
29	160	20	3	230
30	180	20	3	210
31	140	25	3	235
32	160	25	3	210
33	180	25	3	183
34	140	30	3	210
35	160	30	3	185
36	180	30	3	168
37	140	20	4	200
38	160	20	4	185
39	180	20	4	163
40	140	25	4	195
41	160	25	4	174
42	180	25	4	160
43	140	30	4	190
44	160	30	4	161
45	180	30	4	150

Analysis of Variance for Var 1

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Factor A	7363,33	1	7363,33	449,73	0,0000
B:Factor B	25288,0	1	25288,0	1544,51	0,0000
AB	1022,45	1	1022,45	62,45	0,0000
AC	620,817	1	620,817	37,92	0,0000
BC	49881,7	1	49881,7	3046,61	0,0000
CC	3240,64	1	3240,64	197,93	0,0000
Total error	622,168	38	16,3728		
Total (corr.)	88039,1	44			

R-squared = 99,2933 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 99,1817 percent
 PRESS = 926,053
 R-squared (predicted) = 98,9481 percent
 Standard Error of Est. = 4,04634
 Mean absolute error = 3,30991
 Durbin-Watson statistic = 0,713408 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,610205

Regression coeffs. for Var 1

Coefficient	Estimate
constant	621,274
A:Factor A	-0,862667
B:Factor B	-8,42
C:Factor C	-56,4151
BC	1,59667
CC	-2,15873

Рисунок Е.7 – Результаты регрессионного анализа модели 4.16

Приложение Ж

Протоколы испытания

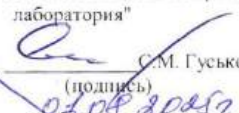
(справочное)

Государственное бюджетное учреждение Нижегородской области
"Госветуправление Пильнинского муниципального округа"
ГБУ НО "Госветуправление Пильнинского муниципального округа"

Адрес и место нахождения юридического лица:
607490, Нижегородская область, Пильнинский м.о., р.п. Пильна, ул. Мира, д. 41

Адрес места осуществления деятельности
Испытательной лаборатории
ИЛ "Пильнинская ветеринарная лаборатория"
607490, Нижегородская область, Пильнинский м.о., р.п. Пильна, ул. Свободы, д. 27
Телефон: (8 831 92)5-17-81; Электронная почта: vetpilna@yandex.ru, pilninskaja.vetlaboratoria@yandex.ru
Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц RA.RU.21ПЮ95



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель
Испытательной лаборатории
ИЛ "Пильнинская ветеринарная лаборатория"

С.М. Гусев
(подпись)
02.08.2025
(дата утверждения)

Протокол испытаний № 356-25 от 01.08.2025

Наименование образца испытаний: Молоко сырое \ Молоко сырое коровье, молоко коровье сырое охлажденное
принадлежащего: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН: 5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -
заказчик: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН: 5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -
основание для проведения лабораторных исследований: обращение владельца перемещаемого (перевозимого) объекта
место отбора проб: Российская Федерация, Нижегородская обл., СПК "Заря", Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. 24
акт отбора проб: № 4480247 от 29.07.2025 г.
№ сейф-пакета: 354
дата и время отбора проб: 29.07.2025 08:00
отбор проб произвел: ведущий ветеринарный врач Николаева Валентина Георгиевна, Круглов А.А. (зав МТФ)
в присутствии: зав МТФ Круглов А.А.
НД, регламентирующий правила отбора: ГОСТ 26809.1-2014, ГОСТ 32164-2013
масса партии: 6307 килограмм
количество в партии: 1 штука
производство: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН: 5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -
Фактический адрес: СПК "Заря", Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. 24
дата изготовления: 29.07.2025:08
срок годности: 30.07.2025:20
масса пробы: 1 килограмм
количество проб: 1 проба
дата поступления: 29.07.2025 09:50
даты проведения испытаний: 29.07.2025 - 01.08.2025
на соответствие требованиям: ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" ТР ТС 033/2013 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции"
Результаты испытаний:

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Результат испытаний	Применяемая погрешность, методика измерений	Норматив	НД на метод испытаний
Микробиологические показатели						
1	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	7,5x10 ⁴	не предусмотрена	не более 5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 - Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа, п.8.4
2	Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	-	не обнаружено	не предусмотрена	не допускается в 25 см ³	ГОСТ 31659-2012 - ГОСТ 31659-2012 (01/07/2013) Межгосударственный стандарт.Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода Salmonella, п.8.1-8.4
3	Соматические клетки	в 1 см ³	2,9x10 ⁵	не предусмотрена	не более 7,5x10 ⁵	ГОСТ 23453-2014 - Молоко сырое. Методы определения соматических клеток, п.6
Показатели качества						
4	Массовая доля белка	%	3,1	0,18	не менее 2,8	ГОСТ 25179-2014 - Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка, п.6
5	Массовая доля жира	%	4,0	0,15	не менее 2,8	ГОСТ 5867-2023 - Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира, п.6.3.1

Протокол № 356-25 от 01.08.2025

Сгенерировано автоматизированной системой «Веста». Идентификатор документа: C8D3D7DE-9B5F-4BEE-B3EE-13CF70AFAAD3

**Государственное бюджетное учреждение Нижегородской области
"Госветуправление Пильнинского муниципального округа"
ГБУ НО "Госветуправление Пильнинского муниципального округа"**

Адрес и место нахождения юридического лица:
607490, Нижегородская область, Пильнинский м.о., р.п. Пильна, ул. Мира, д. 41

**Адрес места осуществления деятельности
Испытательной лаборатории
ИЛ "Пильнинская ветеринарная лаборатория"**
607490, Нижегородская область, Пильнинский м.о., р.п. Пильна, ул. Свободы, д. 27
Телефон: (8 831 92)5-17-81; Электронная почта: vetpilna@yandex.ru, pilninskaja.vetlaboratoria@yandex.ru
Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц RA.RU.21ПЮ95



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель
Испытательной лаборатории
ИЛ "Пильнинская ветеринарная
лаборатория"

С.М. Гусев
(подпись)

(дата утверждения)

Протокол испытаний № 381-25 от 18.08.2025

Наименование образца испытаний: Молоко сырое \ Молоко сырое коровье, молоко коровье сырое охлажденное
принадлежащего: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН: 5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -
заказчик: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН: 5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -
основание для проведения лабораторных исследований: обращение владельца перемещаемого (перевозимого) объекта
место отбора проб: Российская Федерация, Нижегородская обл., СПК "Заря", Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. 24
акт отбора проб: № 4508665 от 14.08.2025 г.
№ сейф-пакета: 378

дата и время отбора проб: 14.08.2025 08:00

отбор проб произвел: ведущий ветеринарный врач Николаева Валентина Георгиевна, Круглов А.А. (зав МТФ)

в присутствии: зав МТФ Круглов А.А.

НД, регламентирующий правила отбора: ГОСТ 26809.1-2014, ГОСТ 32164-2013

масса партии: 6383 килограмма

количество в партии: 1 штука

производство: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН:

5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -

Фактический адрес: СПК "Заря", Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. 24

дата изготовления: 14.08.2025.08

срок годности: 15.08.2025.20

масса проб: 1 килограмм

количество проб: 1 проба

дата поступления: 14.08.2025 10:40

даты проведения испытаний: 14.08.2025 - 18.08.2025

на соответствие требованиям: ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" ТР ТС 033/2013 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции"

Результаты испытаний:

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Результат испытаний	Применяемая погрешность, методика измерений	Норматив	НД на метод испытаний
Микробиологические показатели						
1	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	3,5х10 ⁴	не предусмотрена	не более 5х10 ⁵	32901-2014 - Молоко и молочная продукция: Методы микробиологического анализа, п.8.4
2	Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	-	не обнаружено	не предусмотрена	не допускается в 25 см ³	ГОСТ 31659-2012 - ГОСТ 31659-2012 (01.07.2013) Межгосударственный стандарт. Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода Salmonella, п.8.1-8.4
3	Соматические клетки	п.1 см ³	4,0х10 ⁵	не предусмотрена	не более 7,5х10 ⁵	ГОСТ 23453-2014 - Молоко сырое. Методы определения соматических клеток, п.5
Показатели качества						
4	Массовая доля белка	%	3,1	0,18	не менее 2,8	ГОСТ 25179-2014 - Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка, п.6
5	Массовая доля жира	%	4,0	0,15	не менее 2,8	ГОСТ 5867-2023 - Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира, п.6.3.1

Протокол № 381-25 от 18.08.2025

Сгенерировано автоматизированной системой «Веста». Идентификатор документа: 9AAE3410-33C0-4394-8A5C-10C5B7851644

**Государственное бюджетное учреждение Нижегородской области
"Госветуправление Пильнинского муниципального округа"
ГБУ НО "Госветуправление Пильнинского муниципального округа"**

Адрес и место нахождения юридического лица:
607490, Нижегородская область, Пильнинский м.о., р.п. Пильна, ул. Мира, д. 41

**Адрес места осуществления деятельности
Испытательной лаборатории
ИЛ "Пильнинская ветеринарная лаборатория"**
607490, Нижегородская область, Пильнинский м.о., р.п. Пильна, ул. Свободы, д. 27
Телефон: (8 831 92)5-17-81; Электронная почта: vetpilna@yandex.ru, pilninskaja.vetlaboratoriya@yandex.ru
Уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц RA.RU.21ПНО95



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель
Испытательной лаборатории
ИЛ "Пильнинская ветеринарная
лаборатория"
С.М. Гуськов
(подпись)
29.08.2025
(дата утверждения)

Протокол испытаний № 406-25 от 29.08.2025

Наименование образца испытаний: Молоко сырое \ Молоко сырое коровье, молоко коровье сырое охлажденное
принадлежащего: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН: 5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -
заказчик: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН: 5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -
основание для проведения лабораторных исследований: обращение владельца перемещаемого (перевозимого) объекта
место отбора проб: Российская Федерация, Нижегородская обл., СПК "Заря", Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. 24
акт отбора проб: № 4524396 от 25.08.2025 г.
№ сейф-пакета: 404
дата и время отбора проб: 25.08.2025 08:00
отбор проб произвел: ведущий ветеринарный врач Николаева Валентина Георгиевна, Круглов А.А. (зав МТФ)
в присутствии: зав МТФ Круглов А.А.
НД, регламентирующий правила отбора: ГОСТ 26809.1-2014, ГОСТ 32164-2013
масса партии: 6080 килограмм
количество в партии: 1 штука
производство: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КООПЕРАТИВ (СЕЛЬХОЗАРТЕЛЬ) "ЗАРЯ", ИНН: 5226012247, 607483, Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. Д. 24, -
Фактический адрес: СПК "Заря", Российская Федерация, Нижегородская обл., Пильнинский район, с. Ожиговка, Ленина ул., д. 24
дата изготовления: 25.08.2025:08
срок годности: 26.08.2025:20
масса пробы: 1 килограмм
количество проб: 1 проба
дата поступления: 25.08.2025 10:30
даты проведения испытаний: 25.08.2025 - 29.08.2025
на соответствие требованиям: ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" ТР ТС 033/2013 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции"

Результаты испытаний:

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Результат испытаний	Циркулирующая погрешность методики измерений	Норматив	НД на метод испытаний
Микробиологические показатели						
1	КМАФАнМ	КОЕ/см³	4,5x10⁴	не предусмотрена	не более 5x10⁵	ГОСТ 32901-2014 - Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа, п.8.4
2	Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	"	не обнаружено	не предусмотрена	не допускается в 25 см³	ГОСТ 31689-2012 (ISO 6579:2002) - Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода Salmonella, п.8.1-8.4
3	Соматические клетки	в 1 см³	2,8x10⁵	не предусмотрена	не более 7,5x10⁵	ГОСТ 23453-2014 - Молоко сырое. Методы определения соматического клеточного числа
Показатели качества						
4	Массовая доля белка	%	3,22	0,18	не менее 2,8	ГОСТ 25179-2014 - Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка, п.6
5	Массовая доля жира	%	4,0	0,15	не менее 2,8	ГОСТ 5867-2023 - Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира, п.6.3.1
Физико-химические показатели						
6	Группа чистоты	группа	1	не предусмотрена	не ниже 1	ГОСТ 8218-89 - Молоко. Метод определения чистоты

Протокол № 406-25 от 29.08.2025

Сгенерировано автоматизированной системой «Веста». Идентификатор документа: A7CE8800-E06F-440D-ADB5-06692C34B091

Приложение 3

Методика расчета показателей экономической эффективности (обязательное)

Экономическую эффективность внедрения определяли по формуле [116]:

$$\mathcal{E}_z = (I_{\text{б}} - I_{\text{н}}) \cdot Q - E_{\text{н}} \cdot B_{\text{м}} + \frac{Q \cdot \Delta C}{100}, \quad (3.1)$$

где $\mathcal{E}_z$ – годовой экономический эффект, руб.;

$I_{\text{б}}$ и $I_{\text{н}}$ – удельные производственно-эксплуатационные затраты по базовому и предлагаемому вариантам, руб./ц;

Q – годовой валовой надой молока от коров, обслуживаемых доильной установкой, ц;

$E_{\text{н}}$ – отраслевой нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_{\text{н}} = 0,15$ [116];

$B_{\text{м}}$ – размер капиталовложений на модернизацию доильной установки для реализации усовершенствованного способа промывки, руб.;

ΔC – размер увеличения цены молока за счет повышения его качества, руб./ц.

Удельные производственно-эксплуатационные затраты определяли по формуле [116]:

$$I = \frac{(Z + A + Z_{\text{тор}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{г}}) \cdot \Pi}{Q}, \quad (3.2)$$

где Z – затраты на оплату труда оператора мойки молокопровода, руб.;

A – амортизационные отчисления, руб.;

$Z_{\text{тор}}$ – отчисления на ремонт и техническое обслуживание оборудования, руб.;

$C_{эл}$ – затраты на электроэнергию в период мойки молокопровода, руб.;

$C_в$ – затраты на воду, используемую на мойку молокопровода, руб.;

Π – коэффициент, учитывающий прочие прямые затраты, $\Pi = 1,05$.

Заработную плату оператора доильной установки при мойке молокопровода определяли по следующей формуле [116]:

$$З = (З_{осн} + З_{доп}) \cdot (1 + H_{отч}), \quad (3.3)$$

где $З_{осн}$ – основная оплата труда, руб.;

$З_{доп}$ – дополнительная оплата труда, руб.;

$H_{отч}$ – норматив отчислений на социальные нужды, $H_{отч} = 0,26$.

Основную заработную плату обслуживающего персонала рассчитывали по формуле [116]:

$$З_{осн} = n \cdot C_q \cdot T, \quad (3.4)$$

где n – количество обслуживающего персонала доильной установки, задействованного на цикле мойки, чел.;

C_q – часовая тарифная ставка работника, руб./час;

T – годовая трудоемкость работ по санитарной обработке молокопровода доильной установки, час.

Дополнительную заработную плату работника, задействованного на санитарной обработке доильной установки, определяли по следующей зависимости [116]:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot (K - 1), \quad (3.5)$$

где K – коэффициент, учитывающий начисления на заработную плату и различного рода доплаты, $K = 1,025 - 1,030$, принимаем $K = 1,03$.

Размер амортизационных отчислений рассчитывался по формуле [116]:

$$A = B_c \cdot \frac{a}{100}, \quad (3.6)$$

где B_c – балансовая стоимость доильной установки, руб.;

a – процент амортизационных отчислений в год.

Для расчета балансовой стоимости применяли следующую зависимость [116]:

$$B_c = Ц \cdot m, \quad (3.7)$$

где B_c – цена доильной установки, руб.;

m – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку и монтаж, $m = 1,2 - 1,4$, принимаем $m = 1,2$.

Процент амортизационных отчислений рассчитывался на основании линейного метода начислений [116]:

$$a = 100/T, \quad (3.8)$$

где T – срок службы доильной установки, лет. Принимаем $T = 7$ лет.

$$a = 100:7 = 14,3 \%$$

Объем затрат на техническое обслуживание и ремонт доильной установки определяли по формуле [116]:

$$З_{\text{ТОР}} = B_c \cdot \frac{r}{100}, \quad (3.9)$$

где r – годовая норма отчислений на техническое обслуживание и ремонт, $r = 18 \%$ [116].

Затраты на электроэнергию, относящиеся к процессу мойки молокопровода, определяли по следующим выражениям [116]:

$$\Pi_э = C_э \cdot M_э \cdot T_м, \quad (3.10)$$

где $C_э$ – стоимость 1 кВт энергии, руб.;

$M_э$ – суммарная мощность потребителей электроэнергии, задействованных при циркуляционной мойке доильной установки, кВт;

$T_м$ – годовая наработка доильной установки в режиме мойки, ч.

Затраты на воду, расходуемую на процесс мойки молокопровода, определяли по следующим выражениям [116]:

$$\Pi_в = C_в \cdot M_в \cdot T_м, \quad (3.11)$$

где $C_в$ – стоимость 1 кВт энергии, руб.;

$M_в$ – суммарная мощность водонапорного оборудования, кВт;

$T_м$ – годовая наработка доильной установки в режиме мойки, ч;

Срок окупаемости капитальных вложений на доильные установки с усовершенствованной технологией санитарной обработки определяли по формуле [116]:

$$T_{ок} = \frac{B_м}{\mathcal{E}_э}. \quad (3.12)$$

Таблица 3.1 – Исходные данные для определения экономической эффективности

Наименование экономических показателей	Сравниваемые варианты			
	базовый		новый	
	обозначение	величина	обозначение	величина
Цена доильной установки, руб	Ц _Б	1508900	Ц _Н	1608900
Срок службы доильной установки, лет	Т _с	7	Т _с	7
Продолжительность эксплуатации доильной установки в год, дней	Т _Г	365	Т _Г	365
Общая мощность, кВт	N _Б	22,2	N _Н	22,2
в том числе мощность на мойку		14,5		14,5
Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.	с _э	11,71	с _э	11,71
Стоимость моюще-дезинфицирующих средств, руб/л	с _м	300	с _м	300
Расход воды на мойку после каждого доения, л	q _Б	440	q _Н	420
Рекомендуемая концентрация моюще-дезинфицирующего раствора, %		0,5%		0,5%
Расход моюще-дезинфицирующего средства на мойку после каждого доения, л		0,73		0,70
Количество операторов мойки молокопровода, чел.	n	1	n	1
Продолжительность мойки, минут	t	45	t	30
Часовая ставка оплаты труда оператора мойки молокопровода, руб.	с _ч	352	с _ч	352
Продуктивность коров, кг	Q _Б	8937	Q _Н	8937
Число коров, выдаиваемых на установке, гол.	M _Б	104	M _Н	104
Кратность доения, раз	ε	3	ε	3
Закупочная цена на молоко, руб./ц:	Ц ₁	3100	Ц ₁	3100
	Ц ₂	2800	Ц ₂	2800

Таблица 3.2 – Результаты расчета показателей экономической эффективности

Наименование экономических показателей	Сравниваемые варианты	
	базовый	новый
Расчетный годовой надой молока от стада коров, ц	32620,05	32620,05
Продолжительность одной дойки, ч	2	1,75
Продолжительность мойки молокопровода после каждого доения, ч	0,75	0,50
Годовые затраты времени на мойку молокопровода, ч	2190	1916,25
Рост производительности труда оператора мойки молокопровода, %	-	12,50
Удельные производственно-эксплуатационные затраты от использования системы мойки, руб./ц	46,54	37,42
в том числе:		
зарплата с начислениями		
амортизация и ремонт		
электроэнергия		
вода		
моющие средства	7,39	7,05
Годовой экономический эффект от снижения производственно-эксплуатационных затрат, руб.	-	297425
Увеличение стоимости молока из-за повышения его качества, %	-	10,71
Годовой эффект, обусловленный повышением качества реализуемого молока, руб.	-	349501
Годовая экономия, руб.	-	646926