

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 Увеличение стойкости к коррозии деталей и узлов биогазовых установок
при помощи покрытия с антикоррозионными свойствами

Обучающийся

Д.С. Пяэсуkene

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, профессор В.С. Гончаров

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнил: Пяэсукене Д.С.

Тема работы: Увеличение стойкости к коррозии деталей и узлов биогазовых установок при помощи покрытия с антикоррозионными свойствами.

Научный руководитель: Гончаров В.С.

Цель бакалаврской работы – Увеличение коррозионной устойчивости биогазовых установок при помощи покрытия с антикоррозионными свойствами.

Пояснительная записка работы состоит из введения, двух разделов, заключения, списка использованных источников.

Данная выпускная квалификационная работа имеет 66 страниц, а также содержит графический материал, включающий 16 рисунков и 18 таблиц. В процессе исследования было изучено 30 источников, связанных с метантенком, бескислородным брожением, коррозией и антикоррозионными покрытиями. Выявлена актуальность данной темы.

В состав графической части входит технологическая схема биоэнергетической установки, предназначенной для обработки отходов фермы КРС, а также схема горизонтального метантенка.

Содержание

Введение.....	4
1 Литературный обзор	6
1.1 Материалы для биореактора	6
1.2 Схема установки.....	6
1.3 Горизонтальный метантенк.....	8
1.4 Коррозионная активность сырья в отношении внутренней поверхности метантенка и трубопровода	10
1.5 Коррозионная активность окружающей среды в отношении внешней поверхности метантенка и трубопровода.....	15
2 Предлагаемые решения для продления срока эксплуатации оборудования, используемого в процессе бескислородного брожения при помощи антикоррозионного покрытия.....	21
2.1 Методы увеличения стойкости к коррозии аппаратов.....	21
2.2 Обоснование использования покрытия на основе расчетов.....	25
2.3 Патентный поиск.....	30
2.4 Покрытие внутренней поверхности метантенка.....	33
2.5 Антикоррозийное покрытие внешней поверхности метантенка	41
2.6 Экономическая целесообразность использования покрытия.....	48
Заключение	62
Список используемых источников.....	63

Введение

Глобальный интерес к развитию биогазовых технологий обусловлен возможностью получения аналога природного газа при использовании технологии бескислородного брожения.

«Немаловажным аспектом, говорящим в поддержку развития биогазовых технологий, является то, что с их помощью решается еще одна глобальная проблема человечества – накопление огромного количества отходов. Согласно статистическим данным, количество производимых отходов на территории РФ постоянно увеличивается, за последнее десятилетие в отдельных федеральных округах этот прирост составил до 130%» [1]. Количество отходов растет и это сопровождается увеличением числа свалок. Большая часть отходов на полигонах является полезным энергетическим ресурсом.

Биогазовые технологии открывают возможности получения полезного энергетического ресурса и сокращения количества свалок под отходы, что в свою очередь влияет на экологическую ситуацию в целом.

Капитальные и эксплуатационные затраты являются основными проблемами применения биогазовых технологий. Коррозионная активность перерабатываемого сырья со временем разрушает материалы, части и узлы резервуаров метанореакторов при воздействии свиного навоза и навоза КРС, помёта птицы и прочих отходов органического происхождения.

Для улучшения устойчивости к коррозии установок можно применять антикоррозионные покрытия с уникальными свойствами, которые сдерживают влияние отдельных составляющих обрабатываемого субстрата и выдерживают воздействие высоких температур.

Целью данной работы является поиск наилучшего решения для предотвращения коррозии отдельных элементов оборудования бескислородного брожения.

Для достижения поставленной цели нужно:

- рассмотреть опыт организации процессов бескислородного брожения и возникающих проблем при эксплуатации;
- выявить целесообразность применения покрытий для предотвращения коррозии и увеличения срока службы трубопровода;
- выяснить актуальность и целесообразность применения покрытий с антикоррозионными свойствами.

Предмет исследования – защита от коррозии материалов при бескислородном брожении органического сырья.

Объект исследования – антикоррозионные покрытия, защищающие поверхность резервуаров и оборудования в агрессивной обрабатываемой среде.

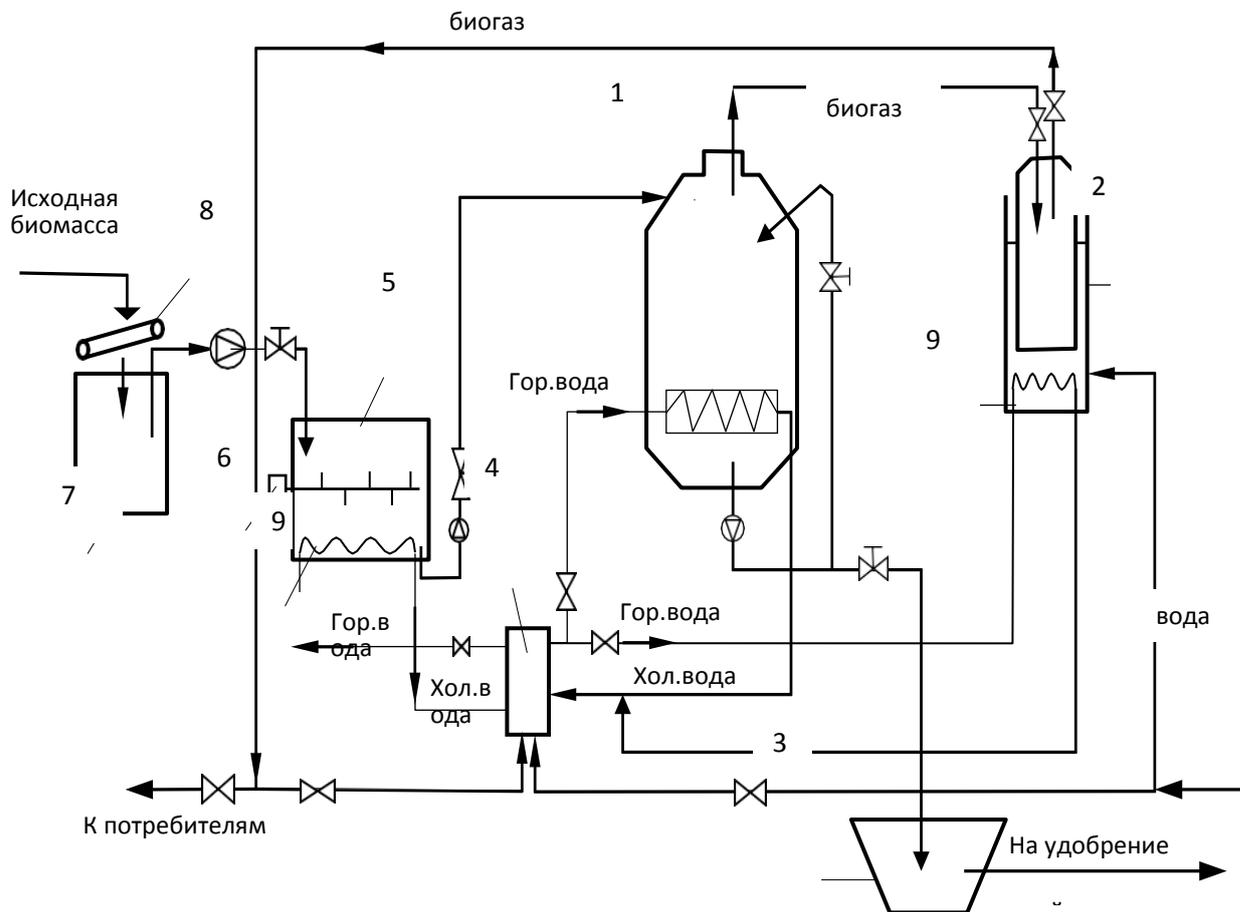
1 Литературный обзор

1.1 Материалы для биореактора.

Биогаз, получаемый из органических отходов, может быть использован как ценный источник энергии и удобрения. Разнообразные материалы могут служить сырьем для его производства, такие как бытовые и коммерческие отходы, отходы рыбных и забойных производств, навоз, трава, птичий помет, отходы производства соков, молока, крахмала и биодизеля, а также селективные культуры, включая силосную кукурузу. Объемы производимого биогаза зависят от типа используемого сырья, его количества сухого вещества, температуры и давления. Однако, повышение температуры и влажности газа может привести к снижению его калорийности из-за растяжения и уменьшения объема. Чтобы сравнить выходы газа, необходимо учитывать атмосферное давление 1 бар, относительную влажность газа 0 % и температуру 0 °С. Навоз КРС является отличным источником биомассы для производства биогаза. Из одной тонны навоза КРС можно получить до 50 м³ биогаза, содержащего около 60% метана. Некоторые виды растительности могут дать выход от 150 до 500 м³ биогаза с содержанием метана на уровне около 70%. Однако, максимальный выход биогаза (до 1300 м³) достигается при брожении жиров и содержит около 88% метана.

1.2 Схема установки

Для иллюстрации работы мы рассмотрим разработанную Всероссийским НИИ схему брожения навоза крупного рогатого скота в метантенке, находящуюся в Московской области (рисунок 2).



1 – метантенк; 2 – газгольдер; 3 – хранилище сброженной массы; 4 – водонагреватель; 5 – бак нагрева сбраживаемой биомассы; 6 – мешалка; 7 – хранитель исходной биомассы; 8 – отделитель включений; 9 – теплообменник

Рисунок 2 – Схема метантенка в процессе брожения навоза КРС

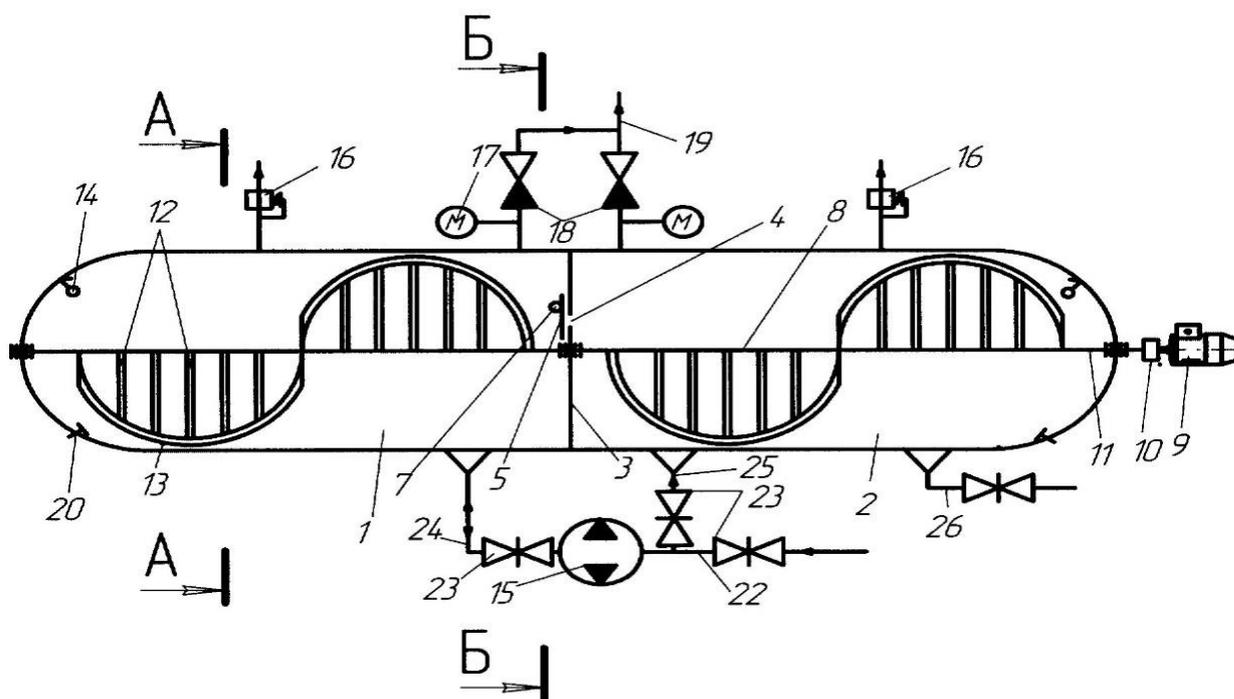
«Технологическая схема биоэнергетической установки включает несколько элементов, которые обеспечивают эффективную работу системы. В начале процесса, биомасса из фермы проходит через специальный отделитель 8, где отделяются посторонние элементы. Затем исходная биомасса переходит в резервуар для предварительного нагрева 5, после чего она подается в верхнюю часть метантенка 1 для процесса сбраживания. Для ускорения процесса брожения, биомасса периодически перемешивается специальными механическими мешалками. После брожения, навоз выгружается из аппарата и хранится в хранилище биомассы 3.

Для защиты метанобразующих бактерий от отрицательного воздействия холодной биомассы, в установке предусмотрена система предварительного подогрева. Этот процесс осуществляется с помощью теплообменника, который находится внутри установки, и электроподогревателя 4. Контроль за подачей воды осуществляется через специальный датчик температуры.

Биогаз, который образуется после брожения, удаляется в мокрый газгольдер 2 при помощи системы трубопровода и гидрозатвора. Полученный продукт отправляется к потребителю по мере необходимости» [8].

1.3 Горизонтальный метантенк

В процессе патентного поиска были выявлены самые оптимальные и удобные модели, которые можно использовать для дальнейших исследований и работ по улучшению эффективности работы данных реакторов. Для этого предполагается применять антикоррозионные покрытия, которые помогут продлить и улучшить работу системы. В качестве одного из возможных вариантов можно рассмотреть горизонтальный метантенк для биогазовых установок, описанный в патенте RU 2 281 254 С и продемонстрированный на рисунке 3.



1 – первая камера брожения, 2 – вторая камера брожения, 3 - перегородка, 4 – окно, 5 – задвижка закрытия-открытия окна, 6 – штурвал задвижки, 7 – реечный механизм, 8 – реверсивная мешалка, 9 – мотор-редуктор, 10 – предохранительная муфта, 11 – вал мешалки, 12 – спицы-лопатки, 13 – шнековая полоса, 14 – датчики заполненности камер, 15 – насос сырьевой подачи, 16 – клапаны предохранительные, 17 – манометр, 18 – обратные клапаны, 19 – магистраль отвода газа, 20 – датчик нижнего уровня массы, 21 – обогреватель, 22 – заправочная магистраль, 23 – задвижка, 24 – магистраль соединения насоса с первой камерой, 25 – магистраль соединения насоса со второй камерой, 26 – магистраль выгрузки сброженной массы.

Рисунок 3 – Схема метантенка горизонтальной формы

Инновационный горизонтальный реактор, который разделен на две камеры для брожения органических отходов центральной неподвижной перегородкой, является объектом данного изобретения. Реактор оснащен масляным обогревателем и реверсивным насосом, а также имеет уникальную функцию перемещения материала между камерами без дополнительных затрат энергии благодаря окну в перегородке. Реверсивная мешалка состоит из спиц-лопаток и винтовой шнековой полосы, которые позволяют достичь оптимального перемешивания и самоочищения мешалки.

Для эффективной работы данного реактора необходимо придерживаться определенной последовательности операций. Сначала исходное сырье идет в камеру 1 и проходит первую часть цикла сбраживания, при этом окно 4 остается закрытым. После этого масса проходит через 4 окно из первой камеры во вторую камеру для завершения сбраживания второго цикла. Когда материал в первой и второй камере станет одинаковым, задвижка 5 закрывает окно 4 и остаток массы перекачивается насосом 15 из первой и второй камеры. Этот процесс обеспечивает непрерывный бескислородный процесс брожения сырья.

Однако, необходимо учитывать, что данный реактор может подвергаться различным видам коррозии. Это механическое воздействие твердых включений, агрессивное воздействие сбраживаемой массы, газовая коррозия, усугубление газовой коррозии при нагревании сбраживаемой массы и внешнее агрессивное воздействие окружающей среды. Поэтому, для эксплуатации данного реактора необходимо учитывать все перечисленные факторы.

1.4 Коррозионная активность сырья в отношении внутренней поверхности метантенка и трубопровода

В процессе работы реактора-метантенка и его оборудования, они находятся в непрерывном контакте с агрессивными средами. Для обработки сырья крайне важно поддерживать определенный уровень pH, который в определенных условиях может снизиться до 4. После этого следует этап нейтрализации, который достигается через использование щелочных реагентов.

«Отсутствие кислорода может снизить коррозионную агрессивность среды, однако при низкой пористости внутренней поверхности реактора образуется защитная оксидная пленка, которая замедляет процесс коррозии» [9].

Для продления срока службы метантенка и повышения его износостойкости следует учитывать материал изготовления, разницу в температуре между внутренней и внешней средой, а также агрессивность природных условий, при которых будет эксплуатироваться оборудование. Чтобы решить эту проблему, можно использовать устройство теплоизоляции резервуара, которое направлено на создание наилучшего теплового баланса в работе оборудования и снижение негативного воздействия агрессивной внешней среды. Применение современных полимерных материалов и металлической обрешетки, которая не контактирует с агрессивной внутренней средой, способствует увеличению износостойкости и ресурса работы метантенка.

Сравнение степени агрессивности сточных вод по стадиям биологической очистки приведено в таблице 1 [10].

Таблица 1 – Стадия биологической очистки с разными уровнями агрессивности сточных вод.

Сооружение	Оценка агрессивности по СНиП 2.03.11-85		Агрессивность с точки зрения микробиологии					Агрессивность
	Показатель, мг/л		Агрессивность	рН среды	Содержание в мг/л			
	SO ₄ ⁻² менее	HSO ₃			Свободный CO ₂ , не более	NH ₄ не более	биомасса	
Песколовка	1000	450-500	Слабая	8-8,5	5	50	100	Нет
Отстойник	1000	450-500	Слабая	7,5-8,5	30	40	500	Нет
Аэротенк	900	450-500	Слабая	7-7,5	30	40	2000	Слабая
Метантенк	100	1500-2000	Нет	6,7-7,3	850	250	До 3000	Средняя

Эта информация объясняет, что степень агрессивности органического материала в процессе бескислородного брожения в метантенке полностью зависит от микробиологических факторов. Когда отдельные соединения восстанавливаются в условиях отсутствия кислорода, высвобождается кислород, который стимулирует коррозионные процессы как катодный деполяризатор. Кроме того, в процессе получения биогаза повышается коррозионная активность. В случае водородной коррозии стали молекулы водорода разделяются на атомы и проникают в кристаллическую решетку стали, что приводит к потере ее прочности. Напротив, молекулы метана не могут свободно распространяться из-за своей большой размерности, но скапливаются в микрополостях и начинающихся трещинах, вызывая дальнейшее разрушение и высокое внутриполостное давление. В мягких сталях скопления метана образуются главным образом в верхнем слое, что вызывает вздутия и «закипания». На рисунке 4 показаны наглядные примеры газовой коррозии стали.



Рисунок 4 – Газовая коррозия стали

«Проблема антикоррозионной защиты метанореакторов является актуальной не только для небольших и средних установок, но также для крупных промышленных комплексов, где объем реакторов превышает 1000 м³. В России затраты на создание стальных резервуаров с антикоррозионным покрытием могут быть высокими из-за дорогостоящего материала и долгого периода окупаемости проекта. В данном случае железобетонные конструкции могут быть более экономически выгодным вариантом, так как они соответствуют климатическим условиям страны, обеспечивают требуемый уровень безопасности и могут быть защищены от коррозии при помощи комплексного подхода. Для примера, в Тольятти на Куйбышевском заводе СК используется 4 железобетонных метанореактора общей полезной емкостью 8600 м³» [11].

Для предотвращения коррозии стальных метанореакторов ранее применялись различные методы защиты, включая покрытия из металлизации или лакокрасочные материалы. Однако, при постоянной эксплуатации эффективность этих методов не всегда подтверждается. Они могут быть легко повреждены механическими воздействиями, что уменьшает их защитные свойства.

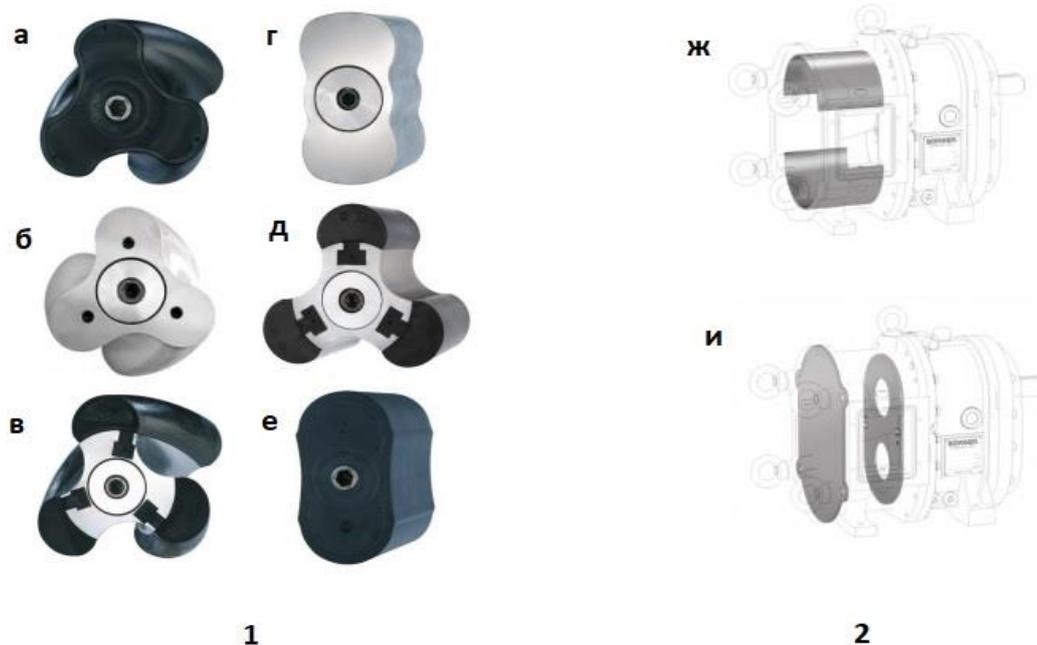
Для защиты железобетонных метанореакторов используется комплексный подход к противокоррозионной защите, который включает методы первичной и вторичной защиты. Первичная защита достигается использованием бетонных смесей и добавок, которые обеспечивают высокую устойчивость к воздействиям атмосферы и проницаемость материала ухудшается. Учитываются требования, направленные на обеспечение первичной защиты при проектировании и строительстве. Вторичная защита может включать в себя применение различных защитных материалов, таких как биоцидные и уплотняющие пропитки, полимерные покрытия и другие методы, которые обеспечивают дополнительную защиту от повреждений и коррозии и увеличивают срок службы метанореакторов.

Следовательно, защита метанреакторов от коррозии является сложной задачей, которая требует комплексного подхода и использования различных методов защиты. При правильном применении этих методов можно продлить срок службы реакторов и обеспечить безопасность процесса.

Коррозионный износ оборудования, особенно насосов перекачки сбраживаемого сырья и других элементов, является одной из самых критических проблем в биогазовых технологиях. Высокий износ подвижных частей, таких как роторы, корпуса насосов, а также образование продуктов коррозии на внутренних и внешних поверхностях, могут стать препятствием на пути к эффективности процесса.

Существуют различные способы защиты насосов от коррозии, которые могут быть применены для решения данной проблемы. Для этого можно использовать кожухи защиты корпуса насоса и полимерные роторы со сменными наконечниками. Предотвращение контакта агрессивной среды с основными частями насоса также является важной задачей.

Например, у немецкой компании Borger реализованы различные варианты исполнения роторов и защитных кожухов, показанного на рисунке 5.



1 – виды роторов: а – трехлопастный ротор с прямым спиральным изгибом, б – трехлопастной ротор из хастеллоя с прямым спиральным изгибом, в – трехлопастной ротор из хастеллоя со сменными полимерными наконечниками с прямым спиральным изгибом, г – двулопастной ротор из хастеллоя, д – трехлопастной ротор из хастеллоя со сменными наконечниками полимерными, е – двулопастной ротор; 2 – сменная защита корпуса: ж – радиальные защитные пластины, и – аксиальные защитные пластины

Рисунок 5 – Коррозионная защита оборудования Vöbger

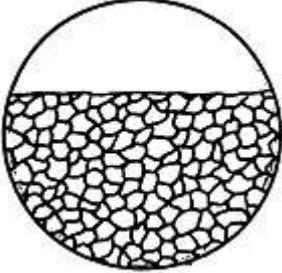
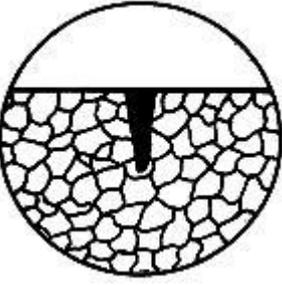
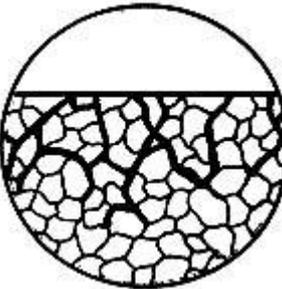
1.5 Коррозионная активность окружающей среды в отношении внешней поверхности метантенка и трубопровода

Разрушение труб, высокий износ и покрытие поверхности коррозией при воздействии окружающей среды являются наиболее актуальными проблемами.

Коррозионное воздействие на внешнюю поверхность реакторов и трубопровода является существенной проблемой производства биогаза путем бескислородного брожения. Выявлена целесообразность дальнейшего исследования.

Различные виды коррозии материалов показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Виды коррозии

Описание признаков	Вид коррозии
<p>«Равномерно покрывает поверхность материала, постепенно проникая в его толщу. Если ржавчину этого типа зачистить до чистого металла, его поверхность будет шероховатой, но трещин, точек коррозии и язв на нем не будет. Наблюдается это явление чаще всего под гайками, головками болтов, в зазорах и узких щелях, местах скопления влаги и пыли. Сплошная коррозия поражает сталь, алюминий, а также защитные покрытия (цинковые и алюминиевые) под воздействием сред высокой агрессивности» [14].</p>	 <p data-bbox="1018 577 1332 616">Рисунок 6 – Сплошная</p>
<p>«Она может проявляться в виде пятен, точек и язв. Первому варианту свойственно неглубокое проникновение в тело металла. Язвенное повреждение материала может спровоцировать возникновение охрупчивания и усталости металла — трещин. Питтинговая (точечная) коррозия характерна для нержавеющей стали и алюминиевых сплавов. Источников такого поражения являются хлоридовозбудители. Диаметр точек не превышает 2 мм, но глубина их значительно больше поперечного размера питтинга» [14].</p>	 <p data-bbox="1029 985 1321 1019">Рисунок 7 – Местная</p>
<p>«Проявляется наличием множества трещин на обширных площадях конструкций. Локализуется на границах зерен материала, приводя к их выкрашиванию и, как следствие – к образованию язв и поверхностному шелушению» [14].</p>	 <p data-bbox="1024 1444 1327 1512">Рисунок 8 – Межкристаллическая</p>
<p>«Распространяется в плоскостях, параллельных направлению горячей деформации металла – экструзии, прокатки или прессования» [14].</p>	 <p data-bbox="976 1892 1369 1926">Рисунок 9 – Расслаивающая</p>

Атмосферная коррозия является основным фактором, влияющим на конструкции и оборудование, расположенные на нижней части атмосферы. Основными факторами, определяющими скорость коррозии, являются влажность воздуха, свойства металла и характеристики окружающей среды. Коррозию можно разделить на две категории в зависимости от степени увлажненности: сухую, которая протекает по химическому механизму, и мокрую, которая протекает по электрохимическому механизму.

На рисунке 10 можно наблюдать воздействие атмосферной коррозии на металл, что позволяет более подробно изучить процесс и разработать эффективные методы защиты от коррозии. Однако, для элементов производства биогаза путем бескислородного брожения, таких как метантенки, необходима критически важная защита от коррозии для обеспечения безопасности и эффективности процесса.



Рисунок 10 – Атмосферная коррозия металла

Основным фактором, влияющим на скорость коррозии, вызываемой почвой, является уровень влажности грунта, в котором расположено оборудование. Высокая влажность способствует электрохимической коррозии металла, что может привести к серьезным последствиям для окружающей среды и значительным материальным убыткам.

Защита от почвенной коррозии является критически важной для обеспечения безопасности и надежности трубопроводов и других элементов производства биогаза, получаемого методом бескислородного брожения. Разработка новых методов и технологий, способных предотвратить коррозию металла, вызываемую почвой, должна стать приоритетным направлением в данной области.



Рисунок 11 – Почвенная коррозия труб

«Биокоррозия (биологическая коррозия) - тип коррозионного разрушения в условиях воздействия микроорганизмов. Продукты жизнедеятельности различных микроорганизмов, которые присутствуют в воде, грунте, интенсифицируют процесс коррозии. В результате протекания биокоррозии на поверхности металла появляются небольшие углубления (блестящие либо шероховатые), раковины, неровности, которые могут быть заполнены продуктами коррозии. Биокоррозия в большинстве случаев носит язвенный либо питтинговый характер. Чаще всего биокоррозия является локальным разрушением» [15].

«Чаще всего протекает бактериальная биокоррозия. Она же и наиболее разрушительна. Данный вид встречается в воде, почве, топливе при наличии бактерий. Бактерии очень быстро размножаются и легко приспосабливаются к всевозможным условиям окружающей среды. Бактериальная биокоррозия может протекать при рН среды от 1 до 10,5 и температуре (чаще всего) 6 – 40 °С при наличии различных органических и неорганических веществ, содержащих кислород, углерод, водород, железо, азот, калий, серу и т.д» [15].

Из долгого опыта исследования газового оборудования стало известно, что металлические конструкции, изготовленные из низколегированных сталей, часто подвергаются слоисто-водородным повреждениям при эксплуатации в условиях агрессивной среды, высокой температуры, высокого содержания водорода и сероводорода и т.д.

«На рисунке 12 приведена гистограмма распределения повреждений по маркам сталей относительно общего количества исследованных случаев. На качественном уровне рисунок хорошо отражает реальное состояние оборудования. Так, наибольшую склонность к низкотемпературному слоистому водородному расслоению проявляют металлоконструкции, изготовленные из сталей марок 16ГС и 09Г2С, в отличие от аппаратов, изготовленных из сталей марок сталь 20, сталь СтЗсп» [16].

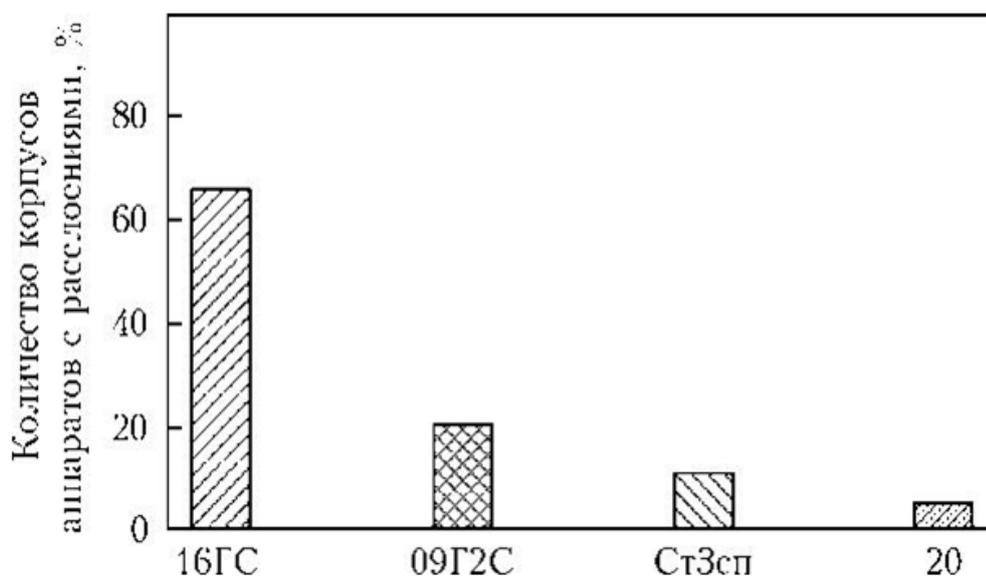


Рисунок 12 – Количество корпусов аппаратов с расслоениями

«На практике выявлено значительное количество случаев, когда изготовленное оборудование из сталей марок 09Г2С и 16ГС, без уточнения требований к их категориям, подвергалось отбраковке уже через 2-4 года эксплуатации» [16].

Снижение стойкости метантенка и его способности выдерживать нагрузку возникает в результате разрушения поперечного сечения металла под воздействием коррозии. Это приводит к образованию трещин и дефектов на поверхности металла, через которые жидкие органические вещества попадают в почву. Также происходит утечка биогаза через образовавшиеся отверстия в куполе метантенка, что снижает эффективность работы установки. Чтобы предотвратить эти процессы, необходимо обработать внутреннюю и внешнюю поверхность аппарата антикоррозийными покрытиями.

2 Предлагаемые решения для продления срока эксплуатации оборудования, используемого в процессе бескислородного брожения при помощи антикоррозионного покрытия

2.1 Методы увеличения стойкости к коррозии аппаратов

2.1.1 Защитные полимерные покрытия

«Использование полимерных покрытий для защиты стальных реакторов от коррозии стало распространенным. Для повышения эффективности защиты, в состав полимерных лакокрасочных покрытий добавляют ингибиторы коррозии, которые способны защитить металл даже при повреждении покрытия. Происходит это за счет того, что ингибиторы взаимодействуют с энергетически неоднородными участками покрытия, такими как трещины и сколы. Молекулы ингибиторов адсорбируются на металлической поверхности, блокируя анодные зоны и предотвращая выход ионов металла в раствор, а также катодные зоны, нейтрализуя электроны с помощью ионов-деполяризаторов» [17].

«Для предотвращения коррозии в нейтральных средах применяются неорганические ингибиторы, такие как хроматы, фосфаты, молибдаты и вольфраматы. Органические ингибиторы, такие как "ВНХ 5", "М 2", "ТАЛ 2", "СЖК", "ВНХ 101", "ВНХЛ 49" и бензотриазол, являются наиболее эффективными среди них» [17].

Последние исследования показали, что смешение неорганических и органических ингибиторов также является эффективным способом защиты. Например, смесь хромата стронция с органическими ингибиторами "ВНХ 5", "М 2" или "СЖК" может быть использована для достижения максимальной защиты от коррозии.

2.1.2 Газопламенное напыление (ГПН)

В этом методе используется газопламенный факел для того, чтобы нанести защитное покрытие на обрабатываемое изделие. Материал в форме порошка, прутков, проволоки или шнуровых изделий подвергается нагреванию в пламени газового факела, а затем мельчайшие частицы материала доставляются на поверхность изделия потоком дымовых газов.

«Этот метод имеет ряд преимуществ, включая относительную простоту использования оборудования. Однако для его работы необходима непрерывная подача кислорода и горючего газа. Температура материала, проходящего через факел горелки, близка к температуре плавления, что обеспечивает высокую эффективность процесса нанесения покрытий» [18].



Рисунок 13 – Порошковое газопламенное напыление



Рисунок 14 – Проволочное газопламенное напыление

Этот метод покрытия работает таким образом, что нагретые частицы материала соединяются и прилегают к поверхности изделия, обеспечивая равномерное и плотное покрытие. Для создания таких покрытий можно использовать различные материалы, включая оксиды (например, оксид алюминия), металлические сплавы (как алюминий, бронза или хром) и полимерные материалы.

Этот метод имеет ряд преимуществ, таких как высокая производительность, точность нанесения покрытий, минимальное воздействие на поверхность, возможность работы с изделиями разных размеров, широкий выбор материалов для покрытий и подложек, низкий уровень шума и излучений, мобильность и простоту оборудования, а также возможность получения покрытий различной толщины.

Несмотря на множество преимуществ, этот метод также имеет некоторые ограничения. Например, он неэффективно использует тепловую энергию дымовых газов и не подходит для легкоплавких материалов. Тем не менее, данный метод позволяет получать качественное покрытие с высокой адгезией, которое не смешивается с материалом основания.

2.1.3 Гальванические покрытия

Изделия небольшого размера, не требующие использования сложных обработочных комплексов, наиболее подходят для гальванических покрытий, получаемых путем ионного осаждения. Существует несколько методов гальванического осаждения, таких как железнение, кадмирование, никелирование, цинкование, а также электроосаждение сплавов и комбинированных покрытий.

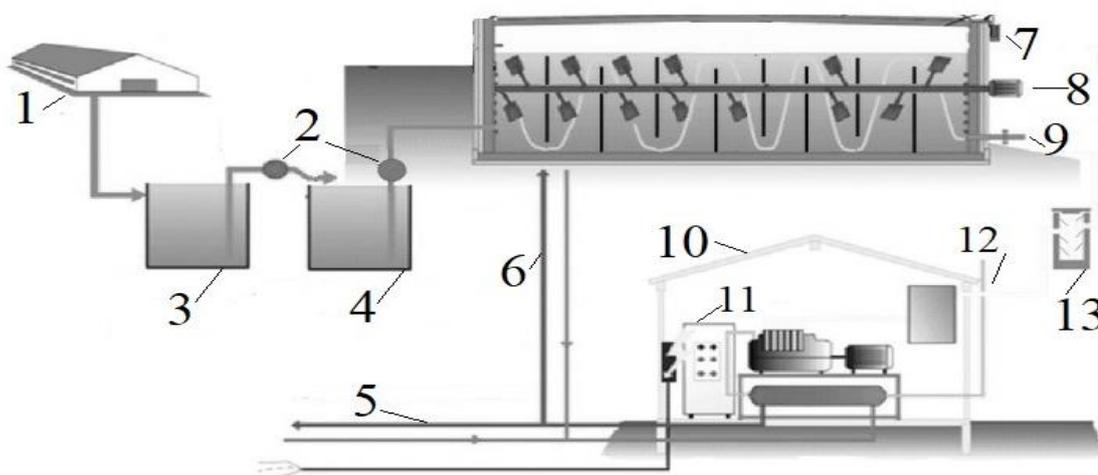
Гальваническое осаждение имеет несколько основных недостатков, включая использование громоздкого оборудования, высокие энергозатраты, а также строгие требования к безопасности и условиям охраны труда. Кроме того, гальванические покрытия могут проявлять недостаточную адгезионную прочность к поверхности материала, что может привести к их отслаиванию и, как следствие, разрушению изделия.

«Увеличение толщины гальванических покрытий приводит к увеличению сложности процесса, что негативно сказывается на экономической эффективности данного метода. Кроме того, гальванические покрытия не обладают достаточной износостойкостью и защитный слой может потерять свои протекторные свойства даже при небольшом механическом воздействии на него» [19].

2.2 Обоснование использования покрытия на основе расчетов

Для определения необходимости применения антикоррозионного покрытия на биогазовой установке требуется проанализировать эксплуатационные характеристики установки и изменение этих характеристик без использования дорогостоящих коррозионностойких сталей для покрытий. Тепловой баланс метантенка является одним из важных показателей работы установки.

Для проведения анализа рассмотрим биогазовую установку с горизонтальным метантенком, изображенную на рисунке 15 [20].



1 – навозная ферма, 2- насосные сооружения, 3 – емкость сбора и гомогенизации сырья, 4 – подогреватель, 5 – тепло для нужд, 6 – подогреватель реактора, 7 –подача газа, 8 – мешалка, 9 – отвод биомассы, 10 – блок генерации, 11 – блок автоматики, 12 – выходные газы, 13 – отводчик.

Рисунок 15 – Установка с метантенком горизонтального типа

Для произведения расчетов теплового баланса был выбран метантенк из высококачественной коррозионностойкой стали марки 06×Н28МДТ (ЭИ943) в соответствии с ГОСТ 5632-72 [21]. Цилиндрическая часть метантенка обладает длиной 6,2 метра и радиусом 1,81 метра.

Внутреннее пространство метантенка содержит рабочий объем реактора, который составляет 70% от всего внутреннего объема. Стенки метантенка имеют толщину 28 миллиметров, и материал обладает коэффициентом теплопроводности в 13 Вт/(м²·°С).

Для переработки был выбран навоз крупного рогатого скота в качестве сырья. Он является одним из наиболее эффективных и экологически чистых материалов для достижения данной цели. Также, его температура термофильного сбраживания составляет 70 °С, что обеспечивает оптимальные условия для работы метантенка.

Для проверки работоспособности метантенка в условиях экстремальных температур был проведен расчет при минус 30 °С, чтобы оценить работу установки в зимний период.

Для поддержания стабильного теплового баланса метантенка необходимо учитывать ряд факторов, которые влияют на эффективность работы реактора. Один из ключевых параметров - энергия, потребляемая для поддержания постоянной температуры внутри метантенка.

Для расчета необходимой энергии используется специальная формула, которая учитывает все основные факторы, включая потери тепла через ограждающие конструкции, испарение жидкости и подогрев новых порций субстрата (1):

$$Q = Q_{ок} + Q_{yz} + Q_{исп} + Q_{дсд} \quad (1)$$

где $Q_{ок}$ – тепловая потеря через ограждающие конструкции, кДж;

Q_{yz} – тепловая потеря с уходящими газами, кДж;

$Q_{исп}$ – тепловая потеря при испарении жидкости, кДж;

$Q_{дсд}$ – количество тепла для нагрева суточной дозы субстрата, кДж

Для расчета тепловых потерь метантенка используется формула учитывающая разность температур окружающей среды и брожения

субстрата, коэффициент теплопередачи и среднюю площадь наружной поверхности реактора.

Не будет лишним отметить, что уменьшение потерь тепла через стенки метантенка можно достичь, используя материалы высокого качества и дополнительную теплоизоляцию. Существует ряд методов, которые позволяют улучшить теплопередачу и достигнуть наивысшей эффективности работы метантенка. Это, в свою очередь, обеспечит возможность получения большего количества биогаза и повысит его качество. (2):

$$Q_{ок} = F \cdot k \cdot (t_{вн} - t_n) \quad (2)$$

где k – коэффициент теплопередачи через стенку реактора, Вт/(м²·°С);

F – средняя площадь наружной поверхности метантенка, составляет 91,1 м²;

$t_{вн}$ – температура брожения субстрата, 70°С;

t_n – расчетная температура окружающей среды, минус 30°С.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n}} \quad (3)$$

где $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи от внутренней среды к внутренней поверхности стенки, принимаем равным 1,3 Вт/(м²·°С);

δ – толщина слоя стенки, 0,028 м;

λ – теплопроводность слоя стенки, 13 Вт/(м·°С);

α_n – коэффициент теплоотдачи от внешней стенки в внешней среде, с учетом скорости ветра принимаем 52,4 Вт/(м²·°С).

Вставим значения в (3):

$$k = \frac{1}{0,769 + 0,0025 + 0,019} = 1,27$$

Вставляем полученное число в формулу (2):

$$Q_{ok} = 90 \cdot 1,27 \cdot (71 - (-28)) = 11316 \text{Вт}$$

Также необходимо учитывать потери тепла через ограждающие конструкции и уходящие газы, которые могут снижать эффективность работы реактора при эксплуатации метантенка. Для точного определения потерь тепла через уходящие газы используется формула, учитывающая множество факторов, включая расход газов, температуру и коэффициент теплоотдачи. При конвертации единиц измерения необходимо быть внимательным для получения точных результатов.

Потери тепла через стенки метантенка составили 991760,01 кДж в сутки, а потери тепла через уходящие газы важны для оптимальной работы реактора. Контроля над потерями тепла можно достичь путем использования дополнительной теплоизоляции и качественных материалов, а также оптимизации процессов работы реактора. Это позволит повысить эффективность работы метантенка и получить больше биогаза (4):

$$Q_{yz} = c_p \cdot m \cdot t \quad (4)$$

где c_p – теплоемкость газа при температуре брожения, кДж/(кг·°С);

m – масса газа, кг;

t – температура брожения, 70°С.

Мы получаем значение теплоемкости газа (c_p) равное 2,125 кДж/(кг·°С), учитывая состав смеси газа на уровне 20% углекислого газа, 76% метана, также 4% примесей. Мы получаем массу газа ежедневно, составляющую 465,595 кг, объеме выхода газа 60 м³ в 1 тонну сырья.

Подставим данные числа в формулу (4):

$$Q_{yz} = 2,125 \cdot 465,595 \cdot 71 = 70246,64 \text{ кДж}$$

Для расчета тепловых потерь есть формула (5):

$$Q_{исп} = 2500 \cdot q_{ж}, \quad (5)$$

где 2500 – скрытая теплота парообразования, кДж/кг;

$q_{ж}$ – количество испарившейся жидкости.

Исходя из того, что на каждый 1 м³ выделившегося газа испаряется 1,08 воды, при условии, что сырье брожения на 90% состоит из воды, имеем:

$$Q_{исп} = 2500 \cdot 534,6 = 1336500 \text{ кДж}$$

Рассчитаем теплоту догрева, подаваемого на очистку сырья (6):

$$Q_{дсд} = m_{сут.загр.} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta t, \quad (6)$$

где $m_{сут.загр.}$ – масса суточной загрузки сырья в метантенк, кг;

c_{H_2O} – теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/кг;

Δt – разность температур исходного и нагретого сырья, °С

Так как бескислородное брожение протекает быстро, возьмем суточную загрузку сырья в метантенк в количестве 7510 кг. Исходная температура сырья зимой равна 5 °С, а Δt будет равна 65 °С. Вставляя полученные величины в формулу, имеем (6):

$$Q_{дсд} = 7510 \cdot 4,2 \cdot 65 = 2050230 \text{ кДж}$$

Вставляем значения в формулу выше:

$$Q = 991760,01 + 70246,64 + 1336500 + 2050230 = 4448736,6 \text{ кДж}$$

Важно поддерживать стабильную температуру внутри реактора за счет энергии. Потери тепла через ограждающие конструкции являются основным фактором, влияющим на эффективность работы метантенка.

Для обеспечения стабильного теплового баланса в горизонтальном метантенке необходимо учитывать множество факторов, включая коэффициент теплопередачи $\alpha_{вн}$ и параметры δ и λ , зависящие от качества материала и его толщины. Коррозия может ухудшить работу реактора, поэтому следует использовать высококачественные материалы и методы теплоизоляции. Толщина стенки также влияет на эффективность работы метантенка, поэтому при проектировании необходимо учитывать оптимальную толщину стенки. Уход биогаза через трещины и проржавевшие дыры также может увеличить потери тепла и снизить количество вырабатываемого полезного биогаза.

2.3 Патентный поиск

Был проведен патентный поиск разработок для реакторов бескислородного брожения. Установлено, что для горизонтальных реакторов основными материалами являются нержавеющая и углеродистая стали. Нержавеющая сталь используется для компактных реакторов, а менее стойкие материалы - для более производительных.

Таблица 3 – Изучение источников, содержащих патентную информацию на тему устройств для бескислородного брожения.

Автор	Дата патента	Суть метода	Эффективность
Маслов М. Дианов Л. В.,	10.08.06	«Предложение об изобретении, которое улучшает процесс анаэробного сбраживания жидкого материала из органических отходов сельскохозяйственного производства, включая навоз. Метантенк для биогазовых установок имеет оригинальную конструкцию, состоящую из горизонтальной цилиндрической емкости, разделенной на две камеры центральной перегородкой. Общая мешалка, электромагнитный обогреватель и реверсивный насос также входят в компоновку устройства. Перегородка с задвижкой обеспечивает переливание жидкого материала без затрат энергии. Реверсивная мешалка выполнена из спиц-лопаток и навивки винтовой шнековой полосы, что позволяет устройству работать более эффективно и самоочищаться» [22].	«Улучшенный технический результат достигается благодаря обеспечению непрерывности производства биогаза, полной сбраживаемости материала, снижению энергоемкости и эксплуатационных затрат, а также уменьшению стоимости изготовления метантенка за счет упрощения его конструкции» [22].

Таблица 4 – Изучение источников патентной информации, касающихся антикоррозионных покрытий.

Автор	Дата патента	Суть метода	Эффективность
Левашов А. С., Мнацаканова Е., Буков Н. Н., Горохов Р. В.,	23.07.08	«Изобретение относится к области получения полимерных покрытий, а именно к получению полимерного покрытия на основе эпоксидной композиции. Полимерная композиция в соответствии с изобретением относится к двухупаковочным композициям. Композиция состоит из компонента А, содержащего эпоксидную диановую смолу, эпоксидную алифатическую смолу и базальтовую чешую с толщиной пластинок 1-2 мкм с размером фракции 0,001-0,02 мм, и компонента Б, содержащего смесь отвердителя -ароматического олигоамида и базальтовой чешуи. Полученное покрытие обеспечивает высокие барьерные свойства, предотвращает контакт агрессивной среды с защищаемой поверхностью. Кроме того, получаемое покрытие обладает высокой стойкостью к истиранию, нетоксично и обладает повышенной жизнеспособностью» [23].	«Заявленное изобретение решает несколько технических задач одновременно: снижение токсичности состава, улучшение его барьерных защитных свойств при нанесении покрытий, повышение абразивной стойкости покрытия, а также уменьшение стоимости за счет использования более дешевого неорганического наполнителя (базальтовой чешуи) в большем процентном содержании, чем связующее (эпоксидная смола). Это позволяет расширить функциональное назначение покрытия и сделать его более доступным для широкого круга потребителей» [23].

Продолжение таблицы 4

<p>А. Б., Ухалин Гедзь А. Д., Коберниченко А. С., Ефремов В. В., Шульчевский Ю. Г.</p>	<p>21.04.03</p>	<p>«Изобретение относится к области металлургии, а именно - к разработке способа газопламенного напыления металлических порошковых материалов. Данный метод может быть использован для создания покрытий на изделиях различных отраслей машино- и приборостроения. Основная идея способа заключается во введении в пламя, образованное при сгорании ацетилена и кислорода, струи, состоящей из транспортирующего газа и напыляемого порошка. Чтобы предотвратить разрушение напыляемого слоя, струю защищают инертным газом, который подают на расстоянии от среза сопла газопламенной горелки по периферии напыляемого потока. При этом угол наклона образующей потока защитного газа к оси струи имеет определенные параметры, что позволяет достичь наилучших результатов при процессе напыления» [24].</p>	<p>«Целью данного изобретения является улучшение прочности сцепления металлических покрытий с основой. Для достижения данного технического результата предлагается модифицированный способ газопламенного напыления порошковых материалов. В процессе этого метода, в пламя, образованное при сгорании ацетилена и кислорода, вводится струя, состоящая из транспортирующего газа и напыляемого порошка, которую защищает инертный газ. Такой подход позволяет увеличить сцепление металлических покрытий с поверхностью основания и повысить их прочность» [24].</p>
--	-----------------	--	---

2.4 Покрытие внутренней поверхности метантенка

В ходе проведения исследования по разработке антикоррозионного покрытия для внутренней поверхности метантенка, стояла важная задача уменьшения износостойкости материала. Тем не менее, помимо этого требовалось также обеспечить безопасность окружающей среды и экологическую нейтральность выбранного покрытия на протяжении всего времени функционирования реактора, включая его взаимодействие с живыми организмами.

Из множества вариантов, рассмотренных при исследовании, наиболее эффективной и перспективной опцией является полимерная композиция барьерного типа (патент 2394058), состоящий из 2 компонентов.

Таблица 5 – Состав композиции (патент 2394058)

Компонент А				
Компоненты	Массовая доля, %			
	1	2	3	4
Алифатическая эпоксидная смола ДЭГ-1	14	12	10	9
Базальтовая чешуя АБЧ-100	41	42	40	38
Эпоксидно-диановая смола ЭД-20	45	46	50	55
Итого, %	100	100	100	100
Компонент Б				
Компоненты	Массовая доля, %			
	1	2	3	
Базальтовая чешуя АБЧ-100	43	40	37	
Этал-45М	57	60	63	
Итого, %	100	100	100	

Таблица 6 – Описание свойств компонентов А и Б полимерной композиции для упаковки с двойным слоем

Показатель	Норма компонента А	Норма компонента Б	Проверка
Внешний вид	Коричневая суспензия вязкая	Коричневая суспензия вязкая	353-105-1207-2002ТУ
Массовая доля летучих веществ, %	Менее 2	2	ГОСТ 17537
Динамическая вязкость, спз при ~25 °С	6199 - 6599	1999 - 2399	ГОСТ 25276-82
Динамическая вязкость, спз при ~35 °С	3399 - 3799	849 - 949	ГОСТ 25276-82
Динамическая вязкость, спз при ~50 °С	749 - 849	399 - 499	ГОСТ 25276-82

Получаемое покрытие выполняет барьерную функцию предотвращая контакт защищаемой поверхности с агрессивной средой, обладает высокой стойкостью к истиранию и повышенной жизнеспособностью.

Таблица 7 – Основные свойства двухупаковочной композиции

Наименование свойств покрытия	Показатель	Условия нанесения наносится при температуре от -5 до +50 ⁰ С,	Возможно нанесение на влажные поверхности
Внешний вид покрытия	Гладкое покрытие от темно-коричневого до черного цвета	Гидроабразивная устойчивость	Высокая
Толщина защитного слоя, мм	1-2	Влагопоглощение, %	0,51
Плотность, г/см ³	1,3	Химическая стойкость покрытия ((+) - покрытие стойко, (±) - покрытие стойко в течение короткого времени, (-) – покрытие нестойко)	
Расход, кг/м ² (при толщине покрытия 1 мм)	1,3	Вода, этиловый спирт (50%)	+
		Бутиловый спирт, глицерин	+
Термостойкость, ⁰ С	180	Бензин	+
Содержание органических растворителей	Не содержит	Муравьиная, молочная и уксусная кислота (20%)	+
Адгезионная прочность: -методом решетчатых надрезов (балл) -методов отрыва (МПа) (сталь 3)	1	Формальдегид (37%)	+
	20	Концентрированные растворы щелочей	+
Массовая доля нелетучих веществ, %	98-99	Раствор каустической соды (30%)	+
Жизнеспособность, мин: -20 ⁰ С -45 ⁰ С	40-50 20-30	Концентрированные растворы щелочей	+
		Фосфорная кислота (10%)	+
Время отверждения (ч): -до степени 2 -до степени 3	4 5	Серная кислота (20%)	+
		Дизельное топливо, моторное масло	+
Время полного отверждения (20 ⁰ С),ч	24	Хромовая кислота, борная кислота (10%)	+
		Голуол, ксилол, бензол	+
Вязкость, спз: -25 ⁰ С -45 ⁰ С	3500-4500 700-900	Ацетон, бутилацетат, четыреххлористый углерод	+

Это покрытие имеет несколько ценных особенностей. Во-первых, оно абсолютно безопасно для окружающей среды, что является важным достоинством. Во-вторых, его универсальность заключается в возможности применения на различных типах поверхностей - от металлических и бетонных конструкций до трубопроводов, металлических узлов и агрегатов. Кроме того, это покрытие может использоваться в области архитектуры и интерьерного дизайна, что делает его еще более универсальным.

Для создания полимерной композиции применяется компонент А. Его получают смешиванием эпоксидной диановой смолы ЭД-20 и алифатической эпоксидной смолы ДЭГ-1.

После в полученную смесь добавляют базальтовую чешую из андезита, фракция которой составляет от 0,001 до 0,02 мм². Компонент Б создается смешиванием отвердителя ЭТАЛ - 45М с андезитовой базальтовой чешуей.

Патент RU 2562280 С1 описывает новую систему антикоррозионного лакокрасочного покрытия. Компоненты покрытия наносятся на поверхность вручную помощью механизированного метода при отдельном хранении. При нанесении вручную компоненты смешивают в пропорции от 2:03 до 2:1,5, тогда как при использовании механизированного метода этот шаг не требуется. Вязкость компонентов можно регулировать, учитывая вид и форму поверхности, с помощью температуры, которая не должна превышать 60°С. Однако следует осторожно контролировать температурный режим. Система состоит из связующего вещества, наполнителя и растворителя, а покрытие наносится на поверхность в два слоя - грунтовый и основной.

Грунтовый слой содержит кремнийорганическую эмаль КО-198, асмольный лак, высокодисперсный цинк и растворитель нефтяной в следующих пропорциях:

- Растворитель до достижения рабочей вязкости;
- 8-12 массовых частей высокодисперсного цинка;
- 20-25 массовых частей асмольного лака;
- 100 массовых частей КО-198;

Слой грунтовый помогает сцеплению с металлом и высокую защиту от коррозии. Приготовление состава можно производить по двум вариантам, в зависимости от желаемых свойств покрытия. В первом варианте грунтовый слой готовится из следующих компонентов: КО-198 (100), асмольный лак (20), высокодисперсный цинк (8) и растворитель (10). Для приготовления грунтовки необходимо тщательно перемешать 3 литра кремнийорганической эмали КО-198 и асмольного лака в емкости при комнатной температуре в течение 15 минут, затем добавить высокодисперсный цинк и продолжать перемешивание еще 10 минут до достижения нужной консистенции. Растворитель (солювент нефтяной) следует добавлять непосредственно перед нанесением грунтовки на защищаемую поверхность кистью. Грунтовый слой должен быть просушен до полного высыхания, чтобы обеспечить максимальную эффективность защиты.

После завершения подготовки грунтового слоя, следующим шагом является применение верхнего слоя с помощью состава, содержащего:

- 2 массовых части нафтената кобальта;
- 6 массовых частей специально подобранной смеси графита и дисульфида молибдена в соотношении 4:1;
- 10 массовых частей растворителя;
- 100 массовых частей кремнийорганической эмали КО-198.

Для того, чтобы создать данный состав нужно поместить кремнийорганическую эмаль КО-198 (согласно ТУ 6-02-841-74) в миксер емкостью 3 литра. Затем, продолжая перемешивание, добавить смесь графита марки ГЛС1 (согласно ГОСТ 5420-74) и дисульфида молибдена марки ДМИ-7 (согласно ТУ 48-19-144-90) и продолжить перемешивание в течение 20 минут. После этого добавить остальные компоненты. Полученный состав должен быть равномерно нанесен на грунтовой слой. Стоит заметить, что комбинированное покрытие обоих слоев должно высохнуть до степени 3 при температуре 20°C за примерно 25 минут.

При подготовке по примеру 2 грунтовочный слой содержит:

- 12 массовых частей высокодисперсного цинка;
- 15 массовых частей растворителя;
- 25 массовых частей асмольного лака;
- 100 массовых частей кремнийорганической эмали КО-198.

На слой грунтовочный наносится слой, содержащий:

- 2,5 массовых частей нафтената кобальта;
- 15 массовых частей растворителя;
- 8 массовых частей смеси графита и дисульфида молибдена (4:1);
- 100 массовых частей кремнийорганической эмали КО-198.

Стоит отметить, что покрытие, полученное по примеру 2, также высыхает до степени 3 за 25 минут при температуре 20 °С, как и покрытие из примера 1.

Таблица 8 содержит результаты сравнительных испытаний свойств покрытий, которые были созданы по разным примерам.

Таблица 8 – Результаты испытаний характеристик предлагаемых покрытий

Данные о тестировании различных покрытий			
Характеристики покрытия	Покрытие	Покрытие, применяемое в соответствии с предложенным изобретением	
		Вариант 1	Вариант 2
Толщина	30 - 180 мкм	100 мкм	120 мкм
Влагопоглощаемость после экспозиции при 20 ⁰ С	1,60 - 1,90 %	1,47 %	1,57 %
Пик прочности лакокрасочной системы при растяжении	10,4 - 19,0 Мпа	12,4 Мпа	15,7 Мпа
Относительное удлинение лакокрасочной пленки при разрыве	30 - 40 %	29 %	35 %
Сила износа, мм/(кг · см ²)	0,81 - 0,97	0,66	0,71

2.4.1 Анализ целесообразности использования покрытия

Разделы 1.4 – 1.5 описывают параметры метанореактора, зависящие от коррозии. Коррозия может вызвать негативные последствия помимо тепловых потерь и снижения КПД. При расчете экономических потерь необходимо учитывать данные о работе реактора, свойства сырья и климатические условия. Некоторые параметры можно учесть при моделировании горизонтального метантенка (раздел 1.7). Примером является износ запорной арматуры в результате воздействия агрессивных факторов внутренней и внешней среды при высоких требованиях к прочности материалов.

Таблица 9 показывает цены штоковых задвижек компании «Dendor» для трубопроводов с диаметром 20 см.

Таблица 9 – Цена арматуры при разных материалах

Материал изготовления	Цена (руб.)	Срок эксплуатации
сталь + нержавеющая сталь (корпус + диск)	~ 19200	~ 10 лет
чугун	~ 9000	~ 3-4 года
чугун + нержавеющая сталь (корпус + диск)	~ 14000	1,5-2,5 лет до появления коррозии, 5-7 лет до замены

Основные издержки:

1) Газовые и сырьевые магистрали находятся под угрозой серьезных проблем из-за износа. В соответствии с приказом №558 [25] от Ростехнадзора, полиэтиленовые трубы могут использоваться в течение 50 лет, а стальные трубы - до 40 лет. Однако химическая и газовая коррозия могут привести к уменьшению внутреннего диаметра стальных труб и труб из неустойчивых к коррозии марок стали, что укорачивает их срок эксплуатации до 12-17 лет, после чего требуется полная замена.

2) Конструкция перемешивающего устройства биогазовой установки подвержена износу ее движущих составляющих, таких как лопасти, вал и

шнековая лента мешалок. Поломка лопастей и разрыв шнековой ленты отрицательно сказывается на эффективности перемешивания сбрасываемой массы и может привести к нарушению технологического процесса, уменьшению объема вырабатываемого газа и образованию опасных газовых карманов, которые при перегреве могут стать источником взрыва.

3) Использование излишнего подогрева и повышенного расхода топлива или электроэнергии для перемешивания сырья и обеспечения нужной температуры может привести к перерасходу топлива и дополнительному износу мотора-редуктора. Например, если в городе Самара в 2019 году по одноставочному тарифу на 5 кВт в сутки максимальная ставка составляла 3,72037 руб/кВт*ч, то избыточное потребление электричества может значительно увеличить расходы на эксплуатацию биогазовой установки. Это, в свою очередь, может сделать ее неэффективной и нерентабельной для использования.

Согласно данным приведенным ниже, для повышения эффективности бескислородного брожения нужно придерживаться нескольких принципов:

1) Организация теплового баланса должна привести к минимальным потерям тепла;

2) Увеличение срока службы аппаратов для уменьшения общих затрат

Сильное влияние на долговечность и эффективность работы установки бескислородного брожения оказывают различные виды коррозии. Решают данные проблемы нанесение на оборудование полимерных антикоррозийных покрытий. Исследование патентов показало существование покрытий, улучшающих тепловой баланс установки и защищающих от коррозии.

2.4.2 Антикоррозийное покрытие внешней поверхности метантенка

Металлизационный метод нанесения покрытия является наиболее выгодным. Узлы и детали метантенка подвержены коррозии и износу. Для защиты поверхности оборудования биогазовой промышленности, трубопроводов используется газопламенный метод, обладающий защитными свойствами от коррозии.

2.5 Антикоррозийное покрытие внешней поверхности метантенка

Исходя из ГОСТ 28377-89 «Порошки для газотермического напыления и основ материалов ГПН, для осуществления выбранного метода были использованы исследования ЦВТ ФГБОУ ТГУ для выбора порошков с оптимальными физико-химическими, технологическими и экономическими свойствами. В итоге были выбраны марки порошков ПВ-Н85Ю15, ПР-НХ17СР4, ПР-ЦнЮ16 (ПГ-АН27), в том числе порошки для создания высокотвердых покрытий - WC/Co 88/12 и Плакарт-0.05-Н» [26].

Информация про химический состав и назначение порошковых марок представлена в таблицах 10 и 11:

Таблица 10 – Химический состав порошков для напыления

Покрытие в виде порошка	Состав (%)									
	Ni	Fe	C	Cr	Si	Al	B	Zn	WC	Co
ПВ-Н85Ю15	база	0,20	0,07	-	-	12-15	-	0,08	-	-
ПР-НХ17СР4	база	до 5,0	0,80 - 1,21	16,0 - 18,0	3,8- 4,5	-	3,1 - 4,0	-	-	-
ПР-ЦнЮ16 (ПГ-АН27)	-	0,10	-	-	-	16	-	база	-	-
WC/Co 88/12	-	-	-	-	-	-	-	-	88	12
Плакарт-0.05-Н	база	-	-	25	-	-	-	-	-	-

Таблица 11 – Свойства и области применения порошков для напыления

Марка порошка	Назначение	Свойства
ПВ-Н85Ю15	«Газотермические жаростойкие, стойкие в воде и щелочи покрытия, подслои для покрытий из оксидов и карбидов» [26].	«- температура плавления 1400 °С - жаростойкость покрытий при нагреве на воздухе до 1150 °С - материал и покрытия стойки в атмосфере, воде и щелочах» [26].

Продолжение таблицы 11

ПР-НХ17СР4	«Высокая стойкость к абразивному и эрозионному износу за счет высокопрочной фазы Cr ₇ C ₃ , коррозии в пресной и морской воде, солевых растворах, нефтесодержащих средах, устойчивость против окисления на воздухе» [26].	«- упрочняющие покрытия на деталях машин и оборудовании горячих цехов металлургических заводов - нефтяных погружных и грунтовых насосов, газоперекачивающих установок, горнодобывающей, дорожной и с/х техники - упрочнение шнеков экструдеров полимерных материалов и др. - твердость HRC до 60 - применение при температурах до 750 °С» [26].
ПР-ЦнЮ16 (ПГ-АН27)	«Применяются для нанесения коррозионностойких и износостойких покрытий» [26].	«- высокие антикоррозионные свойства» [26].
WC/Co 88/12	«Износостойкие покрытия для деталей, работающих при повышенных нагрузках» [26].	«- твердость HV до 1200 - стойкость к износу и коррозии в различных средах - кавитационная стойкость - хорошие свойства скольжения - устойчивость против газовой коррозии при высоких температурах» [26].
Плакарт-0.05-Н	«Износостойкие покрытия для деталей, работающих при повышенных нагрузках и высоких температурах» [26].	«- твердость HV до 1300 (более 72 HRC) - стойкость к износу и коррозии в различных средах - кавитационная стойкость - применение при температурах до 870 °С - хорошие свойства скольжения - устойчивость против газовой коррозии при высоких температурах» [26].

2.5.1 Технологические параметры газопламенного напыления

Был разработан новаторский подход, основанный на проведенном аналитическом обзоре и исследованиях, который позволяет создавать защитное покрытие для металлических трубопроводов, оборудования и резервуаров. Этот метод включает несколько этапов:

Струйно-абразивная активация поверхности:

«Активация поверхности с помощью струйно-абразивного метода производится в зависимости от характеристик обрабатываемого объекта и его габаритных размеров. Для этого могут использоваться как рабочие

камеры специализированных струйно-абразивных установок, так и открытые пространства, включая полевые условия, например для активации внешних поверхностей магистральных нефтегазопроводов и нефтепродуктопроводов. Всю работу выполняет высококачественный сжатый воздух, который очищен от всех абразивных эмульсий, таких как пыль, ржавчина, конденсат и масло» [27].

«Такой подход позволяет добиться наилучшего результата при минимальном воздействии на окружающую среду и гарантирует безопасность работников, задействованных в процессе работы» [27].

Чтобы достичь эффективной обработки металлических поверхностей в условиях поля, данная работа рекомендует использовать специализированное струйно-абразивное оборудование Problast 60 SL. Оно отличается высокой производительностью и преимущественной особенностью, которая заключается в возможности отсасывания абразивного материала после использования и его последующем повторном использовании для активации поверхности. Это позволяет значительно сэкономить расходы на новый абразив и сделать процесс обработки более экономичным и эффективным.

Газопламенное напыление:

«Для получения покрытий на малогабаритные детали и узлы оборудования газовой промышленности, данная работа представляет разработанную в ЦВТ ФГБОУ ТГУ горелку для газопламенного напыления. Эта горелка имеет компактные размеры, поэтому она удобна в использовании в цеховых и полевых условиях. Ручной режим работы горелки делает возможным более точное и качественное нанесение покрытия на детали и узлы оборудования. Кроме того, в комплект горелки входят специальные насадки для оплавления покрытий и нанесения их на внутренние поверхности отверстий (глубиной до 400 мм). Важным элементом комплектации является сменное сопло, которое позволяет получить сверхзвуковую скорость истечения рабочей смеси до 1500 м/с.

Такое оборудование является оптимальным выбором для производства качественных и надежных покрытий в газовой промышленности» [28].

«Для нанесения защитных покрытий на значительные площади подложки, такие как магистральные трубопроводы, НКТ, корпуса ЭЦН, жаровые трубы установок подготовки газа и другое крупногабаритное оборудование в газохимической промышленности, а также для получения твердых покрытий с пористостью менее 1%, данная работа рекомендует использовать высокопроизводительную мобильную установку высокоскоростного (HVAF) газопламенного напыления «Плакарт HVA-7».

Эта установка работает на основе смеси горючих газов и воздуха, что позволяет быстро и эффективно наносить покрытия на большие поверхности» [28].

Лазерное оплавление или локальное газопламенное:

«В некоторых случаях, для улучшения адгезионных свойств, снижения пористости покрытий и увеличения их твердости, не требуется использование высокопроизводительного оборудования высокоскоростного напыления (Плакарт HVA-7).

В данной работе рекомендуется использовать лазерное оплавление или специальную насадку на горелку конструкции ЦВТ ФГБОУ ТГУ для проведения оплавления после нанесения ГП. Этот метод является более экономичным и можно применять в различных условиях. Он позволяет получить качественные покрытия с повышенной прочностью и стойкостью к воздействию различных факторов. Оплавление с помощью лазера или специальной насадки на горелку – это быстрый и эффективный способ достичь желаемого результата без дополнительных затрат на приобретение дополнительного оборудования» [28].

Финишная обработка:

«Финишное шлифование напыленных металлических поверхностей является заключительной операцией механической обработки, которая необходима для достижения необходимых размеров и чистоты поверхности

детали. В данной работе предлагается использовать станок шлифовальный 3Д4230 в качестве основного оборудования для финишной обработки» [28].

«Этот станок обладает высокой точностью и эффективностью работы, что позволяет добиться требуемого качества поверхности детали. Он подходит для шлифования различных материалов и может выполнять работу с большой скоростью, что ускоряет процесс производства. Также стоит отметить, что станок шлифовальный 3Д4230 имеет простую и интуитивно понятную систему управления, что значительно облегчает работу оператора» [28].

Контроль качества:

«Для получения высоких эксплуатационных свойств деталей с защитными покрытиями необходимо обеспечить стабильность значений характеристик слоя и основы, а также технологического процесса восстановления и упрочнения. Для этого требуются прочное сцепление покрытия с основой, однородная толщина покрытия, минимальная пористость, отсутствие микротрещин и других дефектов.

Важно, чтобы покрытие было ровным, без вздутий, шелушения, трещин и включений. Твердость покрытия по Роквеллу (НРСэ) должна соответствовать твердости, указанной в техническом задании. Для определения ударной вязкости защитных покрытий проводятся термоциклические испытания. Это необходимо для проверки прочности покрытия и его способности выдерживать механические нагрузки. Кроме того, шероховатость поверхности покрытия является очень важным параметром, который должен соответствовать требованиям чертежа на обрабатываемое изделие. При этом необходимо учитывать особенности конкретного материала и методы его обработки. Недостаточная шероховатость может привести к плохой адгезии покрытия с основой, а излишняя – к потере точности геометрии детали» [28].

2.5.2 Свойства и структура покрытий

«Микроструктура покрытия, полученного образцом газопламенным методом (рисунки 16-17), имеет арочную, слоистую форму и обладает высокой устойчивостью к знакопеременным динамическим нагрузкам. При этом в структуре покрытия нет значительных дефектов, адгезионная граница четко выражена, а границы между слоями тонкие, что свидетельствует о высоких когезионных свойствах данного покрытия» [29].



Рисунок 16 – Свойства когезионные

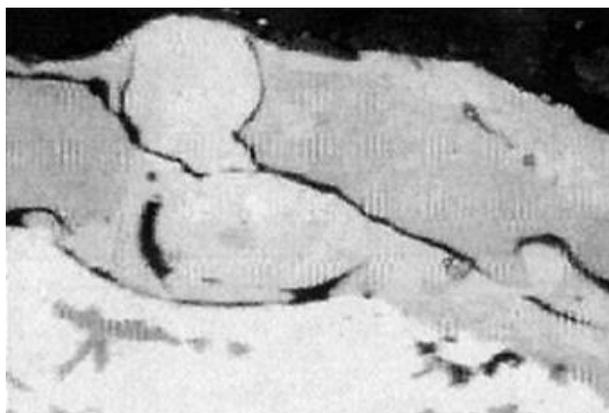
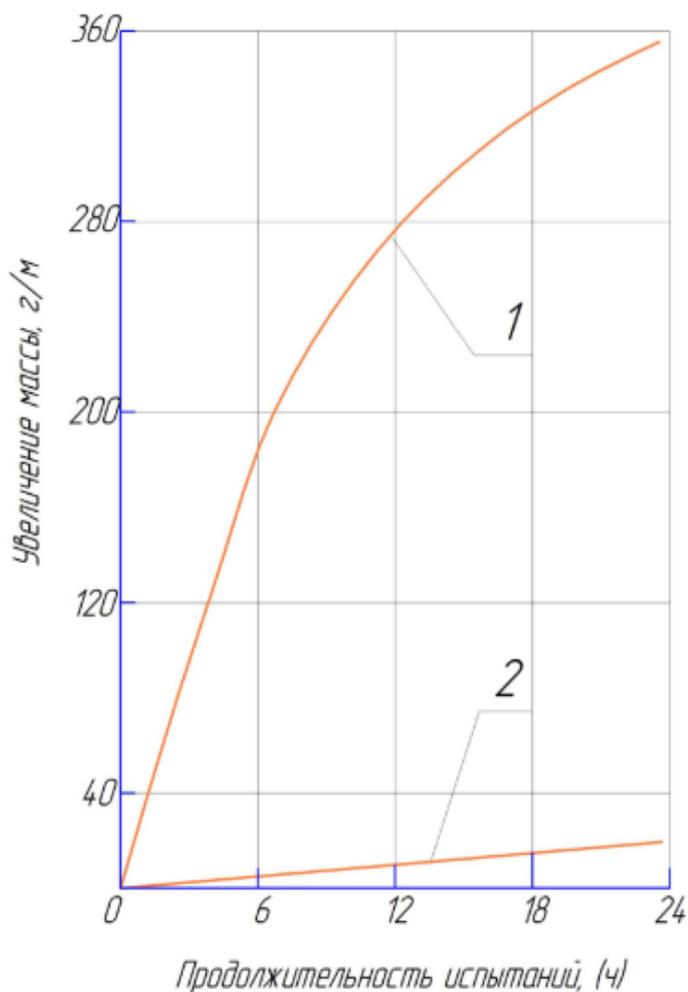


Рисунок 17 – Свойства адгезионные

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о значительном повышении жаростойкости образцов, покрытых специальными покрытиями, по сравнению с непокрытыми образцами (рисунок 18). В

частности, при температуре 800 °С жаропрочность покрытых образцов увеличилась в 18 раз. Это говорит о высокой эффективности данных покрытий в условиях высоких температур и их применимости для защиты материалов от жара.



1 – без покрытия; 2 – с покрытием

Рисунок 18 – Термоустойчивость стальных образцов при 800 °С

Одним из наиболее оптимальных применений таких покрытий является защита внешних поверхностей труб и резервуаров, которые подвергаются высоким температурам в процессе эксплуатации.

2.6 Экономическая целесообразность использования покрытия

2.6.1 Данные для расчёта экономической эффективности

Таблица 12 – Изначальные данные

Показатель	Усл. обозн.	Ед. измер.	Варианты	
			Базов.	Проект.
Годовая программа выпуска	P_r	шт.	—	4138
Затраты на материалы	C_m	руб.	—	7934,2
Цена труб		руб./ед	13500	12531,33
Коэф. транспорт.-заготовит. расходов	$K_{т-з}$	—	—	1,05
Часовая тарифная ставка	$C_ч$	руб./ч	—	75,29
Коэффициент доплат к основной заработной плате	K_d	—	—	1,88
Коэффициент отчислений на доп. з/п	$K_{доп}$	%	—	0,1
Коэф. отчислений на соц. нужды	$K_{сс}$	%	—	0,356
Балансовая стоимость оборудования	$C_{об.}$	руб.		2800000
Норма амортизационных отчислений на оборудование	N_a	%	—	13
Коэффициент полезного действия	КПД	—	—	0,85
Стоимость электроэнергии [30]	$C_{ээ}$	руб./кВт·ч	—	3,53
Стоимость воды	$C_в$	руб./м ³	—	5
Цена площади	$C_{пл}$	руб./м ²	—	9500
Площадь, занимаемая оборудованием	S	м ²	—	50
Стоимость эксплуатации площади	$C_{пл}$	руб./м ²	—	1800
Коэффициент затрат на монтаж (демонтаж) оборудования	$K_{монт}$	%	—	3
Нормативный коэф. эффективности доп. капитальных вложений	E_n	—	—	0,15
Срок службы изделия по базовому/проектному варианту	$T_б/T_{пр}$	лет	50	50
Норма амортизационных отчислений на площади	$N_{пл.}$	%	—	5
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех.}$	%	—	215
Коэффициент заводских расходов	$K_{зав.}$	%	—	250
Амортизационные отчисления на эксплуатацию площадей	—	%	—	2,4

2.6.2 Проведение расчетов стандартных временных норм.

Согласно условиям технологического процесса, за одну 8-часовую рабочую смену выпускается 6 изделий, и производство всех изделий осуществляется параллельно.

Таблица 13 – Расход времени на осуществление технологического процесса

Задачи	$t_{\text{маш,ч}}$	$t_{\text{всп,ч}}$	$t_{\text{обсл,ч}}$	$t_{\text{отл,ч}}$	$t_{\text{п-з, ч}}$	$t_{\text{бшт,ч}}$
Транспортировка труб	0,5	0,05	0,05	0,025	0,005	1,3608
Подготовка труб	0,5	0,05	0,05	0,025	0,005	1,3608
Нанесение покрытий	6	0,6	0,6	0,3	0,06	7,56
Охлаждение труб	0,28	0,028	0,028	0,014	0,0028	0,3528
Итого	6,28	0,628	0,628	0,314	0,0628	7,9128
Итого на 1 изделие						1,3188

2.6.3 Определение времени работы оборудования и необходимого количества оборудования для реализации технологического процесса.

Формула для расчета номинального годового фонда времени работы оборудования представлена ниже (7):

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_n \cdot T_n) \cdot C \quad (7)$$

где D_p – количество рабочих дней в году;

$T_{см}$ – продолжительность смены (час);

T_n – часы, на которые сокращается смена в праздники

D_n – количество предпраздничных дней;

C – количество смен.

Исходя из формулы (7), получаем значение номинального годового фонда времени работы оборудования:

$$F_n = (248 \cdot 8 - 8 \cdot 0) \cdot 33 = 5928 \text{ ч}$$

Временной фонд работы оборудования рассчитывается по формуле, где B представляет собой плановые потери рабочего времени, которые составляют 7% (8):

$$F_{\text{э}} = F_{\text{н}} \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right) \quad (8)$$

Исходя из формулы (8), временной фонд работы оборудования равен:

$$F_{\text{э}} = 5928 \cdot (1 - 7/100) = 5513 \text{ ч}$$

Программа производства изделий рассчитывается по формуле (9):

$$P_z = D_p \cdot n_{\text{см}} \cdot C \quad (9)$$

где P_z – производственная программа производства изделий, шт/год;

$n_{\text{см}}$ – число изделий, производимых за смену при $n_{\text{см}} = 6$.

Исходя из формулы (9), программа производства изделий равна:

$$P_{\text{з.пр.}} = 248 \cdot 6 \cdot 3 = 4464 \text{ шт}$$

2.6.4 Общие вложения

Затраты по проектному варианту с использованием формулы (10):

$$K_{\text{ОБЩ.ПР.}} = K_{\text{ОБ.ПР.}} + K_{\text{ПЛ.ПР.}} + Z_{\text{СОП.ПР.}} \quad (10)$$

где $K_{\text{ОБ.ПР.}}$ – капитальные вложения в оборудование (руб.);

$K_{\text{ПЛ.ПР.}}$ – капитальные вложения в дополнительные площади (руб.);

$Z_{\text{СОП.ПР.}}$ – сопутствующие капитальные затраты (руб.).

Вложения в оборудование рассчитываются с помощью формулы (11):

$$K_{\text{об.пр.}} = C_{\text{об.пр.}} \cdot K_{\text{т-з}} \quad (11)$$

где $C_{\text{об.пр.}}$ – стоимость приобретения нового оборудования (руб.);

$K_{\text{т-з}}$ – коэффициент, учитывающий расходы на доставку.

В таблице 14 приведены ценовые категории для каждого аппарата, используемого для напыления защитного антикоррозионного покрытия:

Таблица 14 – Издержки за счет оборудования

Название оборудования	Цена за шт. (руб.)
Комплекс высокоскоростного напыления Плакарт HVA-7	1450000
Струйно-абразивная установка Problast 60 SL	450000
Компрессорная станция REMEZA BK40-10Д	450000
Кран-балка КМПэ 1т	97000

Исходя из формулы (11), общие вложения в оборудование равны:

$$K_{\text{об.пр.}} = 2447000 \cdot 1,05 = 2569350 \text{ руб.}$$

Рассчитываем дополнительные вложения в площади по формуле (12):

$$K_{\text{пл.пр.}} = C_{\text{пл.}} \cdot S_{\text{пр}} \quad (12)$$

где $S_{\text{пр}}$ – площадь по проектному варианту, м²;

$C_{\text{пл.}}$ – стоимость приобретения площади, руб./м².

Из формулы (12), вложения в дополнительные площади равны:

$$K_{\text{пл.пр.}} = 9500 \cdot 50 = 475000 \text{ руб.}$$

Сопутствующие затраты рассчитаны по следующей формуле (13):

$$Z_{\text{соп}} = Z_{\text{монт}} \quad (13)$$

где $Z_{\text{монт}}$ – стоимость монтажа оборудования (руб.).

Расчет затрат на монтаж оборудования по формуле (14):

$$Z_{\text{монт}} = Ц_{\text{об.пр.}} \cdot K_{\text{монт}} / 100 \quad (14)$$

где $K_{\text{монт}}$ – коэффициент монтажных затрат оборудования проекта (%).

Сопутствующие затраты рассчитываются по формуле (14):

$$Z_{\text{монт}} = Z_{\text{соп.пр.}} = 2447000 \cdot 3/100 = 73410 \text{ руб.}$$

Общие затраты по проекту равны по формуле:

$$K_{\text{общ.пр.}} = 2569350 + 475000 + 73410 = 3117760 \text{ руб.}$$

Рассчитываем дополнительные вложения:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр.}} = 3117760 \text{ руб.}$$

По формуле, рассчитываем удельные вложения (15):

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ.пр.}} / П_{\text{г}} \quad (15)$$

где $П_{\text{г}}$ – годовая программа выпуска, шт/год.

Удельные вложения равны (15):

$$K_{уд.пр.} = 3117760 / 4464 = 698 \text{ руб.}$$

2.6.5 Сравнение себестоимости технологий

Затраты на основные материалы рассчитаны по формуле (16):

$$M_{осн.} = C_{м} \cdot K_{мз}, \quad (16)$$

где $C_{м}$ – цена материалов;

$K_{мз}$ – транспортно-заготовительные расходы в виде коэффициента.

В таблице 15 представлены затраты на материалы для газопламенного метода напыления защитного покрытия.

Таблица 15 – Материальные расходы для газопламенного напыления

Наименование	Расход	Ед. изм.	Цена	Стоимость
Пропан	8,0	литр сж. газа	17	136
Порошок ПР-ЦнЮ16 (ПГ-АН27)	5	кг	1200	6000
Порошок ПВ-Н85Ю15	6	кг	1460	8760
Порошок ПР-НХ17СР4	4	кг	1765	7060
Порошок WC/Co 88/12	4	кг	1569	6276
Порошок Плакарт-0.05-Н	8	кг	900	7200
Труба стальная 60x4x6000	1	шт	1200	1200
Итого				7336
С учетом ТЗР				7702,8

Из таблицы 15 можно сделать вывод, что использование порошка марки ПР-ЦнЮ16 (ПГ-АН27) является наиболее выгодным и экономически обоснованным вариантом, учитывая его расход и стоимость.

Материальные расходы составляют (16):

$$M_{осн} = 7336 \cdot 1,05 = 7702,8 \text{ руб.}$$

Были произведены расчеты затрат на оплату труда основных рабочих производственных специалистов с учетом обязательных социальных отчислений:

1) Оплата труда:

а) Расчет зарплаты по формуле (17):

$$Z_{осн.пр} = C_q \cdot t_{шт} \cdot K_d \quad (17)$$

где C_q – ставка в час по тарифу;

K_d – коэффициент доплат к зарплате;

$t_{шт}$ – время на штуку изделия, $t_{шт} = 1,32$.

Зарплата:

$$Z_{осн.пр.} = 75,29 \cdot 1,32 \cdot 1,88 = 187 \text{ руб.}$$

б) Доплаты к зарплате по формуле (18):

$$Z_{доп.} = Z_{осн.} \cdot K_{доп.} \quad (18)$$

где $K_{доп.}$ – коэффициент отчислений на дополнительную з/п.

Размер доплат равен, исходя из (18):

$$Z_{доп.пр.} = 187 \cdot 0,10 = 18,7 \text{ руб.}$$

2) Размер фонда оплаты труда (ФОТ) составляет:

$$\Phi_{от} = Z_{осн.} + Z_{доп.} = 187 + 18,7 = 208 \text{ руб.}$$

3) Социальные нужды в виде отчислений (19):

$$O_{cc} = \Phi_{от} \cdot K_{cc} \quad (19)$$

где K_{cc} – коэффициент отчислений на социальные нужды.

Подставляем в формулу (19):

$$O_{cc.пр.} = 208 \cdot 0,356 = 74 \text{ руб.}$$

4) Данная формула используется для анализа суммы расходов на эксплуатацию оборудования (20):

$$Z_{об} = A_o + P_{ээ} + P_в \quad (20)$$

где $P_{ээ}$ – электроэнергия;

$P_в$ – техническая вода;

а) Расчет амортизационных отчислений (21):

$$A_o = \frac{Ц_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{100 \cdot F_э}, \quad (21)$$

где $Ц_{об}$ – цена оборудования, руб;

H_a – норма амортизации оборудования;

$F_э$ – годовой фонд времени работы оборудования.

Таблица 16 содержит результаты расчетов амортизационных отчислений, полученных с применением формулы (21).

Таблица 16 – Амортизационные отчисления

Название оборудования	Ц _{об} , руб.	Н _а , %	t _{маш} , час	Аморт. отчисления, руб
Комплекс высокоскоростного напыления Плакарт HVA-7	1450000	13	6	205,2
Струйно-абразивная установка Problast 60 SL	450000		6	64
Компрессорная станция REMEZA BK40-10Д	450000		6	64
Итого				333,2
Итого, в пересчете на 1 изделие				55,53

б) Для расчета расходов на электроэнергию нужна формула (22):

$$P_{э\text{э}} = \frac{M_y \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э\text{э}}} \cdot n}{\text{КПД}_i} \quad (22)$$

где M_y – мощность установки, кВт;

$C_{\text{э\text{э}}}$ – цена электроэнергии, руб.

В таблице 17 представлены посчитанные расходы на электроэнергию с использованием формулы (22).

Таблица 17 – Расходы на электроэнергию

Название	Мощность, кВт	Кол-во, ед.	t _{маш} , час	Цена эл.эн, руб./кВт·ч	Итого, кВт·ч	Цена
Комплекс высокоскоростного Напыления Плакарт HVA-7	7,0	1	6	3,53	42	148,26
Струйно-абразивная установка Problast 60 SL	5	1	6		30	106
Компрессорная станция REMEZA BK40-10Д	33	1	6		198	699
Итого						953,26
Итого, в пересчете на 1 изделие						159

Заключительные расходы на эксплуатацию оборудования:

$$Z_{об.пр.} = 55,53 + 159 = 214,53 \text{ руб}$$

Расчет расходов на обслуживание, эксплуатацию и амортизацию производственных пространств (23):

$$Z_{пл} = A_{пл} + P_{пл} \quad (23)$$

где $A_{пл}$ – амортизация пространств;

$P_{пл}$ – затраты на эксплуатацию пространств (руб.)

Отчисления на амортизацию (24):

$$A_{пл} = \frac{C_{пл} \cdot H_{пл} \cdot t_{ам} \cdot S}{100 \cdot F_9} \quad (24)$$

где $C_{пл}$ – цена площади (руб.);

$H_{пл}$ – норма амортизации пространства площадей;

S – площадь пространства для реализации процесса в м².

Согласно формуле (24), величина амортизационных отчислений 16,34 рублей.

Для вычисления затрат на эксплуатацию производственных площадей используется следующая формула (25):

$$P_{пл.экс.} = \frac{C_{экс.} \cdot t_{му} \cdot S}{F_9} \quad (25)$$

где $C_{экс.}$ – эксплуатация площади (руб.)

Затраты на обслуживание производственных площадей 147,35 рубля, как видно из формулы (25).

Следовательно, суммарные расходы на управление, эксплуатацию и амортизацию производственных помещений, подсчитанные согласно формуле (23), равны:

$$Z_{\text{пл.пр.}} = 16,34 + 147,35 = 163,69 \text{ руб.}$$

Стоимость укрепления детали, согласно технологическим параметрам, получаем из формулы (26):

$$C_{\text{тех}} = M + \Phi_{\text{от}} + O_{\text{сс}} + P_{\text{пл}} + Z_{\text{пл}} \quad (26)$$

Как указано в формуле (26), стоимость укрепления детали на основе технологических вычислений составляет 8295,84 рубля.

2.6.6 Расчет укрепления детали

Расчет стоимости укрепления детали в цехе (27):

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} \quad (27)$$

$$P_{\text{цех}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}} / 100 \quad (28)$$

где $K_{\text{цех}}$ – коэффициент расходов цеха.

Получаем из (27) и (28):

$$P_{\text{цех.пр.}} = 187 \cdot 215 / 100 = 402,05 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{цех.пр.}} = 8295,84 + 402,05 = 8697,89 \text{ руб.}$$

2.6.7 Заводская себестоимость упрочнения детали

Заводская стоимость укрепления детали (29):

$$C_{зав} = C_{цех} + P_{зав} \quad (29)$$

$$P_{зав} = 3_{осн} \cdot K_{зав} / 100 \quad (30)$$

где $K_{зав}$ – коэффициент расходов завода.

Получаем, используя (29) и (30):

$$P_{зав.} = 187 \cdot 250 / 100 = 467,5 \text{ руб}$$

$$C_{зав.пр.} = 8697,89 + 467,5 = 9165,39 \text{ руб}$$

2.6.8 Итоговая цена укрепления детали

$$C_{полн.} = C_{зав.} + P_{вн.} \quad (31)$$

где $P_{вн.}$ – непроизводственные затраты

$$P_{вн.} = C_{зав.} \cdot \frac{K_{вн.}}{100} \quad (32)$$

где $K_{вн.}$ – коэффициент непроизводственных затрат, %.

$$P_{вн} = 9165,39 \cdot \frac{5}{100} = 458,27 \text{ руб.}$$

$$C_{полн} = 9165,39 + 458,27 = 9623,66 \text{ руб.}$$

2.6.9 Цена детали для предприятия

$$C_{отп.} = C_{полн.} + ПР \quad (33)$$

где $ПР$ – прибыль предприятия, руб.

$$ПР = C_{полн.} \cdot \frac{K_{пр.}}{100} \quad (34)$$

где $K_{пр.}$ – коэффициент учета прибыли предприятия (%).

$$ПР = 9623,66 \cdot \frac{30}{100} = 2887,1 \text{ руб.}$$

$$C_{отп.} = 9623,66 + 2887,1 = 12510,76 \text{ руб.}$$

2.6.10 Заключительный расчет стоимости укрепления детали

Таблица 18 – Расчет и компоненты конечной цены продукта, выпускаемого изделия

Показатели	Усл. обозн.	Калькуляция, руб.	Структура, %
		проектный вариант	
Фонд оплаты труда	Ф _{от.}	208	1,6 %
Отчисления на соц. нужды	О _{сс}	74	0,6 %
Затраты на оборудование	З _{об.}	214,53	1,6 %
Затраты на площади	З _{пл.}	163,69	1,26 %
Затраты на основные материалы	М _{осн.}	7702,8	62 %
Себестоимость технологическая	С _{тех.}	8295,84	-
Цеховые расходы	Р _{цех.}	402,05	3,1 %
Себестоимость цеховая	С _{цех.}	8697,89	-
Заводские расходы	Р _{зав.}	467,5	3,6 %
Себестоимость заводская	С _{зав.}	9165,39	-
Внепроизводственные расходы	Р _{вн}	458,27	3,7%
Полная себестоимость	С _{полн.}	9623,66	-
Прибыль предприятия	ПР	2887,1	23,1 %
Отпускная цена	Ц _{отп.}	12510,76	100%

2.6.11 Результат с экономической точки зрения

Если мы предполагаем, что экономический результат достигается путем улучшения характеристик продукции, таких как её долговечность, то расчёт выполняется с использованием следующей формулы (35):

$$\mathcal{E}_{экон.} = \left(C_б \cdot \frac{T_2}{T_1} - C_{пр} \right) \cdot П_{Г} - E_H \cdot K_{пр.дон} \quad (35)$$

где T_1 – базовый срок службы

T_2 – проектный срок службы

Подставим:

$$\mathcal{E}_{экон.} = \left(13500 \cdot \frac{50}{50} - 12510,76 \right) \cdot 4138 - 0,15 \cdot 3117760 = 3625811,12 \text{ руб.}$$

С помощью формулы (35) можно провести расчет экономической выгоды, получаемой благодаря уменьшению затрат на производство. В этом конкретном случае внедрения указанной технологии ожидается годовая экономия в размере 3625811,12 рублей.

Заключение

В ходе работы были решены множественные задачи, включая изучение специальной литературы и патентного поиска для получения информации по теме исследования, анализ технологий бескислородного брожения для определения эффективных методов, оценка объемов накопления отходов, рассмотрение проблем коррозионного воздействия на органические отходы и проведение экономического анализа проекта технологии нанесения защитных покрытий. В отрасли столкнулись с проблемами коррозии оборудования и уменьшения КПД работы реакторов бескислородного брожения из-за значительных теплотерь. При выборе покрытий учитывались критерии устойчивости к агрессивной среде, безопасности для функционирующих в реакторе микроорганизмов и способности сохранять свои свойства при перепадах температур.

Проведено теоретическое и экономическое обоснование применения гибридного покрытия вместо дорогих легированных сталей. Был выполнен расчет, который показал годовую экономическую выгоду на сумму 3625811,12 рублей в год.

Исследование показало теоретическую целесообразность применения покрытий для улучшения теплового баланса метантенка. Увеличение срока службы установок бескислородного брожения при применении покрытий минимизирует негативные изменения в функционировании реактора на долгом отрезке времени.

С глобальной точки зрения, получение биогаза путем бескислородного брожения органических отходов является экологически чистым источником получения энергии. Развитие биогазовых технологий затрагивает тему устойчивого развития и сопутствующих отраслей науки и промышленности. Это значит, что при дальнейшем развитии данных технологий мы сможем улучшить экологическую обстановку в мире и найти дополнительный источник получения чистой энергии.

Список используемых источников

1. Безотходное производство: биогазовый комплекс в поселке Плодовое обеспечит племенной завод электричеством / Интернет-портал 47Channel. 23.10.2019.
2. Богачев А.П., Савочкин В.С. Каталог новых технологических и конструктивных решений в строительном производстве: справочно-информационное издание / Богачев А.П., Савочкин В.С. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. 48 с.
3. Васенев В.В., Ильин Ю.П., Круглов Г.А. Тепловой баланс метантенка биогазовой установки // ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» (ЧГАА). 2015. Т. 72. № 2. С. 29-32.
4. Ветошкин А.Г. Основы инженерной экологии: Учебное пособие. – СП Издательство «Лань», 2018 – 332 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования».
6. ГОСТ 5632-72. Сталит высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5). Дата введения 01.01.1975.
7. ГОСТ 9.908-85 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости (с Изменением N 1).
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. 888 с.
9. Жуков Е.М., Кропотов Ю.И., Лугинин И.А., Коррозия железобетонных конструкций и причины ее возникновения // Молодой ученый. 2016. № 7 (111). С. 78-80.

10. Курманов А.К. Совершенствование технологии производства биогаза // Вестник ВНИИМЖ. 2014. №3 (15). С. 171-177.
11. Панченко Е.В. Лаборатория металлографии [Текст] /. – М.: Металлургия, 1965 – 439 с.
12. Лазуткина О.Р. Химическое сопротивление и защита от коррозии: учебное пособие Изд-во Урал. ун-та, 2014. 140 с.
13. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. – Сер. 27. – Вып. 1. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2005, 118 с.
14. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И. Андреюк, В.И. Билай, Э.З. Коваль, И.А. Козлова. – Киев: Наукова думка, 1980. – 288 с
15. Миндубаев А.З., Белостоцкий Д.Е., Минзанова С.Т., Миронов В.Ф., Алимова Ф.К., Миронова Л.Г., Коновалов А.И. Метаногенез: биохимия, технология, применение // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2010. №2. с.178-189.
16. Отходы в России: мусор или ценный ресурс? Сценарии развития сектора обращения с твердыми коммунальными отходами / Международная финансовая корпорация (IFC, Группа Всемирного банка). 2013. 92 с. URL: <http://biotech2030.ru/wp-content/uploads/2018/04/Othody-v-RF.pdf> (дата обращения: 17.07.2023)
17. Патент 2 321164С2 РФ МПК С23С 4/12, Способ газопламенного напыления металлических порошковых материалов/ Гедзь Андрей Джонович, Коберниченко Анатолий Борисович, Ухалин Александр Сергеевич, Ефремов Владимир Владимирович, Шульчевский Юрий Геннадьевич.
18. Патент 2281254С1 РФ МПК С02F3/28 С02F11/04, Горизонтальный метантенк / Дианов Леонид Васильевич, Маслов Максим Михайлович.

19. Патент 2394058С2 РФ МПК С09FD 163/02 С09D 5/08, Полимерная композиция для защитного антикоррозионного покрытия барьерного типа/ Буков Николай Николаевич, Горохов Роман Вячеславович, Левашов Андрей Сергеевич, Мнацаканова Елена Юрьевна.

20. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 21 ноября 2013 г. N 558 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные газы»». Зарегистрировано в Минюсте России 31 декабря 2013 г. N 30993.

21. Прядко А.С. Влияние подготовки поверхности на качество антикоррозионных покрытий при активированной дуговой металлизации [Текст] / А.С. Прядко, Ю.С. Коробов, А.Е. Черепко // Наплавка и напыление как эффективные способы повышения срока службы деталей машин и оборудования. Тез. докл. Российской НТК. – Екатеринбург, 2002. – С. 96–99.

22. Ракова Т.М., Козлова А.А., Нефедов Н.И., Лаптев А.Б. Исследование влияния органических и неорганических ингибиторов коррозии на коррозионное растрескивание высокопрочных сталей // Труды ВИАМ. 2017. №6 (54).

23. Рекомендации по первичной защите бетона сооружений биологической очистки сточных вод / Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт бетона и железобетона Госстроя СССР (НИИЖБ) Макеевский инженерно-строительный институт Минвуза УССР. Утверждены директором НИИЖБ 17 августа 1985 г. Москва. 1985 г.

24. Рекомендации по учету влияния технико-технологических, природно-климатических и других факторов при прогнозировании аварийности на МГ ОАО «Газпром». – М.: ОАО «Газпром», 2007. – 118 с.

25. Садчиков А.В. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок // Журнал Фундаментальные исследования. – 2016. – № 10 (часть 1) – С. 83-87.

26. Сурис М.А. Защита трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии [Текст]: учебное пособие / М. А. Сурис, В. М. Липовских. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 213 с.

27. Токмолдаев А.Б. Обоснование технологической схемы и параметров установки для переработки и обеззараживания навоза в условиях малых сельхозформирований: Дис... канд. тех. наук. - Алматы, 2009. - 116 с.

28. Троицкий В.А. Ультразвуковая диагностика эксплуатационных дефектов в конструкциях нефтегазового комплекса / В.А. Троицкий, В.П. Дядин, Е.А. Давыдов // Автоматическая сварка. – 2010. – № 9. – С. 45

29. Ценовой калькулятор электрической энергии и мощности для юридических лиц. [Электронный ресурс] URL: <http://www.fstrf.ru/calc> (дата обращения: 05.08.2023)

30. Яковлев Б.Н. Категорирование сооружений метантенков по взрывной и пожарной опасности // Вестник СГТУ. 2007. №2.