

Ю.В. Трофимов<sup>1</sup>, к.т.н., С.И. Лишик<sup>1</sup>, к.т.н., О.Л. Сороко<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,  
Е.В. Беспалова<sup>2</sup>, к.т.н., доцент, А.Н. Полин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственное предприятие «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»,

<sup>2</sup>Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ДЕКОНТАМИНАЦИИ МОЛОКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ СВЕТОДИОДНЫМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ РЕАКТОРОМ

Yu. Trofimov<sup>1</sup>, S. Lishik<sup>1</sup>, O. Soroko<sup>2</sup>, E. Bespalova<sup>2</sup>, A. Polyn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State enterprise «Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus»,

<sup>2</sup>Institute of Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus

## PROSPECTS OF DECONTAMINATION OF MILK BY EXPERIMENTAL LED ULTRAVIOLET REACTOR

e-mail: info@ledcenter.by, sergey.lishik@gmail.com, olegSOROKO@tut.by, bespalova-kat@mail.ru

Разработана экспериментальная установка для светодиодного УФ обеззараживания молока-сырья в реакторе типа Куэтта-Тейлора. Исследовано влияние технологических и физико-химических факторов на эффективность деконтаминации молочного сырья при обработке на экспериментальном образце светодиодного УФ реактора. Проанализировано воздействие параметров светодиодной УФ обработки на обеззараживание молочного сырья. Предложены основные направления внедрения светодиодной ультрафиолетовой обработки молочного сырья в условиях Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** ультрафиолетовое излучение, течение Куэтта-Тейлора, яркость светодиодов, обеззараживание молока, пастеризация, микробиологические показатели, психротрофные и факультативно-анаэробные микроорганизмы.

An experimental installation for LED UV disinfection of raw milk in a Couette-Taylor type reactor has been developed. The influence of technological and physical and chemical factors on the effectiveness of decontamination of dairy raw materials during processing on an experimental sample of LED UV reactor has been investigated. The effect of LED UV treatment parameters on the disinfection of dairy raw materials has been analyzed. The main directions of implementation of LED UV treatment of dairy raw materials in the conditions of the Republic of Belarus are proposed.

**Keywords:** ultraviolet radiation, Couette-Taylor flow, LED brightness, milk disinfection, pasteurization, microbiological indicators, psychrotrophic and facultative anaerobic microorganisms.

**Введение.** В настоящее время с целью деконтаминации микрофлоры молока и увеличения сроков его хранения широко используются технологии пастеризации и высокотемпературной стерилизации. Несмотря на известные преимущества, у данных технологий имеется ряд недостатков, обусловленных необратимыми физико-химическими и биохимическими изменениями при нагреве молока, которые негативно влияют на пищевую и биологическую ценность молока, а также ухудшают вкус, запах и технологические свойства. Некоторые термолабильные белки, например, лактоферрин, при тепловой пастеризации и вовсе разрушаются.

Известны альтернативные способы нетепловой («холодной») обработки молока, основанные на микрофильтрации, электроимпульсионном, ультразвуковом и ультрафиолетовом (УФ) воздействии, а также СВЧ обработке молока [1]. Одним из наиболее перспективных методов является УФ обработка молока. Традиционная пастеризация молока – процесс достаточно энергоемкий: для нагрева 1 м<sup>3</sup> молока до температуры пастеризации и последующего охлаждения затрачивается свыше 16 кВт/ч

электроэнергии, в то время как при применении УФ обработки молока этот показатель может быть уменьшен более чем в три раза [2].

Таким образом, проведение исследований и разработок в области УФ обработки молока является актуальной научно-технической задачей, которая может дать значительный экономический эффект.

**Экспериментальный образец светодиодного УФ реактора.**

Экспериментальный образец светодиодного УФ реактора для деконтаминации молочного сырья при помощи ультрафиолетового излучения диапазона С (200–280 нм) разработан научными сотрудниками государственного предприятия «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси».

Внешний вид установки представлен на рисунке 1.

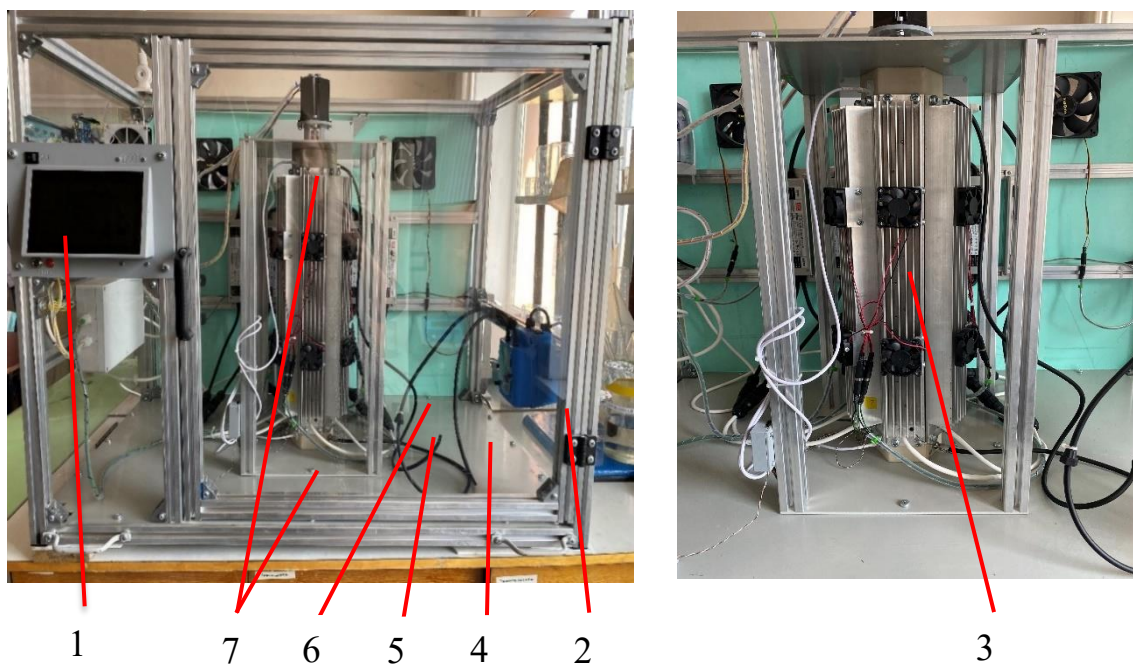


Рисунок 1 – Внешний вид экспериментального образца светодиодного УФ реактора  
Источник данных: собственная разработка.

Данная установка, согласно рисунку, оснащена сенсорной панелью управления (1), что позволяет регулировать интенсивность свечения УФ светодиодов и интенсивность перемешивания молока, а также осуществлять контроль температуры входящего/выходящего потоков молока. Скорость подачи молока регулируется насосом (2) с максимальной производительностью до 20 литров в час. Технические характеристики установки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики экспериментального образца светодиодного УФ реактора

Характеристика	Значение
Напряжение питания, В/Гц	230/50
Потребляемая мощность, Вт	<1000
Емкость молока в трубе, л	0,25
Диапазон УФ-излучения, нм	200–280
Габариты (ДхШхВ)	1000х600х750
Масса, кг	30

Источник данных: собственная разработка.

Особенностью молока-сырья является низкая проницаемость для УФ-С излучения – слой молока толщиной 100 мкм поглощает около 90 % проходящего через него излучения. Для решения этой проблемы внутри камеры обеззараживания (3) формируется течение Куэтта-Тейлора – в гидродинамике течение вязкой жидкости, возникающее под действием сил вязкого трения между двумя вращающимися с разными скоростями соосными цилиндрами.

Схематическое изображение течения Куэтта-Тейлора представлено на рисунке 2.

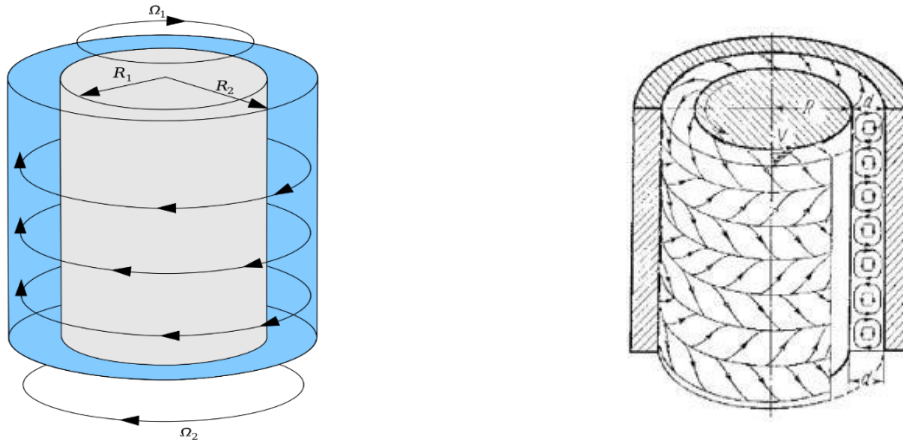


Рисунок 2 – Схематическое изображение течения Куэтта-Тейлора

Источник данных: собственная разработка.

Перистальтический насос (2), захватывая молоко из стерильной ёмкости шлангом (4) создаёт поток жидкости, направляемый через шланг (5) в камеру обеззараживания (3). В ней молоко обрабатывается ультрафиолетовым излучением светодиодов с регулируемой мощностью. Обработанное молоко выходит через шланг (6) и собирается в отдельную стерильную ёмкость. Скорость подачи регулируется шаговым двигателем с помощью изменения количества оборотов, а температура обработки контролируется датчиками (7) на входе и выходе из камеры обеззараживания (3). После завершения процесса светодиодной ультрафиолетовой обработки оставшееся молоко сливается через систему подачи с помощью перестановки шлангов и повторного запуска насоса (2).

#### **Влияние технологических и физико-химических факторов на эффективность деконтаминации молочного сырья при обработке на экспериментальном образце светодиодного УФ реактора.**

На эффективность деконтаминации молочного сырья при обработке его на экспериментальном образце светодиодного УФ реактора оказывают влияния различные технологические и физико-химические факторы: массовая доля жира в молочном сырье, процесс гомогенизации и пастеризации, а также их взаимосвязь с эффективностью обработки в светодиодном УФ реакторе. Каждый из этих факторов играет важную роль в формировании условий для достижения оптимального уровня.

Массовая доля жира в молочном сырье оказывает существенное влияние на эффективность обеззараживания при обработке светодиодным ультрафиолетовым излучением. Жировая структура молока создает оптические и физические препятствия для прохождения УФ лучей, что приводит к снижению степени инактивации микроорганизмов. В частности, молекулы жира способны поглощать и рассеивать УФ-излучение, уменьшая таким образом интенсивность облучения, достигающего патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, присутствующих в молоке [1].

С увеличением массовой доли жира в молочном сырье возрастает уровень оптической плотности среды, что приводит к уменьшению глубины проникновения

УФ-излучения в продукт. В результате снижается эффективность обеззараживания и обработка становится менее однородной, создавая условия для выживания микроорганизмов в зонах с низкой интенсивностью облучения.

Наличие жировых шариков в молочном сырье способствует формированию физического барьера вокруг клеток микроорганизмов, частично закрывая их от УФ излучения. Следовательно, для достижения необходимого уровня обеззараживания молока с высокой жирностью требуется увеличение дозы УФ-излучения.

На основании результатов исследований для обработки коровьего молока выбран следующий оптимальный режим: скорость вращения вала внутри экспериментальной установки 100 об/мин и яркость светодиодов 75%. Выбор данного режима обработки молока-сырья на экспериментальном светодиодном УФ реакторе обусловлен оптимальным балансом между эффективностью деконтаминации и экономической целесообразностью процесса.

Изменение микробиологических показателей в обработанном светодиодным УФ-излучением молоке (режим обработки: яркость светодиодов – 75%, скорость вращения вала внутри установки – 100 об/мин) в зависимости от массовой доли жира представлены на рисунке 3.

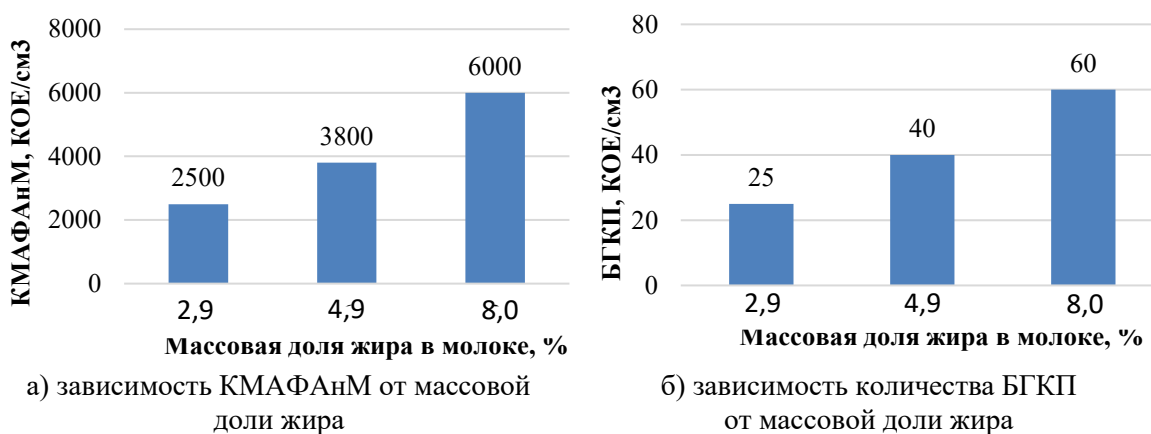


Рисунок 3 – Изменение микробиологических показателей молока с разными массовыми долями жира, обработанного УФ-излучением  
Источник данных: собственная разработка.

Предварительное проведение процесса гомогенизации не оказывает значительного влияния на эффективность деконтаминации молока. Несмотря на то, что в гомогенизированном молоке жировые капли имеют меньший размер и более равномерное распределение, это оказывает как негативное, так и позитивное влияние на способность УФ-излучения проникать и взаимодействовать с молоком. С одной стороны, уменьшение размера жировых капель в гомогенизированном молоке приводит к увеличению поверхности их контакта с УФ-излучением, что потенциально способствует более эффективному поглощению света. Однако, с другой стороны, мелкие капли вызывают более интенсивное рассеяние света, что препятствует его проникновению вглубь жидкости. Кроме того, в гомогенизированном молоке может изменяться структура белков и других компонентов, что также влияет на их оптические свойства.

Установлено, что проведение гомогенизации допускается к применению в сочетании со светодиодным УФ облучением без существенного изменения эффективности деконтаминации молока-сырья, подтверждая её целесообразность как технологического этапа в процессе обработки молока.

В Республике Беларусь основным нормативным документом при производстве молочной продукции является технический регламент ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочных продуктов», который в разделе 7 пункте 31

устанавливает, что молочная продукция должна изготавливаться из сырого молока, сырого обезжиренного молока или сырых сливок, соответствующих требованиям безопасности, и подвергаться термической обработке для обеспечения соответствия продукции требованиям данного регламента [3]. В связи с этим для совмещения пастеризации с ультрафиолетовым излучением на экспериментальном светодиодном УФ реакторе был выбран щадящий режим пастеризации – температура 72°C с выдержкой 15–20 секунд. Такой режим позволяет обеспечить необходимый санитарный стандарт с минимальным воздействием на свойства молока.

Пастеризация и УФ обработка имеют разные механизмы уничтожения микроорганизмов. Пастеризация действует на термолабильные клетки, вызывая их разрушение посредством высоких температур, в то время как УФ-излучение подавляет жизнеспособность микроорганизмов за счет повреждения ДНК и других клеточных структур. При комбинированной обработке возникает взаимодействие между методами. Однако при совместном их применении могут возникнуть условия, отличные от оптимальных для эффективного воздействия каждого из них. Например, изменение pH, температуры или времени обработки может повлиять на резистентность микроорганизмов и на эффективность сочетания пастеризации с УФ обработкой молока.

Установлено, что проведение пастеризации до УФ облучения не приводит к значительному улучшению микробиологических показателей по сравнению с самостоятельным проведением УФ обработки. Это обусловлено тем, что температурная обработка приводит к сокращению числа чувствительных к температуре микроорганизмов, но оставшиеся устойчивые штаммы неэффективно уничтожаются ультрафиолетом из-за особенностей распределения излучения и состава молока. Кроме того, пастеризация способствует денатурации сывороточных белков, укрупняя его, тем самым создавая условия для защиты от УФ-излучения микроорганизмов.

Примеры изменений микробиологических показателей молока-сырья, а также образцов обеззараженного молока представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Микробиологические показатели молока-сырья и его обеззараженных образцов

Образец	Показатели				
	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	БГКП, КОЕ/см <sup>3</sup>	<i>S. aureus</i> , КОЕ/см <sup>3</sup>	Патогенные, в т.ч. сальмонеллы, см <sup>3</sup>	<i>L. monocytogenes</i> , см <sup>3</sup>
Молоко-сырье	1,0×10 <sup>6</sup>	1,2×10 <sup>2</sup>	85,0	не обн. в 25,0	обн. в 25,0
Молоко пастеризованное	3,3×10 <sup>2</sup>	0,0	0,0	не обн. в 25,0	не обн. в 25,0
Молоко обеззараженное УФ-излучением	1,2×10 <sup>2</sup>	5,0	0,0	не обн. в 25,0	не обн. в 25,0
Молоко пастеризованное с последующим обеззараживанием УФ-излучением	2,3×10 <sup>4</sup>	20,0	25,0	не обн. в 25,0	не обн. в 25,0

Источник данных: собственная разработка.

Пастеризация, проведенная после обработки УФ, способствует инактивации оставшихся устойчивых к УФ-излучению микроорганизмов, а также снижению

микробной нагрузки, что значительно повышает общий уровень безопасности продукции.

Микробиологические показатели молока-сырья, а также образцов обеззараженного молока представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Микробиологические показатели молока-сырья и его обеззараженных образцов

Образец	Показатели	
	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	БГКП, КОЕ/см <sup>3</sup>
Молоко-сырье	$1,9 \times 10^4$	$8,0 \times 10^2$
Молоко пастеризованное	$8,0 \times 10^3$	0,0
Молоко обеззараженное УФ-излучением	$6,7 \times 10^3$	0,0
Молоко обеззараженное УФ-излучением с последующей пастеризацией	$9,0 \times 10^2$	0,0

Источник данных: собственная разработка.

Установлено, что обработка молока-сырья УФ-излучением с последующей пастеризацией эффективно (в 26 раз) снижает количество психротрофных бактерий, замедляя их рост и развитие при последующем хранении молока (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние видов обработки молока-сырья на содержание в нем психротрофных и факультативно-анаэробных микроорганизмов

Образец	Психротрофные и факультативно-анаэробные микроорганизмы, КОЕ/см <sup>3</sup>
Молоко-сырье	260,0
Молоко обеззараженное УФ-излучением	30,0
Молоко обеззараженное УФ-излучением с последующей пастеризацией	<10

Источник данных: собственная разработка.

#### **Воздействие параметров светодиодной УФ обработки на экспериментальном образце УФ реактора на деконтаминацию молочного сырья.**

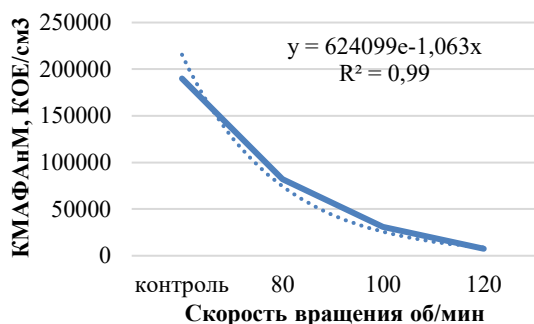
Конструкция данного экспериментального УФ реактора позволяет регулировать как яркость светодиодов, так и скорость вращения вала внутри установки, что создает условия для оптимизации процесса обработки молока.

Кроме того, на деконтаминацию молочного сырья оказывает влияние время, в течение которого молоко находится внутри реактора и подвергается светодиодному УФ-излучению. Процесс прогонки молока через установку осуществляется через шланги: входное отверстие расположено в нижней части реактора, а выходное — в верхней. Один цикл прогонки занимает примерно 1,5 минуты, что позволяет эффективно исследовать влияние различных параметров на степень деконтаминации молочного сырья.

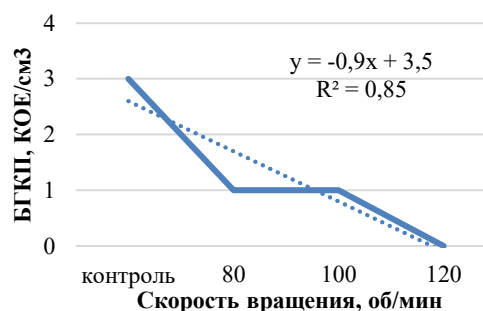
Скорость вращения вала внутри экспериментального образца УФ реактора, уровень яркости светодиодов и время обработки влияют на эффективность снижения количества КМАФАнМ и БГКП при обработке молока различных сельскохозяйственных животных.

Зависимость микробиологических показателей в молоке-сырье от скорости вращения вала внутри экспериментальной установки при неизменной яркости

светодиодов, на примере обеззараживания коровьего молока, представлена на рисунке 4.



а) зависимость КМАФАнМ от скорости вращения вала внутри экспериментальной установки

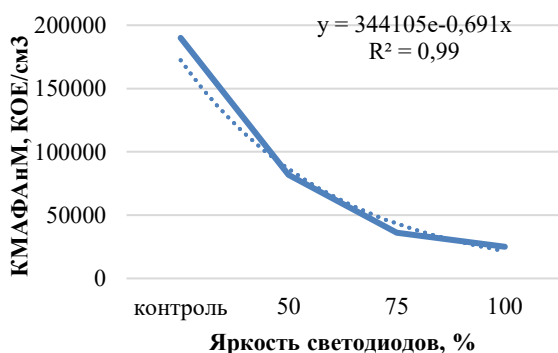


б) зависимость количества БГКП от скорости вращения вала внутри экспериментальной установки

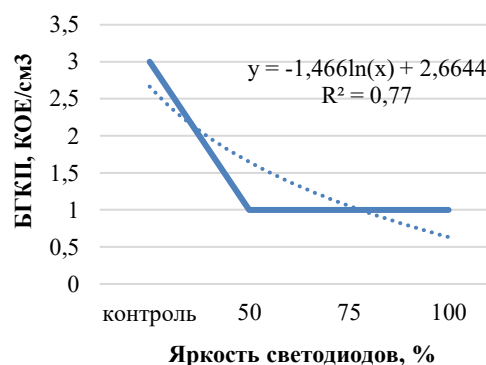
Рисунок 4 – Зависимость микробиологических показателей молока от скорости вращения вала внутри экспериментальной установки при неизменной яркости светодиодов  
Источник данных: собственная разработка.

С увеличением скорости вращения вала внутри экспериментального светодиодного УФ реактора происходит снижение микробиологических показателей. Это связано с более равномерным распределением молочного сырья и повышением эффективности воздействия светодиодного УФ-излучения. При этом увеличение числа оборотов вала реактора способно ускорить износ механических деталей установки, что скажется на частоте обслуживания и необходимости замены деталей, увеличивая капитальные затраты. Исходя из этого, для обработки коровьего молока выбрана скорость вращения вала внутри экспериментальной установки на уровне 100 об/мин.

Зависимость количества КМАФАнМ и БГКП в молоке-сырье от яркости светодиодов при неизменной скорости вращения вала внутри экспериментальной установки на примере обеззараживания коровьего молока представлена на рисунке 5.



а) зависимость КМАФАнМ от яркости светодиодов



б) зависимость количества БГКП от яркости светодиодов

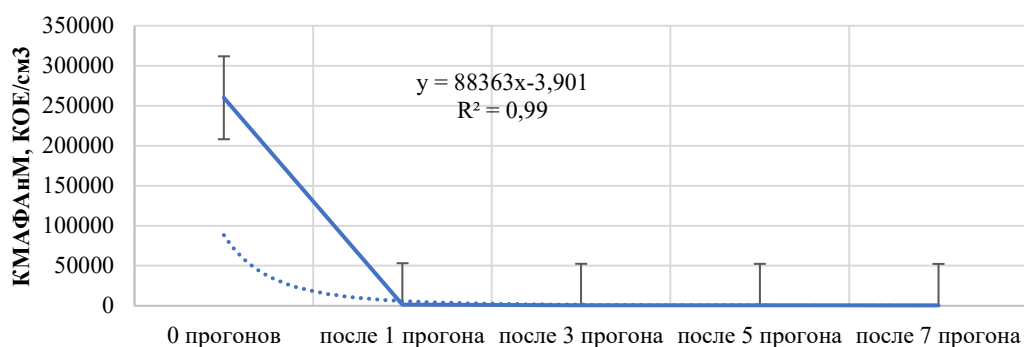
Рисунок 4 – Зависимость микробиологических показателей молока от яркости светодиодов при неизменной скорости вращения вала внутри экспериментальной установки  
Источник данных: собственная разработка.

Увеличение яркости светодиодов способствует усилению обеззараживающего эффекта, за счет более интенсивного светодиодного УФ облучения, что также

приводит к уменьшению микробного обсеменения. Но чрезмерное повышение яркости светодиодов ведет к увеличению потребления электроэнергии.

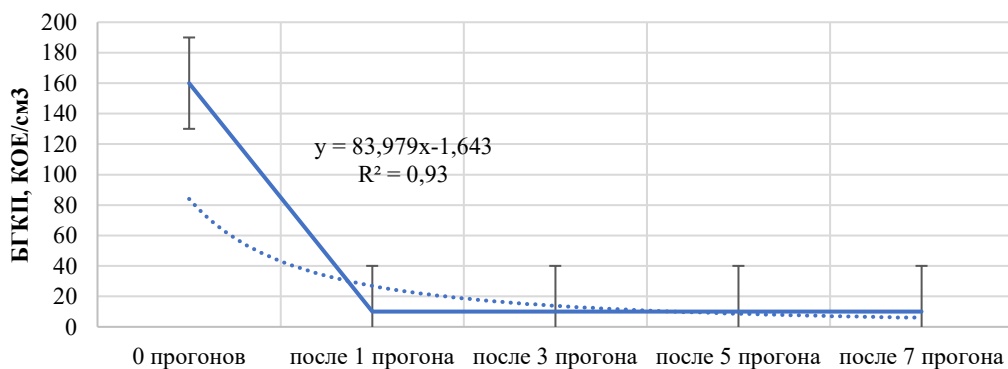
При определении параметров обработки молочного сырья различных видов сельскохозяйственных животных установлен баланс между эффективностью обеззараживания и экономической целесообразностью, оптимизируя режимы с целью максимальной производительности и минимальных затрат.

Зависимость количества КМАФАнМ и БГКП от времени обработки при неизменной яркости светодиодов и скорости вращения вала внутри экспериментальной установки, на примере обеззараживания коровьего молока, представлена на рисунке 6. После каждого прогона через светодиодный УФ реактор обеззараженное молоко собиралось в стерильную тару, чтобы не допустить смешивание с необработанным молоком.



Количество прогонов через светодиодный УФ реактор

а) Зависимость КМАФАнМ от времени обработки



Количество прогонов через светодиодный УФ реактор

б) Зависимость количества БГКП от времени обработки

Рисунок 6 – Графики зависимости микробиологических показателей молока от времени обработки при неизменной яркости светодиодов и скорости вращения внутри экспериментальной установки УФ реактора

Источник данных: собственная разработка.

Наиболее значимая степень снижения микробиологических показателей в 200 раз (с  $2,6 \cdot 10^5$  до  $1,3 \cdot 10^3$  КОЕ/см<sup>3</sup>) происходит после первого прогона молока через экспериментальную установку. В последующих циклах обработки количество микроорганизмов продолжает уменьшаться, однако интенсивность инактивации микроорганизмов снижается. Для достижения регламентированных значений микробиологических показателей, таких как КМАФАнМ и БГКП, установленных ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочных продуктов» для пастеризованных

молочных продуктов, рекомендуется проводить не менее пяти циклов обработки или обрабатывать молоко в течение восьми минут.

### **Основные направления внедрения светодиодной ультрафиолетовой обработки молочного сырья в условиях Республики Беларусь.**

Для предотвращения нарастания общей бактериальной обсемененности, в частности, психротрофными микроорганизмами в процессе транспортировки и хранения рекомендуется проводить светодиодную УФ обработку молока на этапе накопления перед транспортировкой на ферме. При обработке молока УФ-излучением существенно снизилась начальная микробная нагрузка, что минимизирует активное последующие накопление бактерий в течение всей логистической цепочки до промышленной переработки. Это решение способствует улучшению качества молока и снижению затрат при дальнейшей его переработке на молочных заводах, а также снизит риски образования биопленок на молокоперерабатывающем оборудовании и трубопроводах, источником которых являются психротрофные микроорганизмы [4].

Светодиодная ультрафиолетовая обработка является оптимальным выбором для деконтаминации молока, предназначенного для выпойки телят. В отличие от термической обработки, УФ облучение эффективно снижает микробную нагрузку, при этом не вызывает нагрев молока и не разрушает важные биологически активные компоненты, такие как иммуноглобулины, витамины. Эти компоненты играют ключевую роль в формировании иммунитета и пищеварения у новорожденных телят, и их сохранение способствует улучшению здоровья и роста молодняка. Антибактериальный эффект светодиодного УФ-излучения обеспечивает уникальные свойства молока в течение очень важных первых недель жизни телят. УФ-излучение инактивирует бактерии, содержащиеся в молоке, путем воздействия на их ДНК и устраняет их способность к размножению, уменьшает содержание болезнетворных микроорганизмов, снижает риск заболеваний [5].

В производстве сыров качество исходного молока является критическим фактором. Светодиодная УФ обработка молока может стать важным этапом подготовки сырья с возможностью понижения температуры при дальнейшем проведении пастеризации. Это особенно важно в сыроделии, так как высокая температура оказывает влияние на белки молока (денатурация сывороточных белков), которые в свою очередь влияют на текстуру сыра (повышение массовой доли влаги), также высокая температура пастеризации может негативно сказаться на органолептических и питательных свойствах сыра, таких как вкус, аромат и содержание витаминов. Сохранение этих свойств критично для получения высококачественного сыра, так как они влияют на его конечный вкус и текстуру.

### **Список использованных источников**

1. Рязанцева, К. А. Традиционные и инновационные способы применения ультрафиолетового излучения в молочной промышленности / К. А. Рязанцева, Н. Е. Шерстнева // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52, № 2. – С. 390–406

1. Ryazantseva, K. A. Traditsionnyye i innovatsionnyye sposoby primeneniya ul'trafiioletovogo izlucheniya v molochnoy promyshlennosti [Traditional and innovative applications of ultraviolet radiation in the dairy industry] / K. A. Ryazantseva, N. Ye. Sherstneva // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. – 2022. – Т. 52, № 2. – S. 390–406

2. Черных, Е.А. Влияние ультрафиолетовой обработки молока коров на его биохимические, технологические и гигиенические свойства: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.04 / Черных Екатерина Александровна ; Всеросс. гос. науч.-исследов. ин-т животноводства. – Дубровицы, 2006. – 35 с.

3. О безопасности молока и молочных продуктов: ТР ТС 033/2013 / Евразийская экономическая комиссия. – Введ. 01.05.2014. – Минск: [б. и.], 2013. – 94 с.

4. Рябцева, С. А. Биопленки в молочной промышленности: значение, приемы, контроль / С. А. Рябцева, А. Г. Храмцов, И. А. Евдокимов [и др.] // Молочная промышленность. – 2018. – № 1. – С. 57–59. – URL: DOI 10.31515/1019-8946-2018-1-57-59 (дата обращения 10.05.2025).

5. Гаврюшенко, Б. С. Обработка молока ультрафиолетовым излучением / Б. С. Гаврюшенко, Е. Н. Ларин, В. Д. Харитонов, Е. А. Юрова, В. Н. Виноградова // Переработка молока. – 2013. – № 7(165). – 26–32.

2. Chernykh, Ye.A. Vliyaniye ul'trafiioletovoy obrabotki moloka korov na yego biokhimicheskiye, tekhnologicheskiye i gigiyenicheskiye svoystva [The influence of ultraviolet treatment of cow's milk on its biochemical, technological and hygienic properties] : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.04 / Chernykh Yekaterina Aleksandrovna ; Vseross. gos. nauch.-issledov. in-t zhitovnovodstva. – Dubrovitsy, 2006. – 35 s.

3. O bezopasnosti moloka i molochnykh produktov [About the safety of milk and dairy products] : TR TS 033/2013 / Yevraziyskaya ekonomicheskaya komissiya. – Vved. 01.05.2014. – Minsk: [b. i.], 2013. – 94 s.

4. Ryabtseva, S. A. Bioplenki v molochnoy promyshlennosti: znachenije, priyemy, kontrol' [Biofilms in the Dairy Industry: Importance, Techniques, and Control] / S. A. Ryabtseva, A. G. Khramtsov, I. A. Yevdokimov [i dr.] // Molochnaya promyshlennost'. – 2018. – № 1. – S. 57–59. – URL: DOI 10.31515/1019-8946-2018-1-57-59 (data obrashcheniya 10.05.2025).

5. Gavryushenko, B. S. Obrabotka moloka ul'trafiioletovym izlucheniym [Treatment of milk with ultraviolet radiation] / B. S. Gavryushenko, Ye. N. Larin, V. D. Kharitonov, Ye. A. Yurova, V. N. Vinogradova // Pererabotka moloka. – 2013. – № 7(165). – 26–32.