

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической  
технологии, нефтехимии и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Модернизация технологии термического обеззараживания сточных  
вод

Студент

Е.В. Штагер

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.б.н., доцент Е.П. Загорская

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Аннотация

**Бакалаврскую работу выполнил:** Штагер Е. В.

**Тема работы:** Модернизация технологии термического обеззараживания сточных вод.

**Руководитель:** Загорская Е. П.

**Перечень ключевых слов:** сточная вода, установка обеззараживания стоков, станция нейтрализации и термической обработки стоков.

Объектом исследования данной бакалаврской работы являются сточные воды биотехнологических предприятий на примере АО«ГЕНЕРИУМ», содержащие болезнетворные микроорганизмы.

**Цель работы:** снижение негативного воздействия на окружающую среду посредством разработки предложения эффективной очистки возросшего объема сточных вод АО«ГЕНЕРИУМ» путем термического обеззараживания.

Бакалаврская работа состоит из введения, 3-х разделов, заключения, списка используемой литературы. Общий объем работы 69 страниц машинописного текста, в том числе таблиц – 10, рисунков – 14.

Во введении описывается актуальность проводимого исследования, ставится цель, задачи данной работы. В первом разделе описана технологическая схема, действующей на предприятии установки по обеззараживанию сточных вод, проанализирован состав сточных вод. Во второй главе рассмотрены методы очистки сточных вод, которые применяются для уничтожения микроорганизмов, содержащихся в сточных водах. В третьей главе предложена схема оптимизации, подобрана аппаратная часть.

В результате будет достигнута требуемая степень обеззараживания сточных вод, увеличится объем обрабатываемой жидкости и сократятся расходы на энергоресурсы.

## Содержание

Введение.....	4
1 Описание технологической схемы обеззараживания сточных вод на АО «ГЕНЕРИУМ».....	6
1.1 Характеристика объекта.....	6
1.2 Продукция предприятия.....	9
1.3 Сточные воды АО «ГЕНЕРИУМ» .....	10
1.4 Описание технологического оборудования по обеззараживанию сточных вод.....	15
2 Методы очистки сточных вод.....	19
2.1 Особенности обеззараживания сточных вод биотехнологического предприятия.....	19
2.2 Лабораторные исследования воздействия процессов термической инактивации на микроорганизмы.....	28
2.3 Описание технологий термического обеззараживания сточных вод.....	33
3 Оптимизация технологического процесса обеззараживания сточных вод.....	40
3.1 Характеристика обеззараживания сточных вод с использованием установки ОСВ – 2,5.....	40
3.2 Описание работы оптимизированной системы обеззараживания с использованием станции термической обработки сточных вод ACTIONI ULTIMATE (ULT) – 1000.....	48
3.3 Технико – экономическое обоснование оптимизации действующего оборудования .....	58
Заключение.....	65
Список используемой литературы.....	67

## Введение

Водные ресурсы играют существенную роль практически во всех природных процессах и в жизнеобеспечении человека [1]. Сточная вода – это вода, побывавшая в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшая через какую – либо загрязненную территорию [2]. По оценкам специалистов не менее 50 % распространенных заболеваний людей обусловлено загрязнением окружающей среды, прежде всего потреблением недоброкачественной питьевой воды. В результате проблема очистки сточных вод, а также снижения их негативного воздействия на объекты окружающей среды является одной из лидирующих и актуальных проблем наших дней.

Особенно опасны стоки различных медицинских, фармацевтических и биотехнологических предприятий, так как они содержат высокие концентрации болезнетворных микроорганизмов (до  $1 \times 10^7$  микробных тел в одном миллилитре жидкости), которые попав со сточными водами через систему канализации в открытые водоемы, на почвы и пастбища, создают постоянную угрозу вспышек опасных болезней [3].

Актуальность данной работы связана с тем, что последние несколько лет наблюдается стремительный рост биотехнологической отрасли. В связи с этим необходимо оперативно развивать биотехнологические процессы, безопасные для объектов окружающей среды. Одним из таких направлений является обеззараживание сточных вод.

Если 5 лет назад портфель компании «ГЕНЕРИУМ» состоял из 5 препаратов, то на сегодняшний день их уже 9, а в ближайшей перспективе добавится еще 7. В этой связи происходит и пропорциональное увеличение сточных вод, требующих обработки на предмет инактивации содержащихся в них микроорганизмов.

Таким образом, в рамках рассматриваемого предприятия остро встает вопрос о решении проблемы полного и эффективного обеззараживания увеличивающегося объема сточных вод.

Целью данной работы является снижение негативного воздействия на окружающую среду посредством разработки предложения эффективной очистки возросшего объема сточных вод АО «ГЕНЕРИУМ» путем термического обеззараживания.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи исследования:

- 1) Проанализировать состав сточных вод АО «ГЕНЕРИУМ».
- 2) Рассмотреть действующие на предприятии установки по обеззараживанию стоков.
- 3) Провести лабораторные исследования воздействия процессов термической инактивации на микроорганизмы.
- 4) Предложить современное и экономически эффективное оборудование для очистки инфицированных сточных вод.

Объект исследования: сточные воды биотехнологических предприятий на примере АО «ГЕНЕРИУМ», содержащие болезнетворные микроорганизмы.

Предмет исследования: технологические процессы обеззараживания загрязненных сточных вод предприятия термическим способом.

В соответствии с намеченной целью и для решения поставленных задач использован комплекс методов, включающий: анализ и обобщение данных научно-технической литературы по исследуемому направлению, экспериментальные исследования в лабораторных, опытно-промышленных и промышленных условиях, технико-экономический анализ.

# **1 Описание технологической схемы обеззараживания сточных вод на АО «ГЕНЕРИУМ»**

## **1.1 Характеристика объекта**

АО «ГЕНЕРИУМ» расположено в пос. Вольгинский Владимирской области. Это российское инновационное биофармацевтическое предприятие, которое является лидером в сфере современных биотехнологий не только в России, но и в странах СНГ.

Основными видами деятельности АО «ГЕНЕРИУМ» являются разработка и производство фармацевтических субстанций, лекарственных препаратов и материалов, применяемых в медицинских целях.

Предприятие осуществляет не только производственную деятельность. В распоряжении АО «ГЕНЕРИУМ» находится уникальный научно-исследовательский центр мирового уровня, который занимается разработкой биотехнологических препаратов и клеточных технологий до этапа промышленного применения. Исследовательский центр объединяет усилия ведущих российских ученых и привлекает в Россию передовые знания и технологии современной науки.

Производство биотехнологических лекарственных препаратов (вакцин) осуществляется на отдельных технологических линиях полного цикла. Они позволяют производить генно-инженерные препараты: от культивирования штаммов-продуцентов до готовой лекарственной формы.

Производство лекарственных средств различных фармакологических групп включает в себя весь состав необходимых помещений для получения готового продукта (склады сырья и материалов, склад готовой продукции, основные производственные помещения, вспомогательные помещения, «чистые» помещения, материальные шлюзы).

Цикл производства биотехнологических препаратов включает в себя:

- расконсервация: клетки-продуценты, ранее созданные в лаборатории АО «ГЕНЕРИУМ», оттаивают в холодильнике или на водяной бане;
- накопление биомассы – увеличение количества клеток-продуцентов;
- синтез белка – получение целевого белка из накопленной биомассы;
- выделение и очистка белка – получение раствора субстанции, содержащего целевой белок в строго описанных пропорциях;
- фасовка и упаковка – субстанция передается в цех готовых лекарственных форм, где раствор фильтруют и разливают в стерилизованные флаконы и укупоривают резиновыми пробками.

Возможности биотехнопарка, в том числе техническая и кадровый состав, позволяют решать задачи в области генной инженерии, клеточных технологий, химии и фармакологии.

АО «ГЕНЕРИУМ» имеет действующие лицензии на:

- производство лекарственных средств, предназначенных для медицинского применения (лицензия № 00038–ЛС);
- фармацевтическую деятельность (лицензия № ФС – 99 – 02–006393);
- деятельность в области использования возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных и генно–инженерно-модифицированных организмов III и IV степеней потенциальной опасности, осуществляемая в замкнутых системах (лицензия № 33.ВЛ.04.001.Л.000007.03.11).

Комплекс оснащен оборудованием, которое соответствует требованиям национального стандарта Российской Федерации и международным правилам GMP. Приоритетом компании является безопасность разрабатываемых препаратов, которая обеспечивается за счет неукоснительного исполнения национальных и международных стандартов качества.

Производственные мощности предприятия включают:

- цех готовых лекарственных форм общей площадью 1008,0 м<sup>2</sup>, с возможностью производства лиофильных (140 циклов лиофилизации, с

объемом разовой загрузки 18 800 флаконов типа 2R) или жидких стерильных лекарственных форм до 4 млн. флаконов в год;

- цех биохимического производства биологических материалов и цех биосинтетического производства биологических материалов общей площадью 2500 м<sup>2</sup> с возможностями получения и очистки рекомбинантных белков с использованием эукариотических продуцентов, с ежесуточным получением до 1200 литров культуральной жидкости;

- цех микробиологического производства активных фармацевтических субстанций общей площадью 1125 м<sup>2</sup> с возможностью культивирования в ферментерах объемом до 1000 литров и получения рекомбинантных белков с использованием методов сепарации, мембранного фракционирования, методов гель-фильтрации и обращено-фазовой хроматографии;

- цех производства медицинских иммунобиологических препаратов общей площадью 522 м<sup>2</sup> с возможностью производства 2 млн. флаконов в год. При производстве медицинских иммунобиологических препаратов используют штаммы генно-инженерно-модифицированных микроорганизмов (ГИММ). Данные штаммы получают путем трансформации клеток *Escherichia coli* (E.coli);

- отдел контроля качества – общей площадью – 980,0 м<sup>2</sup>;

- складские помещения – общей площадью – 720,0 м<sup>2</sup>.

АО «ГЕНЕРИУМ» располагает несколькими лабораториями, в том числе лабораторией по разработке процессов культивирования, лабораторией иммунохимии, лабораторией процессов биосинтеза, лабораторией биологических методов. Имеется опытно-экспериментальный участок, отдел аналитических методов, отдел молекулярной и клеточной биологии. Научные лаборатории занимают площадь 5 тыс. м<sup>2</sup> и оснащены самым современным оборудованием ведущих мировых производителей.

Таким образом, оснащение компании и компетенция сотрудников позволяют получить практически любой рекомбинантный белок,

моноклональное антитело и клеточный продукт, пригодные для промышленного производства и проведения доклинических и клинических исследований.

Предприятие не имеет заключенных договоров водопользования, а также выданных решений о предоставлении водного объекта в пользование. Водопотребление осуществляется из двух собственных артезианских скважин на основании выданной лицензии ВЛМ00448ВЭ.

## **1.2 Продукция предприятия**

Предприятие специализируется на разработке и производстве высококачественных, безопасных и эффективных биофармацевтических субстанций и препаратов, которые используются для диагностики и лечения редких и социально значимых заболеваний: орфанных и онкологических, туберкулеза, бронхиальной астмы, гемофилии, рассеянного склероза, дефицита гормона роста, инфаркта миокарда, ишемического инсульта, ревматоидного артрита, псориаза. Производственный цикл изготовления биофармацевтических препаратов основан на сложном органическом синтезе и использовании микробиологических процессов.

В настоящее время в АО «ГЕНЕРИУМ» налажен промышленный выпуск 9 лекарственных препаратов и 2 рекомбинантных фармацевтических субстанции, которые применяются как в России, так и за рубежом. Это рекомбинантные факторы крови VII, VIII и IX для лечения гемофилии, интерферон бета для лечения рассеянного склероза, аллерген туберкулезный рекомбинантный, субстанции филграстима и соматотропина. Примерно 30 новейших инновационных лекарственных средств находятся в стадии разработки. В режиме полного цикла стали изготавливаться готовые лекарственные формы: терапевтические белки и моноклональные антитела.

Инфекционные заболевания и по сей день остаются важной проблемой и играют существенную роль в структуре заболеваемости населения. Туберкулез, гепатит В, папилломавирусная инфекция крайне сложны в диагностике и лечении. Именно поэтому компания «ГЕНЕРИУМ» в сотрудничестве с зарубежными фармацевтическими компаниями приступила к разработке новых терапевтических вакцин для лечения папилломавирусной инфекции и гепатита В. Расширено производство инновационного препарата для массовой диагностики туберкулеза T-SPOT.TB.

Научными сотрудниками предприятия разработан новый рекомбинантный препарат Глуразим для лечения болезни Гоше. Запущено производство аналога самого дорогого в мире препарата - американского «Солириса», избавляющего пациентов от пожизненного диализа и поражения сосудов. Кроме того, налажен выпуск следующих препаратов: алтеплаза, вода для инъекций, диаскинтест, иннонафактор И, интерферон бета-1b, инфибета, коагил-VII, нонаког альфа, октофактор, соматропин, филграстим, эптаког альфа (активированный).

В марте 2020 года предприятие разработало и зарегистрировало первый отечественный экспресс-тест на коронавирусную инфекцию, который позволяет с точностью более 94 % определить наличие вируса в течение 40 минут. Планируется выпускать до 500 тыс. экспресс - тестов в неделю.

### **1.3 Сточные воды АО «ГЕНЕРИУМ»**

При производстве биофармацевтических препаратов, субстанций и вакцин на всех стадиях: при подготовке сырья, во время очистки и стерилизации, из разлитых или протекших жидкостей и отбракованных изделий образуются твердые и жидкие отходы. Предприятие решает проблемы их утилизации, основываясь на эффективных и современных технологиях, отличающихся низкими эксплуатационными расходами,

повышенной производительностью, компактностью, высоким уровнем надежности и автоматизации.

Жидкие отходы в биотехнологическом производстве достаточно разнообразны по своему составу. Это объясняется неполным использованием биообъектами компонентов, входящих в состав питательных сред; наличием веществ, секретируемых клетками; присутствием растворителей, используемых, например, для экстракции конечных продуктов и другими факторами, возникающими в технологическом процессе.

К сточным водам АО «ГЕНЕРИУМ» основного производства относится, прежде всего, отработанная культуральная жидкость, образующаяся при отделении биомассы от жидкой фазы. К этой группе относится также вода от промывки оборудования, вода из охлаждающих систем. Сточные воды АО «ГЕНЕРИУМ» могут содержать недоброкачественные биомедицинские клеточные продукты, выявленные в процессе производства, остатки тканей животного происхождения, отходы фармацевтической продукции, её производства и приготовления (в том числе архивные образцы), лабораторные отходы и остатки химикалий, неорганические соли, свободные кислоты и щелочи, субпродукты, сахар, сироп, активные лекарственные субстанции, сырье, органические растворители, добавки и небольшие количества самих лекарственных веществ.

Образование жидких стоков в АО «ГЕНЕРИУМ», подлежащих обязательному обеззараживанию, связано не только с производственным процессом изготовления лекарственных средств, но и с:

- упаковкой готовых фармацевтических форм;
- складированием и хранением субстанций, материалов и препаратов;
- транспортировкой лекарственных средств.

АО «ГЕНЕРИУМ» не осуществляет сброс загрязняющих веществ непосредственно в водные объекты. Сточные воды, поступающие из

производственных корпусов и лабораторий, в обязательном порядке подвергаются обеззараживанию, а затем, в соответствии с действующим договором от 01.03.2018 №9/18 с ООО Технопарк «Вольгинский», сброс отработанных вод производится в центральную систему канализации.

Сточные воды предприятия направляются в городскую систему канализации, если они соответствуют следующим требованиям:

- концентрация химических соединений не превышает установленных норм;
- не содержат крупных примесей, горючих и взрывоопасных веществ;
- сточные воды не вызывают порчу водоотводящих сетей и сооружений. Значение pH вод близко к нейтральному (6,5–8,5). Температура не превышает 40 °С;
- сточные воды биотехнологических производств не содержат живых микроорганизмов - продуцентов вакцин и сывороток.

На предприятии утверждена инструкция по обращению с медицинскими отходами и схема движения и обращения с медицинскими отходами в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.2790-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами».

Среди микроорганизмов, которые в ходе осуществления научно – исследовательских изысканий и производственной деятельности предприятия могут попасть в сточные воды АО «ГЕНЕРИУМ», выделяют: *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Salmonella abony*, *Clostridium sporogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus anthracis*, короновирус SARS – CoV – 2 (2019 – nCoV). Соответствие сточных вод, содержащих данные микроорганизмы, установленным требованиям к составу стоков, спускаемых в общегородскую канализационную сеть, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Микроорганизмы, содержащиеся в сточных водах АО«ГЕНЕРИУМ»

Микроорганизмы	Наличие микроорганизмов в сточных водах	Соответствие нормативным требованиям
<i>Candida albicans</i>	+	не соответствует
<i>Aspergillus niger</i>	+	то же
<i>Salmonella abony</i>	+	»
<i>Clostridium sporogenes</i>	+	»
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	»
<i>Escherichia coli</i>	+	»

Примечание: (+) – микроорганизмы присутствуют в сточных водах.

Из таблицы следует, что наличие в сточных водах представленных микроорганизмов недопустимо, так как в этом случае стоки перестают соответствовать предъявляемым к ним требованиям и соответственно не могут сливаться в городскую канализацию.

На недопущение попадания опасных представителей микрофлоры, используемых в научно-исследовательской и производственной деятельности АО «ГЕНЕРИУМ», со сточными водами на объекты питьевого водозабора и в последующем в организм человека и его инфицирования, направлены разные мероприятия по инаktivации болезнетворных микробов.

Следует отметить, что, несмотря на множество известных способов инаktivации микроорганизмов, находящиеся в воде, последние приспособились к сохранению, выживанию и концентрации в некоторых гидробионтах. Эта их особенность является причиной отдельных заболеваний, инфекционных вспышек и даже эпидемий среди населения. Однако наибольшая опасность в проблеме загрязнения водных источников

болезнетворными микроорганизмами, заключается в их экологической пластичности и быстрой мутационной изменчивости.

Попадая в водоемы, микроорганизмы подвергаются мутагенным факторам, которые могут привести к появлению новых видов с измененными свойствами.

На самом деле нельзя однозначно утверждать, что микроорганизмы приносят один лишь вред. Их функция в природе - регулирование численности живых существ.

Строгий контроль состава сточных вод со стороны природоохранных органов обязывает предприятия, производство которых ведет к образованию загрязненных стоков, проводить исследования физических показателей, а также на содержание и концентрацию различных веществ в воде перед сбросом их в канализацию или окружающую среду.

Производственные стоки АО «ГЕНЕРИУМ» сливаемые в канализационную сеть должны соответствовать утвержденным нормативам. Нормы допустимых концентраций по каждому загрязняющему веществу установлены ООО Технопарк «Вольгинский» на время действия договора сброса производственных сточных вод АО «ГЕНЕРИУМ».

Лабораторно - инструментальные исследования показателей качества сточной воды АО «ГЕНЕРИУМ» проводятся испытательной лабораторией специализированного предприятия ООО «ВладимирВтормаКлининг» для выявления превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в стоках предприятия.

Местом сбора проб выбирается хорошо перемешанный поток, чтобы концентрация образцов была максимально информативной. Результаты полученных измерений сточных вод АО «ГЕНЕРИУМ» и их соответствие установленным нормативам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Химические показатели сточных вод АО «ГЕНЕРИУМ» за IV квартал 2019 года

Наименование показателя	Результат КХА, мг/дм <sup>3</sup>			Допустимые концентрации загрязняющих веществ, мг/дм <sup>3</sup>
	2019 год			
	октябрь	ноябрь	декабрь	
рН, ед. рН	7,92	7,79	7,54	6,0-9,0
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	23,1	533,4	64,3	65,17
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	7,96	180,6	26,4	38,97
Аммоний - ион	3,24	0,230	0,584	2,71
Нитрит - ион	0,036	0,037	0,063	не нормируется
Нитрат - ион	1,90	0,986	0,496	то же
Фосфат – ион	0,173	0,110	0,219	0,317
Железо общее	0,847	0,633	0,346	0,309
Нефтепродукты	0,064	0,037	0,262	0,00
АПАВ	0,462	0,877	0,656	0,106
НПАВ	0,14	< 0,1	< 0,1	0,106
Взвешенные вещества	2,0	11,0	22,0	10,87
Сухой остаток	275,0	232,0	2147,0	568,0
Сульфат – ион	23,5	25,5	84,4	26,88
Хлорид - ион	16,0	< 10,0	1515,7	99,36

В случае превышения допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах АО «ГЕНЕРИУМ», направляемых в канализацию, договором с ООО Технопарк «Вольгинский» предусмотрены меры экономического воздействия за наносимый ущерб в виде дополнительной оплаты.

#### **1.4 Описание технологического оборудования по обеззараживанию сточных вод**

Жидкие отходы «Б» и «В» класса в АО «ГЕНЕРИУМ» в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.2790–10 обеззараживаются исключительно

физическими методами. Для этого используют специальные установки. Работа этих устройств основана на термическом воздействии, так как никакие другие методы не решают проблему инактивации микроорганизмов в полном объеме. После аппаратных способов обеззараживания с применением физических методов жидкие сточные воды сливаются в канализацию.

Оборудование для обеззараживания сточных вод располагается на АО«ГЕНЕРИУМ» в отдельном помещении. Данный производственный участок обеспечен канализацией, водопроводом, электричеством, отоплением и автономной вентиляцией, а также обеспечена поточность всего технологического процесса. В соответствии с требованиями СанПиН 2.1.3.2630–10 поверхность стен, пола и потолков помещения - гладкая, устойчивая к воздействию влаги, моющих и дезинфицирующих средств. Полы покрыты влагостойким материалом, не скользящим и устойчивым к механическому воздействию.

В настоящее время для обеззараживания сточных вод на предприятии используют струйный аппарат ОСВ–2,5, представленный на рисунках 1 и 2, и станцию нейтрализации и термической обработки стоков.



Рисунок 1 – Панель управления установки по обеззараживанию сточных вод ОСВ – 2,5



Рисунок 2 – Накопительные емкости установки по обеззараживанию сточных вод ОСВ–2,5

Сточные воды подаются на установку ОСВ–2,5, где протекает обеззараживание стоков термическим способом, или на станцию BestWaterTechnology (BWT), где стоки подвергаются обеззараживанию и нейтрализации. Далее вода спускается в коллектор и происходит ее дальнейший сброс на очистные сооружения в ООО Технопарк «Вольгинский».

Технология обеззараживания сточных вод с использованием струйных аппаратов применяется в АО «ГЕНЕРИУМ» с момента создания предприятия. Установка обеспечивает 100% обеззараживание сточных вод, содержащих споровые и не споровые микроорганизмы.

Сточные воды АО «ГЕНЕРИУМ», содержащие щелочи и кислоты от технологических процессов, подвергают нейтрализации с последующей процедурой термического обеззараживания. Воды со значением рН на уровне 6,5 – 8,5 единиц считаются нейтральными. Поэтому нейтрализация стоков

осуществляется только в том случае, когда обрабатываемая среда имеет рН ниже 6,5 и выше 8,5. Такие сточные потоки направляются на станцию нейтрализации и термообработки, разработанную австрийским концерном BestWaterTechnology, для их обработки и обезвреживания.

Таким образом, обеззараживание сточных вод в биотехнологическом производстве имеет весьма важное значение, так как это барьер на пути возможной передачи болезнетворных микроорганизмов через воду на объекты питьевого водозабора и в последующем потребителям питьевой воды.

Осуществление научно – исследовательской деятельности на базе лабораторий АО «ГЕНЕРИУМ» в области микробиологии, а также разработка новых видов продукции различных фармакологических групп создают потенциальную угрозу для возможного попадания в сточные воды предприятия опасных представителей микрофлоры, являющихся возбудителями различных заболеваний.

В соответствии с вышеуказанным, а также согласно действующему законодательству Российской Федерации в области экологии, сточные воды АО «ГЕНЕРИУМ» перед сбросом в канализационную сеть в обязательном порядке подвергаются обеззараживанию. Данный процесс позволяет полностью инактивировать болезнетворные микроорганизмы и предотвратить их попадание в организм человека.

Для обеспечения обеззараживания стоков на предприятии используют специальные установки, принцип действия которых основан на термическом способе.

## **2 Методы обеззараживания сточных вод**

### **2.1 Особенности очистки сточных вод биотехнологического предприятия**

Основной целью обеззараживания сточных вод является обеспечение эпидемиологической безопасности при их отведении в водные объекты, используемые для хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования.

Процесс обеззараживания загрязненных стоков заключается в инактивации микроорганизмов, содержащихся в сточных водах промышленных предприятий, которые могут негативно воздействовать на все живые организмы, в том числе и на человека. В результате обеззараживания в сточных водах происходит полное разрушение биологической деятельности микроорганизмов и биологических агентов [6].

Мероприятия, осуществляемые хозяйствующими субъектами по обезвреживанию сточных вод различны, и зависят от объемов стоков и величины содержания в них опасных микроорганизмов.

Степень эффективности обеззараживания стоков зависит непосредственно от концентрации и типа загрязняющих болезнетворных микроорганизмов, их устойчивости к применяемым методам обеззараживания, качества исходной жидкости и технологии ее обработки.

При выборе метода обеззараживания сточных вод необходимо учитывать гигиеническую надежность бактерицидного и вирулицидного эффекта, медико-биологические последствия при дальнейшем использовании обеззараженных стоков, эксплуатационную и экономическую целесообразность.

В основе оценки эффективности обеззараживания сточных вод биофармацевтических производств заложен принцип соответствия качества

обеззараженного стока установленным требованиям. Основным критерием эпидемической безопасности стоков этих предприятий является полное отсутствие микроорганизмов возбудителей различных заболеваний [7]. В качестве индикаторных микроорганизмов используются термотолерантные колиформные бактерии, *E. coli*.

Среди возможных методов обеззараживания сточных вод биофармацевтических производств выделяют химические (хлорирование, озонирование) и физические способы (УФ-облучение и термообработку) [8]. Методы биологической очистки с использованием биологических прудов, аэротенков в высокой степени решают проблему освобождения сточных вод от органических загрязнений, но не обеспечивают полного уничтожения опасной микрофлоры, в связи с чем, не могут быть использованы для обеззараживания сточных вод от возбудителей болезней людей и животных.

Химический метод основан на добавлении в жидкость различных реагентов-окислителей, которые убивают болезнетворные микробы. Используя этот способ необходимо правильно и точно подбирать дозу реагентов, а также время их контакта с водой для получения требуемого эффекта обеззараживания. Доза реагента определяется расчетным путем или же подбирается пробными обеззараживаниями. Стоит учитывать запас обеззараживающего эффекта воды, для чего при химическом методе расчет делают с небольшим избытком (остаточный хлор). Тем самым давая гарантию на некоторое время от микроорганизмов, попадающих в воду уже после обеззараживания [9].

Химические методы обеззараживания сточных вод основаны на окислении ферментов бактериальных клеток. Обеззараживающим действием обладают многие химические реагенты, наиболее распространенными из которых являются хлорсодержащие вещества, газообразный хлор и хлорная известь. Взаимодействие газообразного хлора со сточной водой сопровождается выделением соляной и хлорноватистой кислот.

Хлорноватистая кислота легко распадается, образуя соляную кислоту и выделяя атом кислорода (окислительный агент), вступающий во взаимодействие с микроорганизмами. Окислительный агент сначала диффундирует через оболочку микроорганизма, а затем вступает в реакцию с энзимами, содержащимися в плазме его клетки. Кроме того, хлор непосредственно действует на бактериальную клетку и, соединяясь с веществами протоплазмы, вызывает ее гибель.

В результате взаимодействия хлорной извести со сточной водой образуются также хлорноватая кислота, хлористый кальций и известь. Обеззараживающее действие на микроорганизмы оказывают и другие дезинфицирующие вещества. Количество реагентов, необходимых для обеззараживания, определяется концентрацией микроорганизмов и органических веществ, а также неорганических, способных к окислению веществ.

Многочисленными исследованиями, проводимыми в лабораторных и производственных условиях, установлена зависимость обеззараживающего эффекта от дозы химических реагентов и продолжительности контакта со сточной жидкостью. Бактерицидный эффект действия хлора отмечается при обеззараживании сточных вод, прошедших биологическую очистку. При дозах хлора 79 – 90 мг/л и экспозиции до 3 часов концентрация кишечной палочки снижается до одной клетки в 1 мл.[10]. Режим хлорирования при содержании остаточного хлора 2,3 мг/л и времени контакта 30 минут обеспечивает обеззараживание сточных вод от поливирусов на 90 %, бактериофагов – на 50–70 %.

С целью обеззараживания стоков применяют безводный аммиак в количестве 30 кг/м<sup>3</sup>. Для обеззараживания время контакта составляет 5 суток. Процесс должен проходить в герметичных емкостях.

Бактерицидное действие извести при дозе 150–300 мг/л отмечается при экспозиции 24 часа. Вирулецидное действие извести определено при дозе 500

мг/л и экспозиции 90 минут [11]. Обработка известью обеспечивает снижение концентрации микроорганизмов в сточных водах с рН 5,5–12,0 на 5,5–6 порядков в течение 1,8 часа, а для кислотоупорных бактерий лишь через 100 часов. Повышение расхода извести не увеличивает бактерицидного эффекта. При уменьшении рН сточных вод ниже 11,5 наблюдается тенденция микроорганизмов к размножению.

Хлорирование является самым популярным из химических методов обеззараживания, так как обладает достаточно высокой эффективностью, ему присуща дешевизна реагента, и, собственно, простота оборудования и обслуживания.

При применении хлора эффективность обеззараживания в основном зависит от его начальной дозы и времени контакта с водой.

К недостаткам хлорирования относят следующие моменты:

- такая обработка не обеспечивает необходимой эпидемической безопасности в отношении вирусов и спорообразующих кишечных бактерий;
- образуются хлорамины и хлорорганические соединения (диоксины), обладающие высокой токсичностью, мутагенностью, канцерогенностью. Они способны аккумулироваться в донных отложениях, тканях гидробионтов и, в конечном счете, попадать в организм человека;
- возникает опасность при транспортировке хлор-реагентов с точки зрения экологии для людей, проживающих неподалеку, при хранении и использовании на станциях водоподготовки, так как хлор – сильнодействующее токсичное вещество, требующее соблюдения мер безопасности.

По своему воздействию на споровые микроорганизмы, находящиеся в сточных водах, озон – один из наиболее эффективных дезсредств. Он обладает высокой бактерицидной активностью. Действие озонирования основывается на разложении озона в воде, в результате чего образуется атомарный кислород. В свою очередь, атомарный кислород в воде разрушает

ферментные системы клеток микробов и еще окисляет некоторые соединения, от чего у воды может быть неприятный запах. Доза при озонировании рассчитывается в зависимости от загрязнения воды. А чтобы после обработки у воды не было специфического запаха, и чтобы дополнительно не вызывать коррозию труб, количество озона на выходе не должно превышать 0,3–0,5 мг/л. Являясь гигиенически одним из лучших методов обеззараживания, озонирование достигает высоких органолептических показателей и отсутствия высокотоксичных веществ в очищенной воде [12]. Токсикологическая оценка озонирования свидетельствует об отсутствии негативного воздействия обеззараженной воды на организм человека и теплокровных животных.

Эффект обеззараживания им воды от спор псевдоантракса достигнут при дозе 14,0–20,0 мг/л. Наличие в обрабатываемой жидкости органических твердых примесей значительно снижает эффект от воздействия озоном. Для обеззараживания озоном даже питьевую воду осветляют в отстойниках и на специальных фильтрах.

Озонирование можно эффективно использовать для борьбы с вирусами и для удаления привкуса, цветности и некоторых загрязнений.

Основным фактором, сдерживающим широкое применение озона, является его высокая себестоимость. Озонирование требует больших расходов электроэнергии, имеет сложное оборудование. Поэтому озонирование получило применение только на крупных станциях водоподготовки.

В качестве дезинфицирующих реагентов могут быть использованы также двуокись хлора, хлорамин, гипохлористая кислота, хлористый бром, сочетания хлора с йодом, формальдегид и другие химические соединения.

Недостаток всех химических дезинфицирующих веществ – низкая эффективность при обеззараживании сточных вод, содержащих органические включения. Химические соединения, возникающие при введении реагентов в

сточную воду, вступают в контакт с органическими веществами, которые связывают их, адсорбируют на своей поверхности, ухудшают их дезинфицирующие свойства. Кроме того, органические вещества дисперсной фазы препятствуют проникновению окислительных агентов внутрь частиц, сохраняя тем самым жизнеспособность микроорганизмов.

Существенный недостаток химического метода – необходимость длительных экспозиций. Это вызывает потребность в дополнительных емкостях – накопителях сточных вод, что значительно удорожает стоимость очистных сооружений. Отрицательным является избирательное действие химических дезинфекторов на микроорганизмы, не дающие возможности подобрать универсальное средство для обеззараживания сточных вод от возбудителей всех видов инфекционных болезней.

Физические методы обеззараживания основаны на использовании различных видов энергии: ионизирующего излучения, ультразвуковых и электромагнитных волн, термического воздействия [13].

Ультрафиолетовое обеззараживание в отличие от предыдущих методов не требует введения в воду реактивов, не влияет на вкус и запах воды, не оказывает токсичного воздействия на водные организмы и не приводит к образованию вредных химических соединений.

Принцип обеззараживания ультрафиолетом базируется на воздействии ультрафиолетовых лучей на клеточный обмен и ферментные системы клеток, при этом, не меняя органолептические показатели воды. Нельзя не упомянуть о том, что для воды нет верхнего предела дозы облучения ультрафиолетом, поскольку после обработки ультрафиолетовыми лучами в воде не образуются токсичные вещества. Поэтому, не боясь увеличить дозу ультрафиолетового излучения, можно добиться желаемого уровня обеззараживания воды [14].

Одним из недостатков обеззараживания ультрафиолетовым облучением является то, что воздействие данного метода по месту носит локальный характер, то есть имеем полное отсутствие последствий. После

обработки воды ультрафиолетовым облучением в камере реактора и выхода ее из него бактерицидное воздействие прекращается.

Установки для ультрафиолетового обеззараживания требуют хороших капитальных вложений в начале, но имеют низкие эксплуатационные расходы в течение работы: небольшие затраты на электроэнергию, и периодическая замена ламп при необходимости.

Основным ограничением в использовании УФ-установок для обеззараживания сточных вод является невысокая проникающая способность УФ-лучей даже в прозрачной воде, а в загрязненных водах она быстро затухает [9].

Приемлемость того или иного метода для биофармацевтических производств оценивается по ряду критериев, в том числе одним из главных факторов выступает обеспечение гибели всех микроорганизмов, содержащихся в сточных водах.

Наиболее эффективным способом инактивации микроорганизмов в сточных водах биофармацевтического предприятия является термическое обеззараживание. Иные способы обработки стоков с целью инактивации микроорганизмов необходимо применять только в случаях невозможности использования термического обеззараживания [15].

Температура является одним из главных факторов, который оказывает сильное влияние на микрофлору. Каждый микроб может существовать только при определенных температурных показателях. При температуре от плюс 80 °С до плюс 90 °С уничтожаются практически все вегетативные формы бактерий и большая часть вирусов[4].

Температурное воздействие на жизнедеятельность микроорганизмов связано с его влиянием на скорость протекающих химических реакций в клетке микроба. Увеличение данного физического показателя до уровня выше критической точки приводит к необратимой инактивации клеточных

составляющих. Высокие температурные значения также уничтожают и сам болезнетворный микроорганизм.

По своему отношению к воздействию различных температур все микроорганизмы классифицируют на 3 группы, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация микроорганизмов по отношению к температурному воздействию

Категория	Минимальная температура, °С	Оптимальная температура, °С	Максимальная температура, °С	Представитель
Психрофилы	0	- 10 - 20	- 40	Холерный вибрион
Мезофилы	+ 10	+ 37	+ 45	Клостридиум, кишечная палочка
Термофилы	+ 30	+ 55	+ 75	<i>Aspergillus fumigatus</i> (Аспергилл дымящий)

Главными факторами успешного проведения термического обеззараживания стоков считаются температура и время инаktivации. Классическая технология термического обеззараживания сточных жидкостей предполагает их нагрев до температуры 121 °С. В этом случае уничтожаются даже теплостойкие споры уже в течение 10–15 минут.

Основные этапы процесса обеззараживания микроорганизмов представлены на рисунке 3.

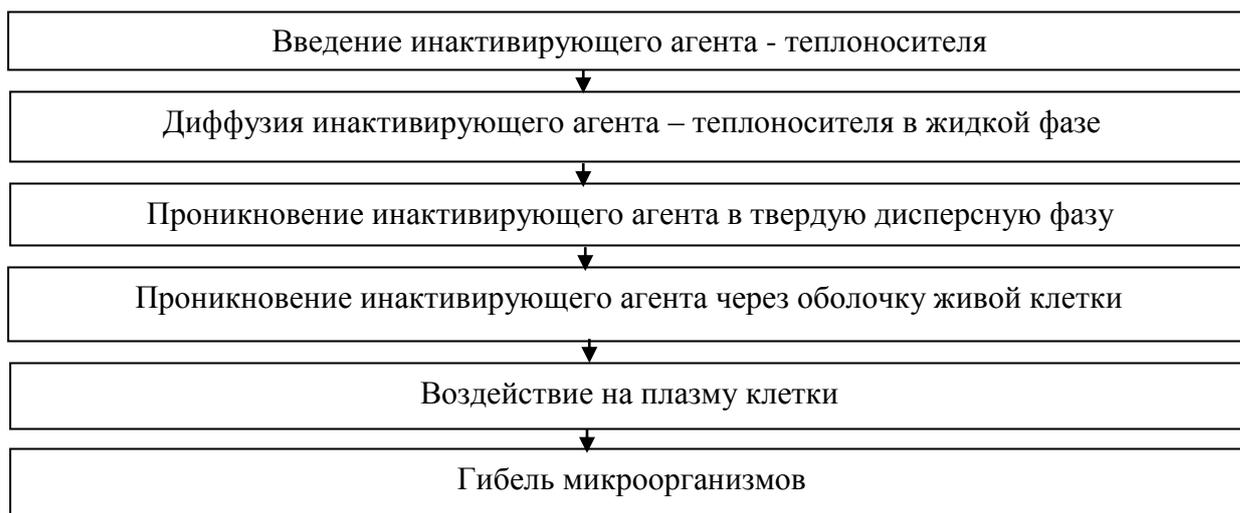


Рисунок 3 – Модель термического обеззараживания

Термическая устойчивость микроорганизмов зависит также от содержания в них кальция и дипиколиновой кислоты [16]. В средах с незначительным содержанием кальция и дипиколиновой кислоты температурная резистентность клеток невысокая. Предполагается, что термоустойчивость микроорганизмов связана с цитоплазмой, формирование которой во времени совпадает с возникновением стойкости к нагреванию. Гибель спор после тепловой обработки объясняют также удалением дипиколиновой кислоты из спор. Вероятность такого утверждения основана на функции, выполняемой дипиколиновой кислотой, входящей в структуру микроорганизмов. Одной из причин гибели микроорганизмов во время нагревания считают денатурацию белковых и нуклеиновых соединений. Не менее существенным является и то, что под влиянием тепловой энергии влажного нагревания в микробной клетке возникает интенсивное броуновское движение, усиление вращений, вибраций и перемещений биологических молекул. Это оказывает воздействие на молекулярную структуру клетки, снижая ее биологическую активность. При термическом воздействии на микроорганизмы, в частности на вирусы, происходит разрыв водородных связей и разрушение пространственного взаиморасположения

структурных компонентов его капсида. В результате вирус утрачивает свои первоначальные функции.

Методом электронной микроскопии выявлено, что при нагревании микроорганизмы значительно меняют свою морфологию: в клетках возникают грубые гранулы, клеточная стенка отходит от цитоплазмы [16]. Отмечена инактивация дыхательных ферментов. В начале температурного воздействия контуры стенки бактерий теряют извилистость и в некоторых участках выглядят размытыми, а цитоплазма разрежена. С наступлением летального эффекта от воздействия температуры форма клеток меняется, клеточная стенка набухает и теряет первоначальную структуру строения. Изменение поверхностной структуры объясняется возможной утечкой жирных кислот, входящих в состав цитоплазматической мембраны и клеточной стенки.

С увеличением времени теплового воздействия наблюдается уменьшение оптической плотности бактерий на 8–10 %. Снижение оптической плотности бактериальных клеток указывает на то, что их гибель связана не с разрушением поверхностных структур бактерий, а с угнетением ферментов. Инактивирующее влияние тепла в жидкой среде также служит следствием механического воздействия активированных молекул воды на чувствительные участки микроорганизмов [16].

## **2.2 Лабораторные исследования воздействия процессов термической инактивации на микроорганизмы**

Выбор параметров обеззараживания (температуры прогрева и экспозиции) определяется показателями устойчивости представителей микрофлоры, содержащейся в сточных водах. В литературных источниках имеются многочисленные данные, характеризующие параметры термической инактивации микроорганизмов. Однако они представлены без учета

первоначальной концентрации микроорганизмов и последующего их снижения в инактивируемой среде при различных значениях температуры и экспозиции, т.е. без учета влияния изменяющейся во времени температуры среды. Этот фактор играет существенную роль, так как длительные экспозиции в переменном температурном поле могут обеспечить требуемую эффективность обеззараживания еще до достижения максимальных значений задаваемых температурных параметров инаktivации.

С целью изучения кинетики инаktivации некоторых санитарно-показательных микроорганизмов при различных температурных режимах и выявления наиболее термоустойчивых штаммов в сточных водах на базе Государственного научного учреждения ВНИИВВиМ Россельхозакадемии были проведены лабораторные исследования.

При проведении лабораторных исследований были предусмотрены следующие этапы работы:

- выращивание микроорганизмов и приготовление суспензии;
- центрирование, подсчет числа клеток и заключение суспензии микроорганизмов в капиллярах;
- термическая обработка суспензии микроорганизмов в капиллярах;
- посев содержимого капилляра (после его обработки) на питательные среды и инкубирование при 37 °С в течение 7 –10 дней;
- подсчет количества выросших колоний и анализ результатов опыта.

В качестве основных параметров, определяющих эффективность инаktivации микроорганизмов в лабораторных условиях, принимали их термическую устойчивость при различных экспозициях. Учитывали вид и возраст культуры микроорганизмов, а также их концентрацию в водной суспензии.

Исследование проводилось с использованием капилляров. Чистые культуры эталонных штаммов микробов засеивали на поверхность плотных питательных сред с мясо-пептонным агаром, инкубировали при 37 °С в

течение 24 часов. Из выросших колоний выбирали наиболее характерную колонию, которую переносили стерильной петлей в пробирку с 5 мл. мясо-пептонного бульона (МПБ) и выдерживали в термостате 24 часа при 37 °С.

Необходимое количество высококонцентрированной суспензии микроорганизмов получали путем смывов посевов, выращенных на твердых питательных средах.

При исследовании термической устойчивости спорных форм освеженный штамм микроорганизмов заседали на картофельный агар и выдерживали в термостате при температуре 37 °С на протяжении 3 суток. Спорообразование контролировали посредством просмотра мазков, окрашенных по методу Пешкова [17]. Термическую устойчивость микроорганизмов исследовали прогреванием суспензии в герметичных капиллярах - стеклянных трубках диаметром 3мм, толщиной от 0,2 до 0,3 мм. и длиной 75–80 мм.

Изменение температуры внутри трубок капилляра определяли при помощи впаянных в них хромель-копелевых термопар. Термопары размещали по оси трубки капилляра. Показания термопар снимали милливольтметром. Стерильным шприцем в открытые концы стеклянных трубок (капилляров) вводили 0,1 мл. инокулята, затем концы трубок запаивали, по 4–12 штук прикрепляли к металлической сетке [18]. Сетки с трубочками последовательно, через определенные промежутки времени опускали в теплоноситель (технический глицерин), в котором автоматически поддерживается заданная температура. Прогревы проводили в ультратермостате, снабженном пропеллерной мешалкой. После прогрева сетки с трубочками извлекали и быстро охлаждали в проточной воде. Для стерилизации поверхностей капилляров их погружали на 15–20 минут в 96%-ый спирт, после чего двукратно отмывали последовательно в двух чашках Петри со стерильной водой. Затем у каждой трубки обламывали пинцетом запаянные концы, а содержимое высевали на чашки Петри с мясо–

пептонным агаром. Для подсчета выживших микроорганизмов прогретые образцы титруют и высевают на плотные питательные среды. Во время исследований контролировали стерильность используемых сред, бокса и камеры термостата [19]. В каждом случае опыты проводили не менее пяти раз.

Полученные результаты лабораторных исследований с микроорганизмами (кишечной палочкой, золотистым стафилококком, псевдоантраксом, антракоидом и сенной бациллой) при первоначальной их концентрации 10 млн. на 1 мл. представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Результаты термического воздействия на суспензию кишечной палочки и золотистый стафилококк

Экспозиция, мин	Среднее значение показателей числа выживших клеток в 1мл. суспензии при температуре, °С							
	Кишечная палочка				Золотистый стафилококк			
	50	55	60	65	55	60	65	70
0,25	6,45	6,38	6,25	6,19	6,60	6,49	6,15	5,78
0,5	6,23	5,90	5,65	6,64	6,37	6,32	4,49	1,71
0,75	6,15	5,74	5,34	5,24	6,18	5,90	3,32	0,50
1,0	6,15	5,18	4,85	4,36	5,03	4,98	3,09	-
2,0	6,14	4,27	4,17	2,75	5,48	4,78	2,61	-
3,0	4,92	4,02	2,36	-	4,98	3,92	-	-
5,0	1,69	1,54	-	-	4,65	-	-	-
10,0	1,41	0,41	-	-	-	-	-	-
15,0	1,27	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 5 – Результаты термического воздействия на суспензию спор

Экспозиция, мин	Среднее значение показателей числа выживших микроорганизмов в 1мл суспензии при температуре, °С								
	100	105	110	115	120	125	130	135	140
Псевдоантракс									
0,25	5,81	5,34	5,04	4,91	4,08	3,25	2,42	0,81	-
0,5	5,70	3,22	2,96	2,36	1,95	1,68	1,05	-	-
0,75	5,40	3,19	2,01	1,47	0,90	0,20	-	-	-
1,0	4,36	1,00	0,51	0,12	-	-	-	-	-
2,0	4,33	-	-	-	-	-	-	-	-
3,0	4,23	-	-	-	-	-	-	-	-
5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Антракоид									
0,25	6,47	6,45	6,40	4,97	3,92	3,98	4,78	0,25	-
0,5	6,38	6,56	5,32	3,84	3,07	2,74	1,89	-	-
0,75	6,33	5,82	4,20	2,91	1,30	1,25	0,90	-	-
1,0	5,86	4,97	3,50	1,72	0,90	0,20	-	-	-
2,0	5,82	4,01	2,30	0,85	-	-	-	-	-
3,0	5,79	3,26	1,19	-	-	-	-	-	-
5,0	5,50	2,08	-	-	-	-	-	-	-
10,0	5,62	1,10	-	-	-	-	-	-	-
15,0	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-
Сенная бацилла									
0,25	7,02	6,87	6,06	6,21	5,01	4,25	3,74	0,91	-
0,5	6,98	6,21	6,00	5,24	4,82	3,10	1,3	-	-
0,75	6,98	5,98	5,85	4,30	2,08	-	-	-	-
1,0	6,84	4,72	5,24	0,90	-	-	-	-	-
2,0	5,14	3,21	-	-	-	-	-	-	-
3,0	3,9	0,57	-	-	-	-	-	-	-
5,0	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-
15,0	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: (-) – отсутствие роста колоний микроорганизмов.

Из таблиц следует, что эффект инактивации микроорганизмов заметно увеличивается при повышении температуры и увеличении экспозиции теплового воздействия.

### **2.3 Описание технологий термического обеззараживания сточных вод**

Принцип действия термического обеззараживания сточных вод в специальных установках заключается в том, что обрабатываемая среда последовательно проходит стадии нагревания, выдержки в реакторе, а затем происходят рекуперация тепла и вывод жидкой среды за пределы установок для последующего сброса в канализацию [20].

Технология термического обеззараживания инфицированных сточных вод основана на воздействии паром под давлением и поддержании определенной высокой температуры в течение заданного промежутка времени. Насыщенный водяной пар легко транспортировать на значительные расстояния. При его использовании можно обеспечить равномерный обогрев, легко регулировать тепловые процессы.

Существуют периодический и непрерывный способы обеззараживания жидкостей. В случае периодического обеззараживания жидкость (среду) обеззараживают непосредственно в аппарате (или в колбе), нагревая ее острым или глухим паром. При этом процесс ведут в несколько этапов:

- стерилизация ферментёра и всех подводящих коммуникаций паром;
- залив прогретой гомогенизированной среды;
- нагревание среды до температуры инактивации;
- выдерживание при этой температуре в течение времени, необходимого для гибели всех микроорганизмов;
- охлаждение стерильной среды в этой же емкости.

К недостаткам периодического способа относятся длительность и неоднородность температурного воздействия на среду, особенно при обеззараживании больших объемов. Во избежание существенных изменений в составе среды, процесс ведут при избыточном давлении 0,05–0,1 МПа, при температуре 110–120 °С в течение 60–90 минут с момента достижения предельной температуры. Периодический способ применяют в основном при обеззараживании сред для колб, лабораторных ферментёров, а также для промышленных аппаратов, если среды не содержат термолабильных компонентов.

Более современный и эффективный способ в промышленных условиях - непрерывный [21]. Он осуществляется в специальных установках непрерывного действия, состоящих из трех основных секций: нагревания, выдерживания и охлаждения. Конструкция теплообменных устройств в каждой из секций может быть различной, чаще всего это простейшие теплообменники типа «труба в трубе». Преимущества непрерывного способа обеззараживания – повышение производительности оборудования, сокращение затрат ручного труда. Но самое важное и принципиальное преимущество – возможность обеспечить большую скорость нагревания и охлаждения среды. Это позволяет проводить инактивацию микроорганизмов при более высокой температуре – от 130 °С до 160 °С продолжительностью выдерживания от 3 до 10 минут. В процессе непрерывного обеззараживания при той же эффективности резко снижаются потери термолабильных компонентов.

Классификация технологий производится по следующим критериям:

- технологическая эффективность;
- энерго – и ресурсопотребление;
- затраты на период жизненного цикла;
- побочные действия на обрабатываемую среду, межсредовые воздействия;

- выраженность факторов, способствующих или препятствующих использованию метода, в том числе потребность в площади (объеме зданий).

Отработка эффективности режимов обеззараживания применительно к реальным технологиям была выполнена во ВНИИВВиМ на специально сконструированных стендах с учетом соблюдения основных этапов технологии:

- нагрев жидкой среды (стерильной или содержащей микроорганизмы) до 140 °С путем косвенного электропрогрева и непосредственного подвода теплоносителя – пара;

- введение суспензии микроорганизмов с помощью давления нейтрального сжатого газа в емкость, заполненную нагретой до температуры инактивации жидкостью;

- выдержка помещенной в жидкую среду пробы в пределах заданных значений давления, температуры и времени;

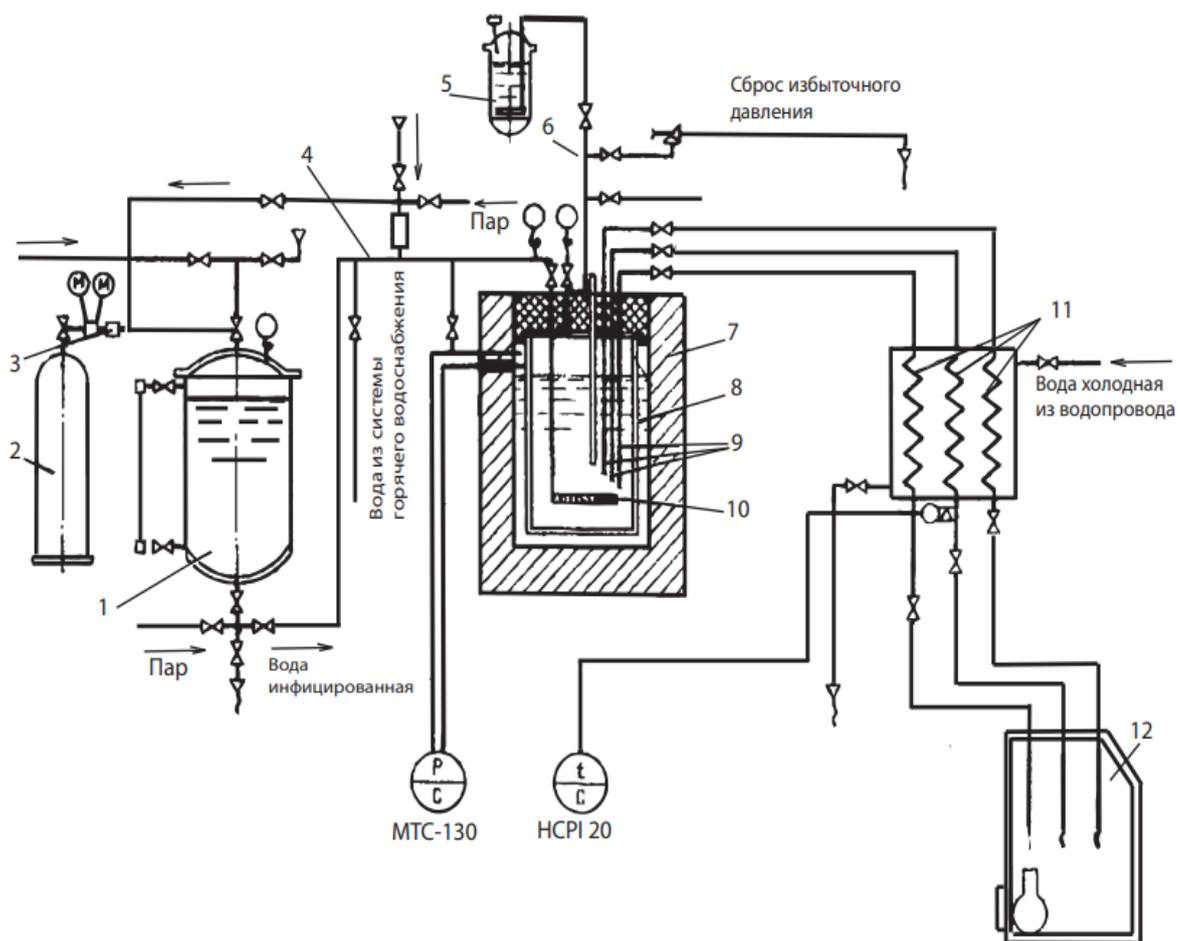
- отбор проб на различных этапах опытов в стерильных условиях настольного бокса, осуществляемый по обособленным трубопроводам, исключаям обсеменение их микроорганизмами;

- быстрое охлаждение отобранной пробы;

- стерилизация всех систем паром с температурой 110–130 °С.

Исследования, выполненные на экспериментальных стендах, позволили отработать основные элементы технологии обеззараживания сточных вод.

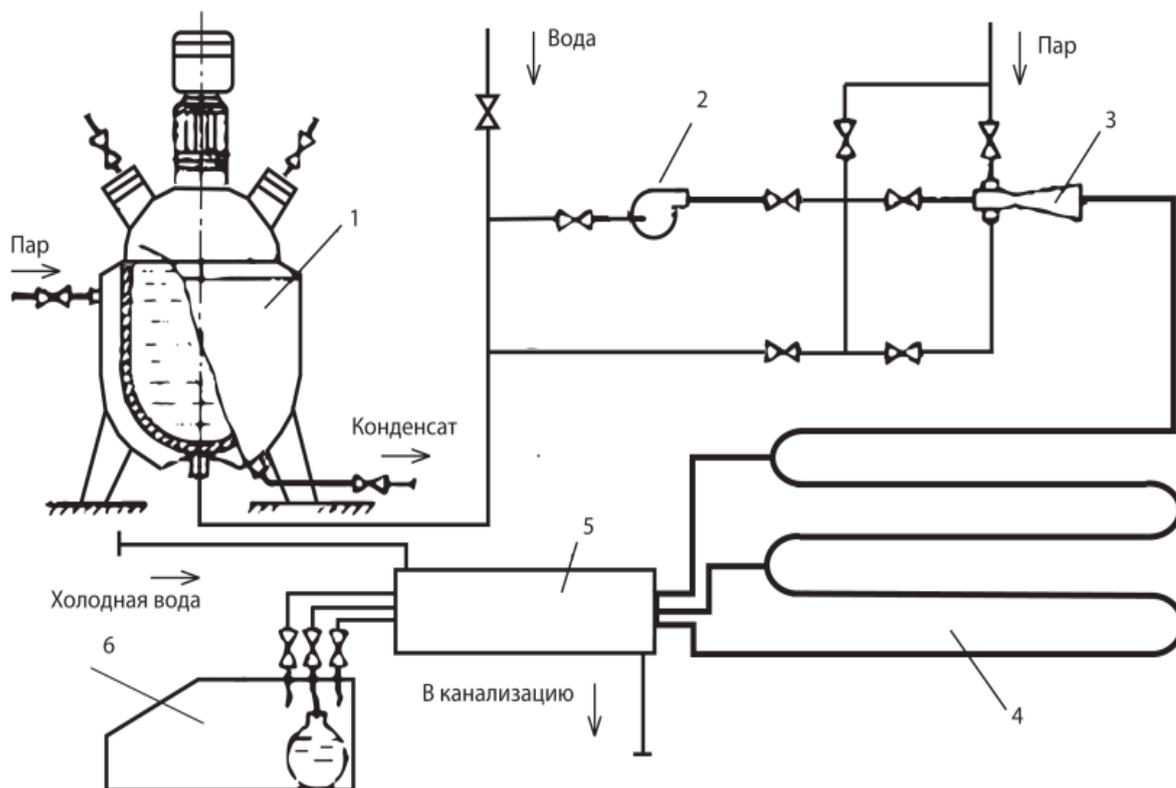
С помощью стенда № 1, представленного на рисунке 4, на котором смоделировано обеззараживание сточных вод с использованием схемы периодического действия, была выявлена выживаемость микроорганизмов во внутренних полостях патрубков емкости, находящихся вне зоны основного температурного воздействия обеззараживаемой жидкой среды. Это обстоятельство не обеспечивало санитарной надежности процесса в аппаратах емкостного типа.



1—емкость для суспензии микроорганизмов, 2—баллон сжатого газа, 3—редуктор, 4—трубопровод для введения проб, 5—емкость с дезинфектантом, 6—воздушник, 7—печь сопротивления, 8—рабочая емкость, 9—трубопроводы для отбора проб, 10 —барботер, 11—теплообменник, 12 —бокс.

Рисунок 4 – Стендовая установка для проверки инактивации микроорганизмов по схемам периодического действия

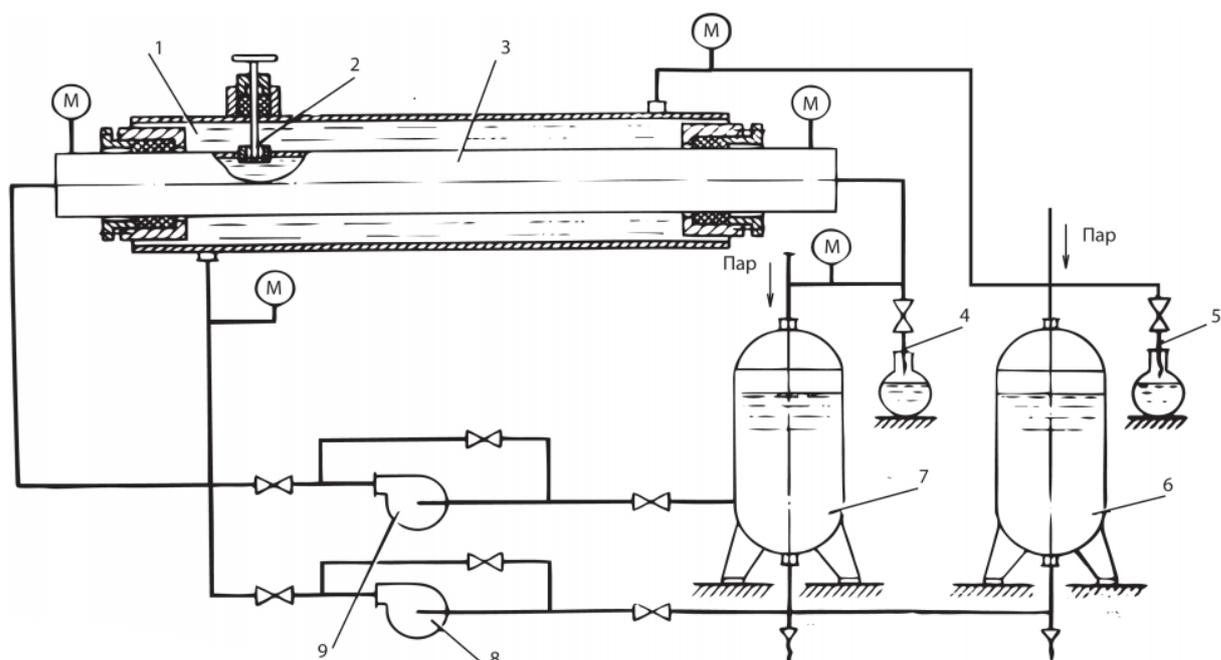
С помощью стенда № 2, представленного на рисунке 5, на котором смоделировано обеззараживание сточных вод с использованием схемы непрерывного действия, была выявлена высокая эффективность обеззараживания в условиях высокоскоростного прогрева с использованием струйного аппарата.



1–емкость для суспензии микроорганизмов, 2 – насос, 3–струйный аппарат, 4–трубчатый выдерживатель, 5–теплообменник, 6–бокс

Рисунок 5 – Стендовая установка непрерывного действия

С помощью стенда № 3, представленного на рисунке б, на котором смоделирована схема для изучения режимов рекуперации тепла, была обеспечена отработка процесса регенерации тепла от обеззараженных стоков. Выявлено, что при наличии избыточного давления со стороны обеззараженных сточных вод, при наличии не плотностей в теплопередающей поверхности, перетекание необработанных сточных вод в обработанные – не происходит. Этим достигается санитарная надежность процесса теплообмена в теплообменнике «труба в трубе».



1–межтрубное пространство, 2–запорное устройство, 3–внутренняя труба, 4–пробоотборник индикаторного контура, 5–пробоотборник стерильного контура, 6–емкость со стерильной средой, 7–емкость с индикаторной средой, 8–9–насосы

Рисунок 6 – Схема для изучения режимов рекуперации тепла

Рассмотрев методы обеззараживания сточных вод, можно сделать вывод, что для предприятий, работающих в области биотехнологий, оптимальным и целесообразным вариантом является использование термического способа обеззараживания.

Приведенные результаты термического воздействия на наиболее устойчивые споровые формы микроорганизмов свидетельствуют о том, что эффект инактивации заметно увеличивается при повышении температуры и увеличении времени теплового воздействия.

Исследования, выполненные на экспериментальных стендовых установках, имитирующих технологии промышленного масштаба, позволили отработать и дать оценку технологическим элементам термического обеззараживания сточных вод применительно к промышленным условиям.

При этом выявлен ряд недостатков процессов, осуществляемых в аппаратах емкостного типа при использовании технологии периодического действия – недостаточность санитарной надежности процесса, возможность преждевременного выхода сточных вод за пределы аппарата, энергоемкость.

Выявлена высокая эффективность способа быстрого прогрева с использованием струйного аппарата, а также возможность рекуперации тепла от стоков, прошедших термическую обработку, для подогрева сточных вод, поступающих на обеззараживание.

Таким образом, обеззараживание сточных вод можно проводить различными способами. Конкретный выбор зависит от состава стоков.

При наличии в воде опасных болезнетворных микроорганизмов единственным методом, обеспечивающим полную инактивацию микроорганизмов, является термическое воздействие.

Проведенные лабораторные исследования термического воздействия на отдельных представителей микрофлоры показали, что эффект инактивации микроорганизмов заметно увеличивается при повышении температуры и увеличении экспозиции теплового воздействия.

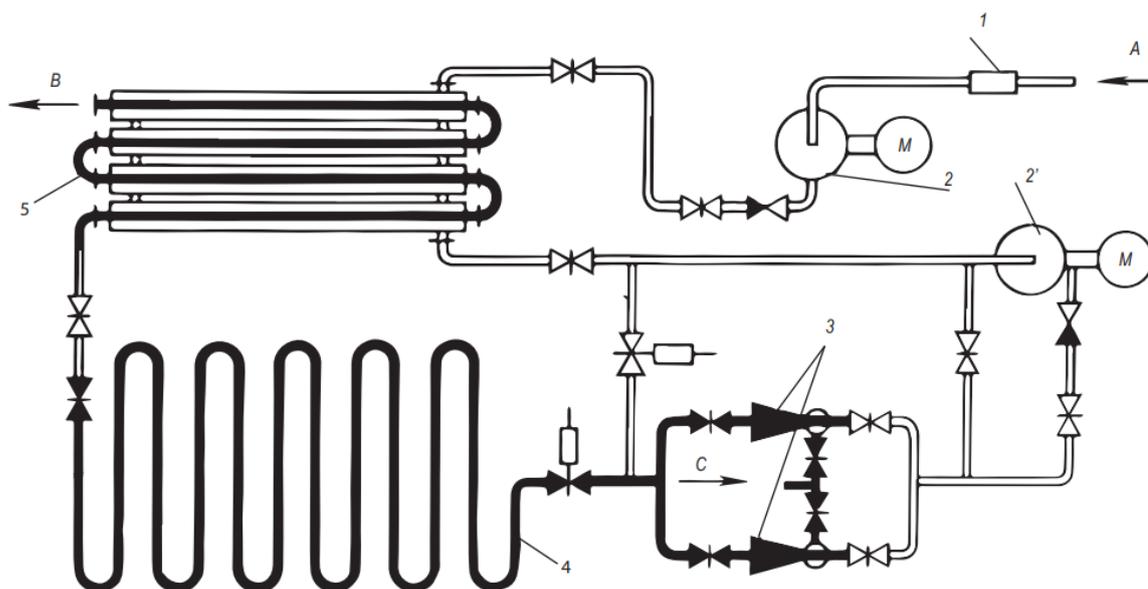
С помощью стендовых установок были отработаны основные элементы технологии обеззараживания сточных вод, установлены их достоинства и недостатки применительно к промышленным условиям.

### 3 Оптимизация технологического процесса обеззараживания сточных вод

#### 3.1 Характеристика обеззараживания сточных вод с использованием установки ОСВ-2,5

Обеззараживание сточных вод с использованием установки ОСВ–2,5, происходит при практически мгновенном прогреве сточных вод до требуемой температуры паром – теплоносителем в условиях интенсивного гидравлического ударного воздействия струи, выходящей из сопла струйного аппарата и возникающих при этом кавитационных процессах.

Принципиальная схема установки для обеззараживания жидкостей представлена на рисунке 7.



А–нестерильная жидкость, В–стерильная жидкость, С– пар,  
1 –дробилка, 2–насосы, 3– струйные аппараты, 4–выдерживатель,  
5–теплообменник

Рисунок 7 – Принципиальная схема установки обеззараживания сточных вод струйными аппаратами

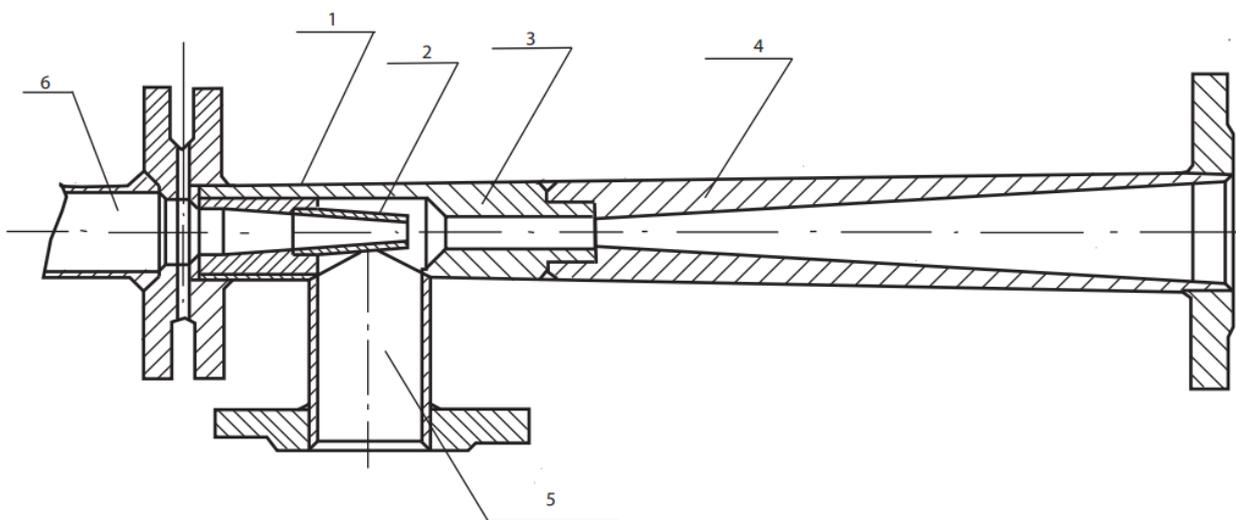
Основными элементами установки для обеззараживания сточных вод являются:

- дробилка,
- емкость –накопитель,
- блок насосов первой ступени,
- блок насосов второй ступени,
- узел струйных аппаратов,
- блок регенерации тепла –теплообменник,
- автоклав проточного типа,
- металлоконструкции (рама, основания),
- трубопроводы подключения,
- фильтр грубой очистки,
- пуско–регулирующая арматура,
- приборы КИПиА,
- щит электрический,
- КИПиА,
- запорная арматура,
- регуляторы давления и температуры,
- парогенератор.

Струйный аппарат, изображенный на рисунке 8, представляет собой устройство, предназначенное для нагрева сточных вод до температуры обеззараживания путем их смешения с паром.

Струйный аппарат состоит из:

- корпуса,
- рабочего сопла,
- всасывающего патрубка,
- камеры смешения,
- диффузора,
- нагнетательного патрубка.



1–нагнетательный патрубок, 2–корпус, 3–сопло, 4–камера смешения,  
5–всасывающий патрубок, 6–диффузор

Рисунок 8 – Струйный аппарат

Насосом второй ступени сточные воды нагнетаются в струйный аппарат под давлением 0,3–0,5 МПа и, выходя из сопла со скоростью 12 метров в секунду, образуют в рабочей камере вакуум, под действием которого поступает пар давлением на 0,05 МПа меньшим давления нагнетания. Пар конденсируется на поверхности струи, интенсивно перемешивается в диффузоре, обеспечивая, таким образом, практически мгновенный нагрев сточных вод до задаваемой температуры обеззараживания.

Выдерживатель – цельносварной змеевик из труб, который предназначен для выдерживания стоков при высокой температуре.

Теплообменник представляет собой цельносварной змеевик, выполненный по принципу «труба в трубе» и состоящий из нескольких последовательно соединенных элементов, образованных двумя концентрически расположенными трубами. По наружной трубе перемещаются разогретые стоки, поступающие в теплообменник из выдерживателя. По внутренней трубе – стоки, закачиваемые насосом для

обеззараживания. В теплообменнике происходит предварительный подогрев стоков и снижение их температуры перед сбросом в канализацию.

Насос первой ступени служит для закачивания сточных вод в теплообменник. Из теплообменника подогретые стоки по трубопроводу попадают в насос второй ступени, который подает стоки по трубопроводам в приемные сопла струйных аппаратов.

В приемные камеры струйных аппаратов подается пар, который подводится по трубопроводам от паровой магистрали.

Из струйных аппаратов разогретые стоки направляются к выдерживателю. При перемещении стоков, нагретых до 110–120 °С, под давлением 0,1–0,2 МПа по трубам выдерживателя происходит процесс инактивации дисперсных включений.

Из выдерживателя горячие стоки поступают в теплообменник, где перемещаясь по трубам, отдают тепло холодным стокам, закачиваемым в систему обеззараживания насосом первой ступени.

Из теплообменника обработанные стоки подаются на слив во внешнюю канализацию. При необходимости дополнительного снижения температуры стоки разбавляют холодной водой.

Система КИП и автоматики предусматривает остановку процесса в случае снижения температуры обеззараживания ниже допустимого значения (110 °С), что исключает проскок необеззараженных стоков за пределы струйного аппарата и установки в целом. В этом случае сточные воды возвращаются из концевой части выдерживателя в исходную емкость – накопитель для повторного обеззараживания.

Установка может работать как по одноступенчатой, так и по двухступенчатой схеме обеззараживания сточных вод. При работе по одноступенчатой схеме время нагрева сточной жидкости составляет не менее 60 минут, по двухступенчатой – 8 – 10 минут (после достижения заданной температуры сточной жидкости).

Для достижения устойчивого режима работы установки (для предотвращения гидравлических ударов, возникающих при перегреве жидкости выше 100 °С с использованием пара в качестве эжектирующей среды) в АО «ГЕНЕРИУМ» применяется двухступенчатое прогревание жидкости. На первой ступени сточные воды прогревают до 80–90 °С, на второй – до температуры инактивации 120–130 °С.

Время инактивации некоторых микроорганизмов и вирусов в рассматриваемой установке при воздействии высокой температуры представлено в таблице 6. При повышении температуры время инактивации сокращается.

Таблица 6 – Регламент термического обеззараживания сточных вод с использованием струйных аппаратов

Микроорганизмы	Показатели регламента				Эффект обеззараживания, %
	Нагрев, °С	Выдержка в реакторе, мин.	Давление в реакторе, МПа	Давление нагнетания, МПа	
Споровые формы микроорганизмов	130	8	0,2-0,1	0,5-0,3	100,0
	125	10			
Вирусы	120	8	0,15-0,05	0,4-0,3	100,0
	110	10			
Не споровые формы микроорганизмов	110	8	0,1-0,05	0,4-0,2	100,0
	100	10			

Из таблицы видно, что соблюдение показателей регламента обеспечивает 100 % эффект обеззараживания сточных вод, содержащих органические включения.

С целью изучения эффективности термического обеззараживания сточных вод на установке ОСВ-2,5 были проведены лабораторные исследования на базе Государственного научного учреждения ВНИИВВиМ Россельхозакадемии. Для этого в феврале 2020 года в течении одной недели мной были отобраны пробы сточных вод, поступающих после термической

обработки в установке обеззараживания сточных вод, действующей на предприятии АО «ГЕНЕРИУМ», в центральную систему канализации. Пробы сточных вод были переданы в лабораторию вирусологического института ВНИИВВиМ. Результаты лабораторного анализа представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты лабораторного анализа проб сточных вод после обеззараживания на установке ОСВ – 2,5

Микроорганизмы	Наличие микроорганизмов в сточных водах до обработки	Наличие микроорганизмов после обеззараживания	Эффект обеззараживания, %
Candida albicans	+	-	100,0
Aspergillus niger	+	-	100,0
Salmonella abony	+	-	100,0
Clostridium sporogenes	+	-	100,0
Staphylococcus aureus	+	-	100,0
Escherichia coli	+	-	100,0

Принцип действия. Данная технология основана на высокоинтенсивном прогреве загрязненных стоков паром до 100–130 °С, последующим автоклавированием их в непрерывном турбулентном потоке под давлением 0,15–0,2 МПа, охлаждении в теплообменнике до 50–60 °С стоками, поступающими на обработку, и последующим сбросом во внешнюю канализацию.

Температура нагрева регулируется параметрами пара, количеством поступающей в аппарат жидкости. Все данные по использованию установки обеззараживания сточных вод отражаются в журнале учета, имеющего вид таблицы 8.

Таблица 8 – Журнал по учету продолжительности и режиму работы установки ОСВ-2,5

Дата	Время включения	Режим обеззараживания								Время отключения	Продолжительность работы установки
		Температура (t, °С)				Давление (P, кгс/см. <sup>2</sup> )					
		в помещении	подогретых стоков	обеззараживания	сбрасываемых стоков	манометрМ1	манометрМ2	манометрМ3	манометрМ4		
22.02.19	09.15	22	82	123	60	3,1	2,1	0,6	1,5	11.00	1 ч. 45 мин.
25.02.19	08.00	21	24	124	58	3,1	2,2	0,7	1,6	10.00	2 ч. 00 мин.
27.02.19	15.00	22	81	123	57	3,0	2,1	0,5	1,5	16.30	1 ч. 30 мин.
01.03.19	14.10	23	85	123	55	3,2	2,2	0,6	1,4	16.00	1 ч. 50 мин.
04.03.19	10.20	22	84	124	54	3,1	2,2	0,5	1,5	12.00	1 ч. 40 мин.
06.03.19	10.00	23	82	122	55	3,0	2,1	0,5	1,5	12.00	2 ч. 00 мин.
07.03.19	14.30	22	84	124	58	3,1	2,2	0,6	1,6	16.00	1 ч. 30 мин.
11.03.19	08.00	21	85	123	57	3,0	2,1	0,6	1,5	10.00	2 ч. 00 мин.
13.03.19	08.10	22	84	123	58	3,1	2,2	0,6	1,6	10.00	1 ч. 50 мин.
15.03.19	13.30	23	85	124	60	3,2	2,3	0,8	1,4	15.15	1 ч. 45 мин.
18.03.19	08.30	22	88	124	55	3,1	2,2	0,7	1,6	10.30	2 ч. 00 мин.
20.03.19	09.30	21	82	122	54	3,1	2,1	0,6	1,5	11.00	1 ч. 30 мин.
23.03.19	15.00	22	83	122	55	3,1	2,2	0,7	1,4	16.40	1 ч. 40 мин.

Примечание: – показания манометра М1 – давление, создаваемое необеззараженными стоками;

– показания манометра М2 – давление нагнетания необеззараженных сточных вод в струйный аппарат;

– показания манометра М3- давление обеззараженных сточных вод на выходе из теплообменника;

– показания М4 – давление сточных вод в выдерживателе.

Ведение работ с оборудованием, обеспечивающим защиту от негативного воздействия на окружающую среду, происходит строго в рамках установленного регламента. Именно поэтому журнал учета продолжительности и режима работы установки ОСВ–2,5 является обязательным условием для успешной работы АО «ГЕНЕРИУМ», где существует риск микробиологического заражения. Он служит для учета времени работы оборудования и является той самой базой, на основе которой контролируются основные параметры процесса обеззараживания, а именно: температура нагрева сточных вод и время выдержки в проточном режиме автоклавирования при заданном уровне давления.

К основным достоинствам установки относят:

- обеспечение высокой эффективности обеззараживания за счет практически мгновенного нагрева сточных вод до требуемой температуры и последующей выдержки сточных вод под давлением, соответствующем температуре насыщения;
- отсутствие не прогреваемых зон;
- простота обслуживания и эксплуатации;
- стандартные комплектующие;
- использование принципа рекуперации тепла;
- термическая обработка осуществляется по непрерывному способу;
- двухступенчатый нагрев жидкости, предотвращающий гидравлический удар.

Недостатки:

- высокая температура сточных вод на выходе (50 – 60 °С). Данный показатель превышает установленный норматив, соответствующий 40°С;
- большие размеры установки;
- длительное время выдержки;
- высокий расход пара на 1м<sup>3</sup>;

- большой удельный расход электроэнергии;
- требуется вода для охлаждения.

Таким образом, в период эксплуатации установки выявлены как положительные моменты, заключающиеся в 100 % обеззараживании сточных и наличии секции рекуперации тепла, так и существенные недостатки установки по обеззараживанию сточных вод ОСВ – 2,5 – значительная энергоемкость, длительность выдержки, несоответствие нормативным температурным показателям сточных вод перед сбросом их в городскую канализационную сеть.

### **3.2 Описание работы оптимизированной системы обеззараживания с использованием станции термической обработки сточных вод ACTIONI ULTIMATE (ULT) – 1000**

Учитывая темпы развития научно – исследовательской деятельности предприятия, расширение ассортимента и объемов выпускаемой продукции, а, следовательно, и объемов сточных вод, а также значительный рост тарифов на энергоресурсы, возникла острая необходимость в модернизации действующего оборудования по обеззараживанию сточных вод.

Для решения данного вопроса необходимо укомплектовать участок новым высокотехнологичным оборудованием. При этом должное внимание следует уделить автоматизации процесса, максимально возможной продолжительности работы, обеспечению полной инактивации микроорганизмов, а также энергоемкости установок.

В качестве наиболее подходящего варианта предлагается станция термической обработки сточных вод ACTIONI ULTIMATE(ULT) – 1000 [22].

Данная система непрерывной деконтаминации стоков разработана французской компанией АСТІNІ. Она полностью стандартизирована для биопромышленности и лабораторий.

Система ULTIMATE – 1000, представленная на рисунке 9, – это ультракомпактная модель, объединяющая в себе все необходимые и наиболее важные основные функции для обеспечения безопасной деконтаминации и слива стоков. Главное ее преимущество – стандартная конструкция, что влечет за собой приемлемую стоимость, кратчайшие сроки для подготовки и запуска, а также простоту интеграции.



Рисунок 9 – Установка ACTINI ULTIMATE – 1000

Она позволит обеспечить:

- 100 % уничтожение всех видов микроорганизмов-возбудителей инфекционных болезней (людей и животных), содержащихся в сточных водах;

- полное отсутствие какого-либо контакта зараженных стоков с помещением и персоналом;

- невозможность слива необработанных стоков в канализацию.

Конструкция установки имеет следующие особенности:

- трубчатый дизайн, обеспечивающий непрерывную обработку стоков;

- все теплообменники сварные, что позволяет избежать риска утечки и перекрестного загрязнения;

- нагрев паром;

- секция рекуперации (экономия до 80 % используемой тепловой энергии);

- ультракомпактный дизайн;

- соответствие европейским и американским стандартам.

Компоненты оборудования:

- подготовка пускового бака и СІР – мойки (безразборная мойка);

- СІР-ёмкости для хранения растворов СІР (безразборная мойка);

- насосная система, защищенная фильтром;

- секция обработки с системой рекуперации энергии;

- полностью оснащенная система (датчик температуры, расходомер, датчики давления и уровня, клапаны) для полностью автоматической работы устройства.

Конструктивная схема установки представлена на рисунке 10. Она включает в себя: электрический шкаф, секцию выдержки, секцию рекуперации тепла и теплообменники, насос, пусковой резервуар.

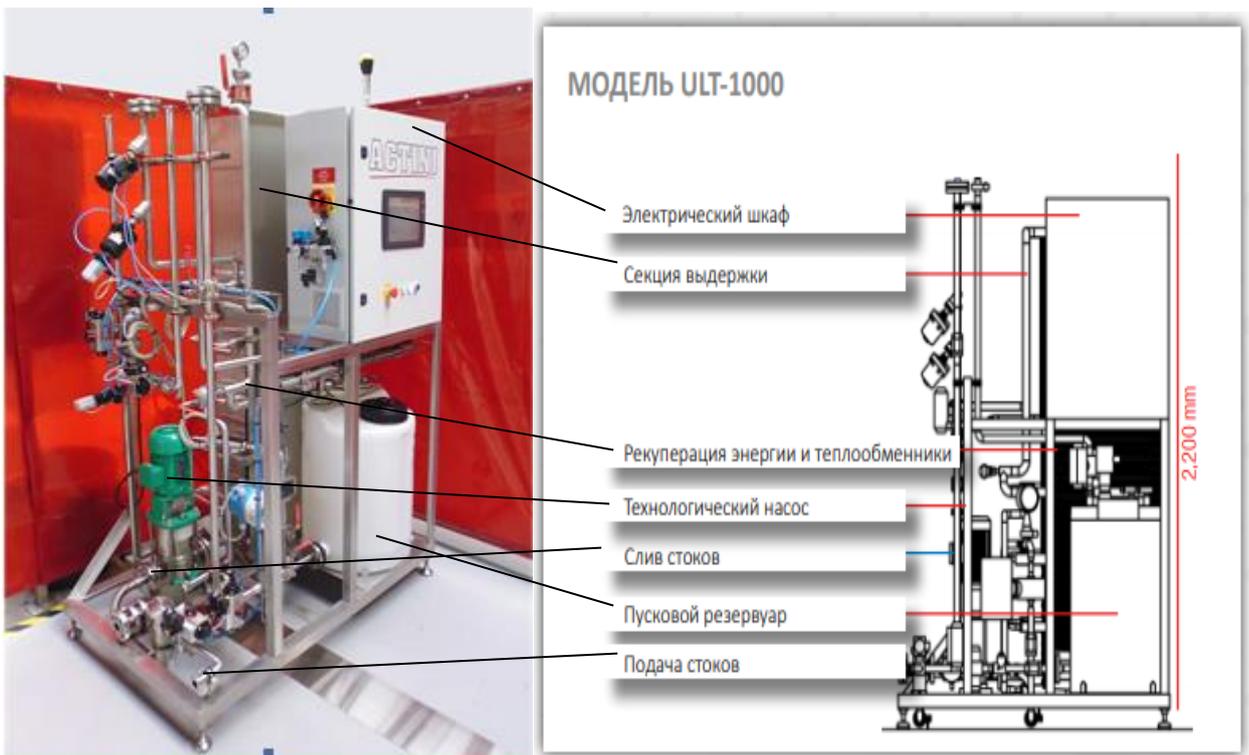


Рисунок 10 – Конструктивная схема установки

Программа обработки стоков. Стандартная установка обеспечивает  $135^{\circ}\text{C}$  ( $275^{\circ}\text{F}$ ) – за 1 минуту.

Показатели летальности: тождество показателей летальности (значение показателя=20): 20 минут при  $121.1^{\circ}\text{C}$  = 49 секунд при  $135^{\circ}\text{C}$ .

В предлагаемой системе АСТИНИ, показатель летальности  $F_0=25$ , что эквивалентно 25 минутам при  $121.1^{\circ}\text{C}$ .

Система деконтаминации непрерывных сточных вод включает в себя накопительную часть, установку деконтаминации, секцию регенерации.

Последовательность технологических операций по обеззараживанию сточных вод с использованием установки АСТИНИ ULTIMATE – 1000 представлена на рисунке 11.

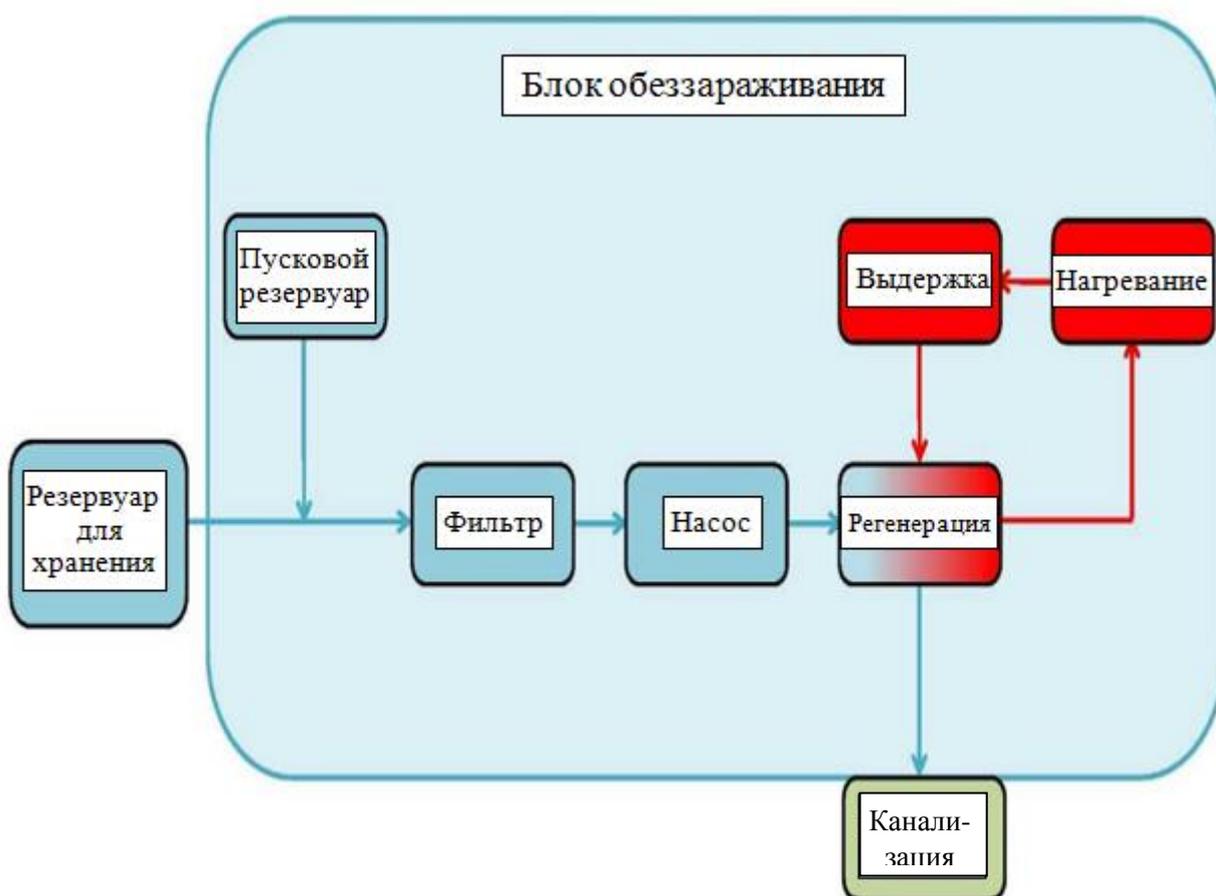


Рисунок 11 – Технологическая схема обеззараживания сточных вод в АСТИНИ ULTIMATE – 1000

Накопительная емкость стоков. Включает в себя танк, трубопроводы, клапана, аксессуары, приборы и все необходимые предметы для танков. Танк предназначен для процесса сбора стоков. В качестве измерительных приборов для управления системой, в том числе определения уровня жидкостей, используются датчики высокого и низкого уровня.

Основные характеристики танка:

- рабочий объем: 5000 литров,
- расчетная температура: 130 °С,
- рабочая температура: от 20 °С до 99 °С.

Установка деконтаминации. Теплообменники АСТИНИ ULTIMATE изготовлены из 2 концентрических труб, по которым жидкости циркулируют

в противоположных направлениях. Моно-трубчатые теплообменники обеспечивают отсутствие преференциальных потоков и полную стерилизацию. Цельносварная конструкция исключает утечки. Материал теплообменной поверхности специально разработан для работы при температуре 140 °С.

Основными характеристиками установки деконтаминации являются:

- рабочее давление: 6 bar (90 PSIG),
- расчетная температура: 180 °С,
- расчетное давление: 8 bar (120 PSIG).

Секция регенерации представлена на рисунке 12. Наличие секции регенерации энергии позволяет осуществлять предварительный подогрев сточных вод (с входной температурой до 115 °С) и охлаждение после обработки без дополнительных энергетических затрат.

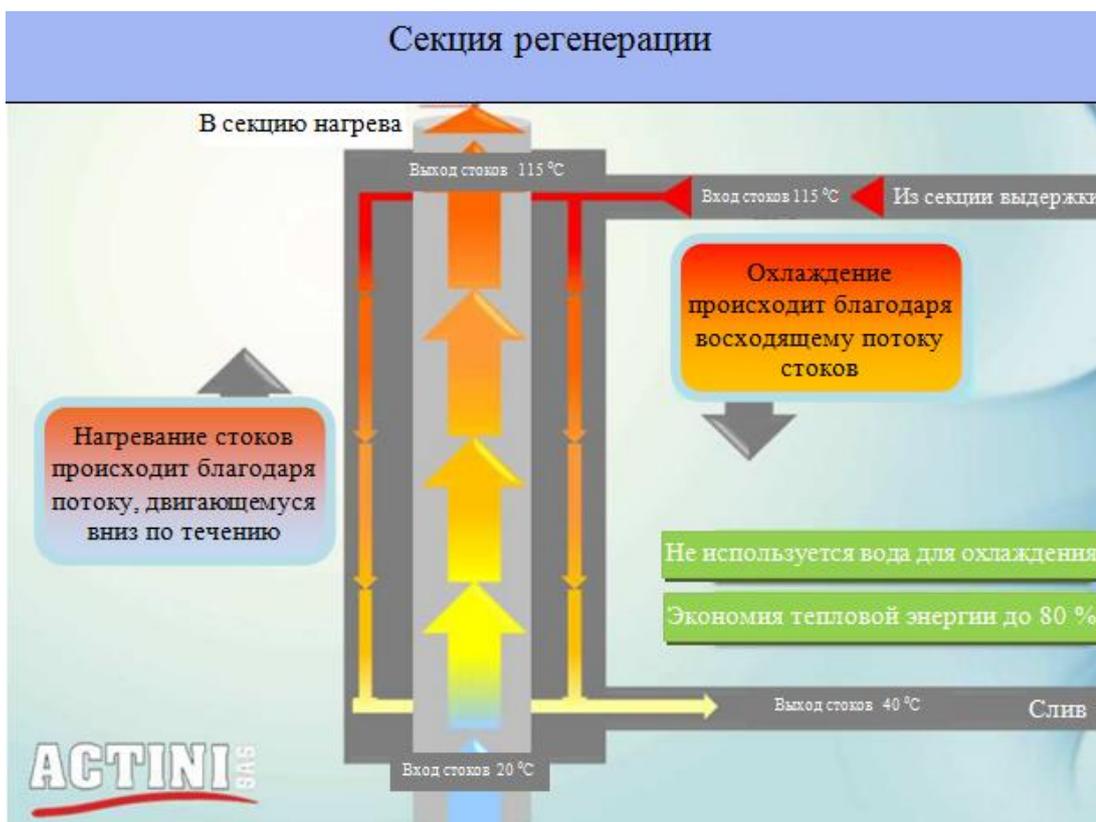


Рисунок 12 – Схема секции регенерации

Секция нагрева. Работает на пару. Секция нагрева позволяет нагреть стоки до необходимой температуры обработки. Паровая система нагрева гарантирует высокий коэффициент теплопередачи пара, а также эффективность работы системы.

Секция выдержки. Предназначение секции выдержки – выдерживание необходимого времени при температурной обработке. Секция выдержки также цельно сварена для предотвращения риска утечки. Соблюдение времени выдержки гарантирует эффективность работы всего устройства.

Секция охлаждения. Секция охлаждения позволяет охладить стоки перед сбросом в общегородскую канализацию или перед танком рН нейтрализации.

Емкость для запуска и подготовки СІР. Данная емкость предназначена для хранения химических продуктов. Для безразборной мойки системы используются различные кислоты и щелочи.

Фильтр. Устанавливается перед системой насосов, данный фильтр применяется для задержки частиц >1мм.

Насосы. В системе предусмотрено два типа насосов: для дозирования химических веществ и центробежные. Первый тип устанавливается на химическом танке и используется для дозирования химических продуктов с целью выполнения операций СІР системы. Второй тип насосов - технологические центробежные. Они устанавливаются между накопительной емкостью и установкой термической обработки.

К контрольно-измерительным приборам, используемым в системе деконтаминации сточных жидкостей, относят:

-датчик температуры. Температура измеряется до, вовремя и после нагрева теплообменника;

-датчик давления (только для накопительного танка). Давление измеряется до и после нагрева теплообменника;

-расходомер. Принцип работы: электромагнитная система измерения расхода;

- датчик уровня. Принцип работы: электропроводность.

Система оборудована пневматическим и ручным шаровым краном, а также регулируемыми клапанами. Клапан управления потоком осуществляет регулировку скорости потока, а клапан управления паром обеспечивает регулировку температуры в системе.

Система нейтрализации. Она расположена в конце процесса деконтаминации. Система нейтрализации позволяет контролировать и регулировать pH обеззараженных обработанных стоков, прежде чем они будут слиты в канализацию.

Она представлена накопительной емкостью объемом 2000 л., которая изображена на рисунке 13. Оборудована pH сенсором и центробежным насосом. Размеры емкости: длина: 1400 мм., высота: 2000 мм.



Рисунок 13 – Накопительная емкость системы нейтрализации

Рама корпуса. Основной корпус специально разработан минимальными габаритами основания, простым доступом и обзором ко всем деталям, состояние которых необходимо периодически контролировать, а также к деталям, которые могут потребовать съема, калибровки или обслуживания.

Электрический шкаф. Шкаф управления и электропитания установлен на раме. Имеет одну контрольную панель интерфейса оператора, расположенную на передней стороне. На дисплее отображаются данные процесса, события и тревоги, а также кривые тренда для процессов и краткая история. В случае неполадок с HMI панелью, отсек термической деконтаминации продолжает работать в нормальном режиме. В случае падения температуры, программный логический контролёр закрывает клапан выхода.

Функционирование (полный цикл) процесса термической обработки стоков представлен на рисунке 14.

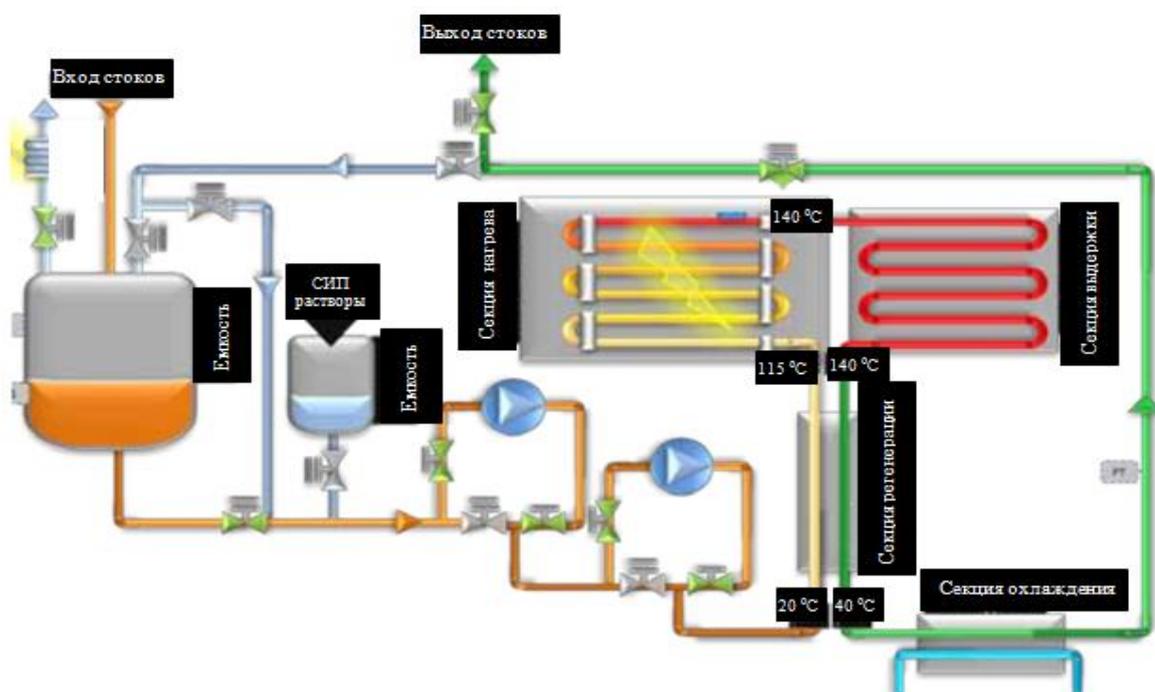


Рисунок 14– Схема процесса термической обработки стоков

Перед тем, как зараженные жидкие стоки поступают в систему деконтаминации, вода из пускового резервуара начинает циркулировать по системе до стабилизации скорости потока и достижения необходимой температуры обработки.

После стабилизации системы, сточные потоки начинают поступать в систему деконтаминации, где они нагреваются до необходимой температуры, выдерживаются при этой температуре в течение установленного промежутка времени, и затем после охлаждения до нужной температуры сбрасываются в канализацию.

В случае, если нарушается температурный режим или время выдержки, работа системы деконтаминации приостанавливается, и система автоматически переключается в режим санитарной обработки.

По окончании процесса деконтаминации, оборудование производит санитарную обработку, цикл очистки и окончательное охлаждение системы.

После завершения вышеописанных процессов система полностью обеззараживается и в готовом состоянии ожидает новый цикл деконтаминации. Данные по содержанию микроорганизмов в сточных водах после обеззараживания представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Содержание микроорганизмов в сточных водах после обеззараживания в АСТINI ULTIMATE – 1000

Микроорганизмы	Наличие микроорганизмов после обеззараживания	Эффект обеззараживания, %
<i>Candida albicans</i>	–	100,0
<i>Aspergillus niger</i>	–	100,0
<i>Salmonella abony</i>	–	100,0
<i>Clostridium sporogenes</i>	–	100,0
<i>Staphylococcus aureus</i>	–	100,0
<i>Escherichia coli</i>	–	100,0

Из таблицы видно, что новая установка обеспечивает 100 % эффект обеззараживания сточных вод. Стоки не содержат микроорганизмов и соответствуют предъявляемым к ним микробиологическим требованиям. Такие сточные воды могут сливаться в городскую канализационную сеть.

Преимущества:

-надежная система обеззараживания (автоматический цикл санитации, постоянный контроль параметров деконтаминации (температура – время), цельносварная трубчатая конструкция для исключения рисков перекрестного обсеменения, ПЛК-контроль циклов (включена программа самодиагностики) (автоматический запуск, останов, СІР-циклы) и ведение записей, стерилизация дыхательного клапана, конструкция валидирована со стороны ведущих производителей вакцин);

-экономия энергии (непрерывный цикл работы до 16 часов в сутки). Секция рекуперации: поскольку 80 % тепловой энергии сохраняется, охлажденная вода не нужна. В связи с этим производственные расходы до 10 раз ниже, чем у других существующих систем, трубчатая поточная система позволяет обрабатывать большие объемы стоков в короткие сроки);

-экономия площади (занимают небольшую площадь, модульная система расстановки – возможность размещения в нишах или в линию).

### **3.3 Технико-экономическое обоснование оптимизации действующего оборудования**

Выбору оборудования для очистки сточных вод, содержащих микроорганизмы, уделяется особое внимание, поскольку:

- детальный выбор оборудования позволяет избежать неэффективных трат и выбрать установки обеззараживания, удовлетворяющие санитарно – гигиеническим требованиям, предъявляемым к качеству сточных вод;

- обеспечение необходимого уровня обеззараживания (100 %) позволяет избежать штрафных санкций со стороны контролирующих органов;

- для предприятий, осуществляющих деятельность в области биотехнологий, присущ высокий уровень риска распространения со сточными водами возбудителей серьезных заболеваний.

Расчет теплового баланса.

Нагрев воды паром определяется уравнением теплового баланса:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{в}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – количество тепла, отдаваемое паром нагреваемой воде, ккал/ч,

$Q_{\text{в}}$  – количество пара, воспринимаемое водой, ккал/ч.

Расход пара на нагревание воды при запуске установки составит ( $D_{\text{п}}'$ ):

$$D_{\text{п}}' = \frac{G \cdot j(t_k' - t_{\text{x.в.}})}{i_{\text{п}} - t_k'}, \quad (2)$$

где  $G$  – количество воды, нагреваемой в период запуска,

$j$  – плотность воды (1000 кг/м<sup>3</sup>),

$t_k'$  – конечная температура нагрева (90 °С),

$t_{\text{x.в.}}$  – температура исходной воды (20 °С),

$i_{\text{п}}$  – энтальпия насыщенного пара при давлении 0,4 МПа.

$$D_{\text{п}}' = \frac{2,5 \cdot 1000 \cdot (90 - 20)}{654 - 90} = 310,3 \text{ кг.}$$

Расход пара на подогрев воды при запуске до температуры обеззараживания ( $D_{\text{п}}''$ ):

$$D_n'' = \frac{G'' \cdot j(t_k'' - t_k')}{i_n'' - t_k''}, \quad (3)$$

где  $G''$  – количество воды после выхода на номинальную производительность,  
 $t_k''$  – заданная температура обеззараживания ( $120^\circ\text{C}$ ),  
 $t_k'$  – температура воды, нагнетаемая в струйный аппарат, прошедшая рекуперацию в теплообменнике (в период запуска) ( $80^\circ\text{C}$ ).

$$D_n'' = \frac{3 \cdot 1000 \cdot (120 - 80)}{654 - 120} = 224,72 \text{ кг.}$$

Расход пара на обеззараживание сточных вод после выхода установки на режим при условии подогрева стоков в процессе рекуперации ( $D_n'''$ ):

$$D_n''' = \frac{G'' \cdot j_1 \cdot \Delta t}{i_n'' - t_k''}, \quad (4)$$

где  $\Delta t$  –  $(120 - 100)^\circ\text{C}$ .

$$D_n''' = \frac{3 \cdot 1000 \cdot 20}{654 - 120} = 112,36 \text{ кг.}$$

Суммарный расход пара для обработки суточного объема водоотведения составит:

$$\sum D_n''' = (D_n' + D_n'') \cdot \tau + D_n''' \cdot \tau_p, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время выхода установки на режим,

$\tau_p$  – время обеззараживания суточного объема водоотведения.

$$\sum D_n''' = (310,3 + 224,72) \cdot 0,5 + 112,36 \cdot 8 = 1166,39 \text{ кг.}$$

Среднесуточный расход пара составит: 1166,39 кг.

Среднечасовая потребность пара:

$$1166,39 \text{ кг.} / 8 \text{ ч.} = 145,8 \text{ кг.}$$

Среднечасовая потребность пара для емкости объемом 3 м<sup>3</sup>:

$$145,8 \text{ кг.} / 3 \text{ м}^3 = 48,6 \text{ кг/м}^3$$

Сравнение технико-экономических показателей действующей установки обеззараживания сточных вод ОСВ – 2,5 и предлагаемой станции АСТINI ULTIMATE – 1000 представлено в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительная характеристика установок по обеззараживанию

Показатель	ОСВ-2,5	АСТINI ULTIMATE-1000
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	1	1
Суточная производительность, л	8000	16000
Энергия	пар	пар
Обеззараживание, %	100	100
Давление пара, bar	3-4	8
Вместимость емкости, м <sup>3</sup>	3	5
Размеры установки, мм	3700×1650×1800	1650×1050×2164
Вес, кг	800	900
Температура обеззараживания, °С	110-120	135
Время выдержки нагретых стоков	7-10 мин.	60 сек
Расход пара в час, кг/ч	145,8	150,0
Расход пара на 1 м <sup>3</sup> , кг/м <sup>3</sup>	40-60	30
Температура сточных вод на выходе, °С	45-50	20-40
Удельный расход электроэнергии, кВтч/м <sup>3</sup>	1,5-2,0	1
Установленная мощность, кВт	7,0	5,0
Количество воды для охлаждения, м <sup>3</sup>	0,2	-

Для определения экономической эффективности станции АСТINIULTIMATE – 1000 рассчитаем стоимость электроэнергии, затрачиваемой на рекомендуемое максимальное время работы в год и сравним этот показатель с затратами на электроэнергию действующей установки по обеззараживанию сточных вод (ОСВ – 2,5).

Время работы установки за год (эффективный фонд машинного времени):

$$F_3 = T \times N, \quad (6)$$

где T – рекомендуемое время работы в сутки, (ч),

N – количество дней в году

Для АСТINIULTIMATE – 1000:

$$F_3 = 16 \text{ ч.} \times 365 \text{ дн.} = 5840 \text{ ч.}$$

Для ОСВ – 2,5:

$$F_3 = 8,22 \text{ ч.} \times 365 \text{ дн.} = 3000 \text{ ч.}$$

Годовые расходы на электроэнергию:

$$P_{\text{ээ}} = M_y \times F_3 \times C_{\text{ээ}} / \text{КПД}, \quad (7)$$

где M<sub>y</sub> – установленная мощность оборудования, (кВт),

F<sub>3</sub> – эффективный фонд машинного времени, (ч);

C<sub>ээ</sub> – стоимость электроэнергии, (руб./кВт);

КПД – коэффициент полезного действия;

Для станции АСТINIULTIMATE – 1000:

$$P_{\text{ээ}} = 5 \times 5840 \times 8,10 / 0,67 = 353014,93 \text{ р.}$$

Для установки ОСВ – 2,5:

$$P_{\text{ээ}} = 7 \times 3000 \times 8,10 / 0,34 = 500294,12 \text{ р.}$$

Химические и микробиологические показатели сточных вод после процесса обеззараживания на действующей и предлагаемой установках идентичны. Выдержка нагретых стоков при определенной температуре гарантирует 100 % санитарную надежность технологии как при использовании ОСВ – 2,5, так и при применении новой станции АСТINI ULTIMATE – 1000.

Вместе с тем, замена оборудования по обеззараживанию сточных вод позволит сократить площади производственных помещений, занятых используемой установкой ОСВ – 2,5. Температура сточных вод при сливе в канализационную сеть будет составлять от 20 до 40 °С, что соответствует требованиям к сточным водам, установленным для АО «ГЕНЕРИУМ» договором водоотведения, и, соответственно, позволит избежать штрафных санкций со стороны ООО «Технопарк Вольгинский».

Внедрение установки АСТINI ULTIMATE – 1000 сократит расходы на электроэнергию в 1,4 раза, сэкономит до 80 % тепловой энергии за счет использования секции рекуперации. Удельный расход пара на 1 м<sup>3</sup> сократится почти в 2 раза. Время выдержки снизится в 10 раз.

Весь процесс обеззараживания сточных вод с использованием установки АСТINI ULTIMATE – 1000 осуществляется в герметичных условиях. Воздух, вытесняемый из системы в период ее заполнения, перед выпуском в атмосферу, очищается через специальные фильтры тонкой очистки. В связи с этим, загрязнение окружающей среды не происходит.

Основываясь на имеющихся химических и микробиологических показателях сточных вод, а также учитывая технико-экономические характеристики рассматриваемых установок, в том числе заявленных

производителями и полученных расчетным путем в ходе выполнения данной работы, можно сделать вывод, что установка АСТІNІ ULTIMATE – 1000 является для предприятия наиболее подходящим вариантом для замены действующей установки по обеззараживанию сточных вод ОСВ – 2,5.

Таким образом, проведенный анализ действующей на предприятии установки по обеззараживанию сточных вод ОСВ – 2,5 показал, что в настоящее время, в условиях возросшего объема производства и соответственно потока сточных вод, а также значительного увеличения тарифов на энергоресурсы и обеспечения необходимых показателей стоков на выходе, данное оборудование не удовлетворяет всем требованиям предприятия. В связи с этим возникла необходимость проведения модернизации.

Новая установка, предложенная в работе, позволяет увеличить суточную производительность по обеззараживанию стоков, снизить расходы и обеспечить качество сточных вод на выходе. Станция АСТІNІ ULTIMATE – 1000 в ходе работы не наносит вреда окружающей среде и человеку, и может применяться для обеззараживания сточных вод в промышленном производстве.

## Заключение

В работе изучены сточные воды АО «ГЕНЕРИУМ» с целью установления компонентов (микроорганизмов), которые могут попасть в стоки в результате осуществления предприятием научно – исследовательской деятельности в области биотехнологий, а также при изготовлении лекарственных средств различных фармакологических групп, в том числе активных фармацевтических субстанций, иммунобиологических препаратов, вакцин. Слив сточных вод в канализацию, с содержанием в них болезнетворных микроорганизмов, не соответствует действующим санитарно–гигиеническим требованиям, предъявляемым законодательством Российской Федерации к сточным водам.

При личном участии автора были проведены лабораторные исследования процессов воздействия термической инактивации на микроорганизмы и дана оценка эффективности термического метода обеззараживания, выбранного биофармацевтическим предприятием.

Проведенный анализ работы действующей технологической схемы с использованием на предприятии установки по обеззараживанию сточных вод ОСВ – 2,5 позволяет сделать вывод о необходимости проведения оптимизации действующего оборудования для обеспечения обработки возросших объемов сточных вод, сокращения расходов на энергоресурсы и обслуживание системы, а также минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Выявлены отрицательные моменты в работе и экономическая неэффективность установки ОСВ – 2,5, не позволяющие продолжить ее дальнейшую эксплуатацию на предприятии, а именно:

- высокая температура сточных вод на выходе;
- большие размеры установки;
- длительное время выдержки;

- высокий расход пара на 1 м<sup>3</sup>;
- большой удельный расход электроэнергии;
- требуется вода для охлаждения;
- невозможность обеспечения обработки всего объема сточных вод, образующихся на предприятии.

Определена возможность оптимизации оборудования для обеззараживания сточных вод АО «ГЕНЕРИУМ», которая позволит увеличить объем обрабатываемых стоков, снизить удельные эксплуатационные расходы (в том числе на энергоресурсы), обеспечить соответствие температуры стоков на выходе действующим нормативным показателям.

Кроме того, предложенная установка по обеззараживанию сточных вод занимает незначительную площадь, что очень важно в связи с дефицитом свободной площади на территории предприятия.

Таким образом, цели и задачи, поставленные в работе, выполнены. А именно: для совершенствования системы обеззараживания сточных вод предложена установка, позволяющая увеличить объемы обрабатываемых стоков и одновременно сократить удельные затраты на энергоресурсы и обслуживание оборудования при минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

## Список используемой литературы

1. Тангиев Б.Б. Экологическая безопасность водных ресурсов / Б.Б. Тангиев // Гражданин и право. - 2016. - № 7. - С. 76-81.
2. Пашацкий Н.В. Гидроэкология: проблемы малых водоемов, загрязняемых отходами промышленного производства / Н.В. Пашацкий // Инженерная экология. - 2017. - № 6. - С. 39-45.
3. Балпанова Д.Т. Очистка сточных вод предприятий фармацевтической отрасли / Д.Т. Балпанова, Т. Байзолданов, А.С. Кожамарова // Вестник КазНМУ. – 2013. - № 5(3). – С. 24-27.
4. Ильяшенко Н.Г. Микроорганизмы и окружающая среда / Г.Г. Ильяшенко, Л.Н. Шабурова. – М. : Инфра – М, 2018. – 195 с.
5. Леонова, И.Б. Основы микробиологии: учебное пособие / И.Б. Леонова. – М.: Юрайт, 2017. – 298 с.
6. Алексеев Е.В. Системы очистки сточных вод промышленных предприятий / Е.В. Алексеев. – М.: АСВ, 2019. –260 с.
7. Временные рекомендации по очистке и обеззараживанию сточных вод инфекционных больниц и отделений [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=46613#004198737629958904> (дата обращения: 16.03.2020).
8. Данилович Д.А. Сравнительная оценка методов обеззараживания сточных вод / Д.А. Данилович, М.Н. Козлов, И.Н. Богарова // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2002. - № 1. - С. 41-48.
9. Финов В.П. Эффективность физико - химических методов очистки сточных вод / В.П. Финнов. - М. : Мир, 2010. - 190 с.
10. Маннанова Г.В. Методы очистки промышленных сточных вод / Г.В. Маннанова. – М. : Машиностроение, 2017. - 742с.

11. Василенко Л.В. Методы очистки промышленных сточных вод: учебное пособие / Л.В. Василенко, А.Ф. Никифоров, Т.В. Лобухина. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. университет, 2009. - 174 с.
12. Хенце, М. Очистка сточных вод: пер. с англ. / М. Хенце, П. Армоэс, Й. ЛяКур-Янсен, Э. Арван. - М. : Мир, 2006. - 480 с.
13. Карманов А.П. Технология очистки сточных вод / А.П. Карманов, И.Н. Полина. – М. : Инфра - Инженерия, 2018. - 212 с.
14. Технология очистки сточных вод / А.Б. Ярошевский, С.М. Романова, А.М. Мадякина, И.Г. Шайхиев. Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. - 72 с.
15. Рудник, М.И. Технологии и оборудование для глубокой доочистки сточных вод / М.И. Рудник, О.В. Кичигин, В.Г. Рудько // Экология производства. - 2006. - № 9. - С. 43-45.
16. Федоров, Ю.И. Общие принципы термической инактивации микроорганизмов / Ю.И. Федоров, П.Ю. Бурцев, В.Л. Пигулевская // Дезинфекционное дело. - 2005. - № 2. – С. 75 – 77.
17. Чубенко, Г.И. Наиболее распространенные методы окраски бактерий / Г.И. Чубенко. – Благовещенск: Кафедра микробиологии, вирусологии ФГБОУ ВО АГМА, 2017. – 19 с.
18. Леонова И.Б. Лабораторный практикум по дисциплине «Основы микробиологии» / И.Б. Леонова. - М. : ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 2012. – 87 с.
19. Егоров Н. С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии: учебное пособие / Н.С. Егоров. - М. : МГУ, 1995. - 224 с.
20. Луканин А.В. Инженерная экология. Процессы и аппараты очистки сточных вод и переработки осадков: учебное пособие / А.В. Луканин. – М. : Инфра – М, 2017. - 605 с.
21. Игнаткина В.А. Процессы и аппараты очистки сточных вод / В.А. Игнаткина. - М. : МИСиС, 2009. - 222 с.

22. Технологическое оборудование фирмы АСТINI [электронный ресурс]. – URL: <https://www.actini.com/ru/product/ultimate-ru/> (дата обращения: 15.02.2020).

23. Stasinakis A.S. Use of selected advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater treatment - A mini review / A.S. Stasinkis // Global NEST Journal. - 2008. – Vol. 10, № 3. P. 376-385.

24. Shkop A. Investigation of the treatment efficiency of fine-dispersed slime of a water rotation cycle of a metallurgical enterprise / A. Shkop, O. Briankin, O. Shestopalov // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 5, № 3. P. 22-29.

25. Smith D. Wastewater treatment system and method / D. Smith, M. Howdeshel // Mol Cell Toxicol 8: 209–216.

26. Chaturvedi V. Microbial fuel cell: a green approach for the utilization of waste for the generation of bioelectricity / V. Chaturvedi, P. Verma // Bioresources and Bioprocessing. - 2016. - № 38. - P. 1-14.

27. Wanner J. Microbial population dynamics in biological waste water treatment plants / J. Wanner // In: Microbial Community analysis / Eds.: T.E. Cloete and N.O. Muyima. - 1997. - № 4. - P. 35-59.