

ISSN 2072-0297

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



3
ЧАСТЬ I
2026

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 3 (606) / 2026

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

Жураев Хуснурин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)

Алиева Таира Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)

Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук

Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)

Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук

Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук

Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук

Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

Искаков Руслан Марагбекович, кандидат технических наук (Казахстан)

Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)

Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук

Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук

Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук

Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук

Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук

Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук

Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук

Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук

Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)

Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)

Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук

Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)
Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)
Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)
Ахмеденов Кажмурат Максутович, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, доктор педагогических наук, и.о. профессора, декан (Узбекистан)
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)
Лю Цзюоань, доктор филологических наук, профессор (Китай)
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Султанова Диляшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

На обложке изображен Джеймс Уатт (1736–1819), шотландский инженер, изобретатель-механик.

Будущий изобретатель Джеймс Уатт родился в Гриноке (Шотландия). Его отец был весьма разносторонним человеком: строил корабли, держал склад корабельных принадлежностей, вел морскую торговлю, сам создавал и чинил различные приборы и механизмы. Мать происходила из богатого рода и получила очень хорошее образование. С самого рождения Джеймс имел слабое здоровье. В семье было принято решение, что ребенок будет обучаться на дому. Мать сама занималась с сыном правописанием, а отец учил мальчика математике.

Немного повзрослев, мальчик увлекся астрономией; кроме того, его заинтересовали и химические опыты. Кроме того, отец научил Джеймса разбираться в различных приборах и механизмах. В подарок от отца он получил столярные инструменты и изготавлял модели механизмов и устройств, создаваемых отцом. Вскоре юноша поступил в гимназию.

Когда Джеймсу исполнилось восемнадцать лет, умерла его мать. Ее смерть подкосила и здоровье отца. Бизнес пошатнулся. И юный Уатт решил попытаться зарабатывать на жизнь самостоятельно. Начав с изготовления обычных линеек и циркулей, он перешел к более сложным инструментам. Скоро он мог изготовить квадрант, пропорциональный циркуль, теодолит. Но обучиться этому делу в Шотландии было негде, и Джеймсу пришлось отправиться на обучение в Лондон.

Устроиться официально ему не хватило финансов, и он договорился об обучении у мастера Моргана. Средств хватило на оплату только одного года. Вскоре молодой человек вернулся в Шотландию. Джеймс Уатт поселился у своего дяди в Глазго и решил открыть свое дело. Он начал ремонтировать телескопы, октанты, барометры. Но союз ремесленников заставил его прекратить работу, так как, по сути, у него не было должного образования. По счастливому случаю Уатта пригласили в университет Глазго для ремонта и настройки астрономических инструментов будущей обсерватории. Позже его назначили мастером научных инструментов при университете.

В 1759 году архитектор и бизнесмен Джон Крейг пригласил Джеймса стать его партнером. Совместно они организовали производство по изготовлению разных устройств и механизмов. Их совместная работа принесла Уатту полное избавление от нужды.

Джон Робинсон, давний приятель Джеймса Уатта, заинтриговал его как-то вопросом об использовании пара в качестве двигательной энергии. Созданная пятьдесят лет назад паровая машина Ньюкомена использовалась только для откачки воды из шахт. За все время ее существования никто не пытался ее как-то усовершенствовать. И Джеймс начал исследование парового двигателя с нуля.

Его первые попытки создания новой паровой машины потерпели неудачу, но в 1763 году по просьбе про-

фессора из университета Уатт отремонтировал действующую паровую машину Ньюкомена и при этом внес в конструкцию много усовершенствований. Первую свою идею — изолированную камеру для конденсата — он запатентовал в 1769 году, но создать полноценную машину не смог. Нужны были деньги. Позже с этим ему помогли Джон Роубак, основатель Carron Company, и Джозеф Блэк. Но попытки Уатта поставить свои изобретения на коммерческую основу не имели успеха до тех пор, пока он не вступил в деловые отношения с предпринимателем Мэттью Болтоном. Совместная компания Boulton and Watt успешно действовала на протяжении двадцати пяти лет, в результате чего Уатт стал весьма состоятельным человеком.

Усовершенствованная машина Уатта стала особенно востребована на пивоварнях и горнодобывающих предприятиях. Именно тогда и появилось понятие «лошадиная сила», так как до появления этого механизма воду накачивали с помощью лошадей. Для точности эксперимента на одном пивоваренном заводе хозяин в течение рабочей смены использовал одну самую выносливую лошадь. Джеймс выяснил, что она за час перегнала 75 кг воды. Это и стало единицей измерения мощности — лошадиная сила равняется 75 килограмм-силам на метр в секунду ($\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}$), то есть это мощность, которая требуется, чтобы равномерно вертикально поднимать груз массой 75 кг со скоростью 1 м/с при стандартном ускорении свободного падения

В конце XVIII века разработанный Уаттом двигатель был признан поистине неоценимым вкладом в развитие промышленности и прогресс. По аналогии с двигателем Уатт создал копировальный пресс, который он запатентовал в 1780 году. А после выхода на пенсию он создал еще и эйдограф — прибор для «клонирования» скульптур, медальонов, сосудов и прочих предметов искусства.

За несколько лет до смерти английское правительство решило удостоить Уатта за заслуги перед родиной баронского титула, однако он отклонил это предложение.

Изобретатель скончался 25 августа 1819 года на 84-м году жизни. Джеймс Уатт захоронен на кладбище возле церкви Святой Марии в Хэндсворте. На сегодняшний день церковь расширили, и захоронение находится под ее сводами.

Память Джеймса Уатта увековечена памятником в Вестминстерском аббатстве. Великий изобретатель изображен сидящим с бумагой и пером в руках. Имя Уатта носит колледж в Гриноке и мемориальная библиотека, основаннию которой он способствовал. В 1935 году Международный астрономический союз присвоил имя Уатта кратеру на видимой стороне Луны.

В 2009 году Банк Англии выпустил банкноту в 50 фунтов с изображением Уатта и Болтона.

Информацию собрали ответственный редактор
Екатерина Осянина

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

Баржеев Е. В.

Формирование люминесцентного чувствительного слоя для оптического контроля кислорода 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Андреев Д. А.

Проектирование оптической системы портативного лазерного детектора утечки метана на основе технологии TDLAS 4

Андреев Д. А.

Метрологическое обеспечение и схемотехническая реализация портативного лазерного детектора утечки метана 6

Баржеев Е. В.

Схемотехническое проектирование люминесцентного датчика контроля кислорода ... 8

Войнов Е. С.

Особенности материалов и технологий аддитивного производства 11

Григорьев П. М., Шайда И. Ю.

Исследование деформации и разрушения полимерных материалов при нагреве в задачах аддитивного производства изделий ракетно-космической техники 12

Кондрашов Е. Д.

Основные принципы работы электронного ошейника «Антилай» 15

Кондрашов Е. Д.

Проектирование устройства электронного ошейника «Антилай» 17

Кученкин И. Л.

Проектирование систем пробоподготовки для газоаналитического оборудования 19

Кученкин И. Л.

Принципиальная схема пневматических газовых соединений как основа безопасного и точного технологического контроля 21

Маслова Н. А.

Снижение неопределенности в проектах автоматизации бизнес-процессов через унификацию перечня рисков 22

Морозов Р. А.

Обзор современных методов контроля загазованности 24

Морозов Р. А.

Проектирование и выбор компонентной базы для NDIR-датчика метана 26

Оганесян В. А.

Умные города: стандарты, когнитивно-информационные технологии и их приложения 27

Погонченков И. В.

Сравнительный анализ влияния гранулометрического состава оксида церия на шероховатость поверхности оптического стекла K8 29

Погонченков И. В.

Влияние химической активности полированного порошка CeO₂ на скорость финишной обработки сферических поверхностей 31

Полухин Э. А.

Способ определения координат сопровождаемого объекта при обработке видопоследовательности для задач воздушной разведки 33

Соленков П. Н.

Модернизация газоанализатора ДАФ-М-01: переход на цифровую платформу для повышения точности и функциональности 35

Соленков П. Н.

Разработка цифровой системы обработки сигналов для модернизации газоанализатора ДАФ-М-01 36

Фокин С. В., Дюнова Е. А., Федорова Н. Г.

Конструктивные особенности проектируемого вездеходного транспортного средства 38

Фокин С. В., Дюнова Е. А., Федорова Н. Г.

Определение производительности двигателя измельчителя древесины 40

Фокин С. В., Тугушев М. Я.

Современные методы предотвращения
образования асфальтосмолопарафиновых
отложений 43

Цемин В. С., Сафонов В. С.

Изменение интенсивности излучения
светодиода в зависимости от освещения
окружающей среды 46

Цзи Д., Семенюта Е. Д.

Эффективность использования современных
электронных навигационных систем (ECDIS,
AIS, ARPA) в предотвращении столкновений
на море 48

Цзи Д., Семенюта Е. Д.

Управление рисками при буксировке
и таранно-ремонтных операциях в сложных
погодных условиях 50

**АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН
И СТРОИТЕЛЬСТВО****Дунаева В. П.**

Технологии подачи бетонной смеси
при строительстве небоскребов 53

Жердева А. С.

Технология реконструкции подземного
железобетонного резервуара 55

Золотых З. А.

Конструктивные особенности постройки юрты. 57

Исправников С. Б.

Совершенствование технологии
реконструкции промышленного здания 59

Шестакова И. С.

Технологии переноса зданий как
технологическая основа градостроительного
развития исторических районов 63

ХИМИЯ

Формирование люминесцентного чувствительного слоя для оптического контроля кислорода

Баржеев Егор Викторович, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В работе представлено исследование технологии формирования люминесцентного чувствительного слоя, предназначенного для оптического контроля концентрации кислорода. Рассмотрены принципы взаимодействия люминофора с молекулярным кислородом, описан подбор компонентов защитной матрицы и приведены результаты экспериментальных измерений. Показано, что разработанный чувствительный слой обладает стабильными характеристиками и может быть использован в составе оптических газоанализаторов.

Ключевые слова: оптический газоанализ, люминесценция, кислород, чувствительный слой, рутениеевый комплекс, полимерная матрица.

Современные методы газового анализа всё чаще ориентированы на использование оптических принципов регистрации, позволяющих снизить энергопотребление приборов и увеличить срок их службы. Особое внимание уделяется люминесцентным методам, основанным на способности определённых химических соединений изменять характеристики свечения при взаимодействии с молекулами кислорода.

В отличие от электрохимических сенсоров, люминесцентные чувствительные элементы не подвержены деградации электролита и обеспечивают более стабильные измерительные параметры при длительной эксплуатации.

Принцип работы люминесцентного датчика

Принцип работы люминесцентного датчика заключается в замере излучения, создаваемого люминофором под действием возбуждающего излучения.

Чувствительный элемент газоанализатора представляющий собой прозрачное стекло с нанесённым на него люминофором и матрицей. Облучается чувствительный элемент светодиодом синего цвета с длиной волны ~450–500 нм для создания явления флуоресценции. Для измерения интенсивности свечения люминофора используется светодиод.

Люминесценция как оптическое явление

Явление люминесценции представляет собой возбуждение свечения вещества путём сообщения его атомам и молекулам некоторого количества энергии с последу-

ющим переходом вещества в новое энергетическое состояние называемое возбуждённым. Возбуждённое состояние атом принимает путём поглощения периферическими электронами сопровождающимся изменением области пространства вокруг ядра атома, описывающей наиболее вероятное нахождение электрона на атомной орбитали. Самым явным признаком люминесценции является испусканием определённым веществом (люминофором) электромагнитного излучения без нагрева. Поэтому явление люминесценции иначе называется холодным свечением. Люминесценция делится на два класса. Первый — по природе возбуждающего импульса:

— Катодолюминесценция — свечение является результатом облучения электронами, получившими высокую скорость благодаря действию электрического поля;

— Электролюминесценция — излучение света при помещении люминофора в электрическое поле;

— Радиолюминесценция — создание оптического излучения при возбуждении продуктами радиоактивного распада;

— Рентгенолюминесценция — свечение образуется за счёт воздействия рентгеновских лучей;

— Хемилюминесценция — возникновение оптического излучения люминофора в результате образования энергии при протекании экзотермической химической реакции;

— Фотолюминесценция — свечение вещества, возникающее под воздействием на него световых лучей оптического диапазона.

И виды люминесценции классифицирующиеся по продолжительности свечения, а именно:

— Флуоресценция — длительность жизни излучения составляет около 1–10 секунд;

— Фосфоресценция — значительно продолжительная длительность свечения: от секунды до нескольких суток.

Под продолжительностью жизни воспринимается время, которое происходит люминесценция при прекращении воздействия на люминофор возбуждения.

Химический анализ производился путём изучения химического состава чувствительного элемента производства великобританской фирмы «SST Sensing Ltd Company» под наименованием LuminOX-02 или LOX-02.

В качестве активного люминесцентного компонента использовался комплекс рутения, иначе Гексафторфосфат рутения (2+) 4,7-дифенил-1,10-фенантролин (1:2:3), имеющий химическую формулу $[\text{Ru}(\text{dpp})_3](\text{PF}_6)_2$, характеризующийся выраженной флуоресценцией в красной области спектра и высокой устойчивостью к фотодеградации.

Комплекс рутения был растворён для дальнейшего удобства нанесения трихлорметаном, с формулой CHCl_3 .

Для фиксации люминофора была применена полимерно-неорганическая матрица на основе полиметилксилоксана иначе (PDMS) имеющий химическую формулу

$\text{CH}_3[\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{O}]n\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ с добавлением частиц диоксида кремния имеющий химическую формулу SiO_2 двух фракций. Такое сочетание позволило совместить:

- механическую стабильность покрытия;
- газопроницаемость;
- гидрофобные свойства поверхности.

Формирование слоя осуществлялось методом дозированного нанесения на пластину оптического кварцевого стекла марки КУ-1 полученного раствора матрицы с последующей иммобилизацией раствора рутения внутри неё.

Экспериментальные результаты

Проведённые оптические измерения показали, что полученный слой демонстрирует отчётливое снижение интенсивности люминесценции при увеличении концентрации кислорода. Характер зависимости сохранялся стабильным при повторных циклах измерений.

Дополнительное защитное покрытие снижало влияние влаги и фотостарения, повышая воспроизводимость сигнала.

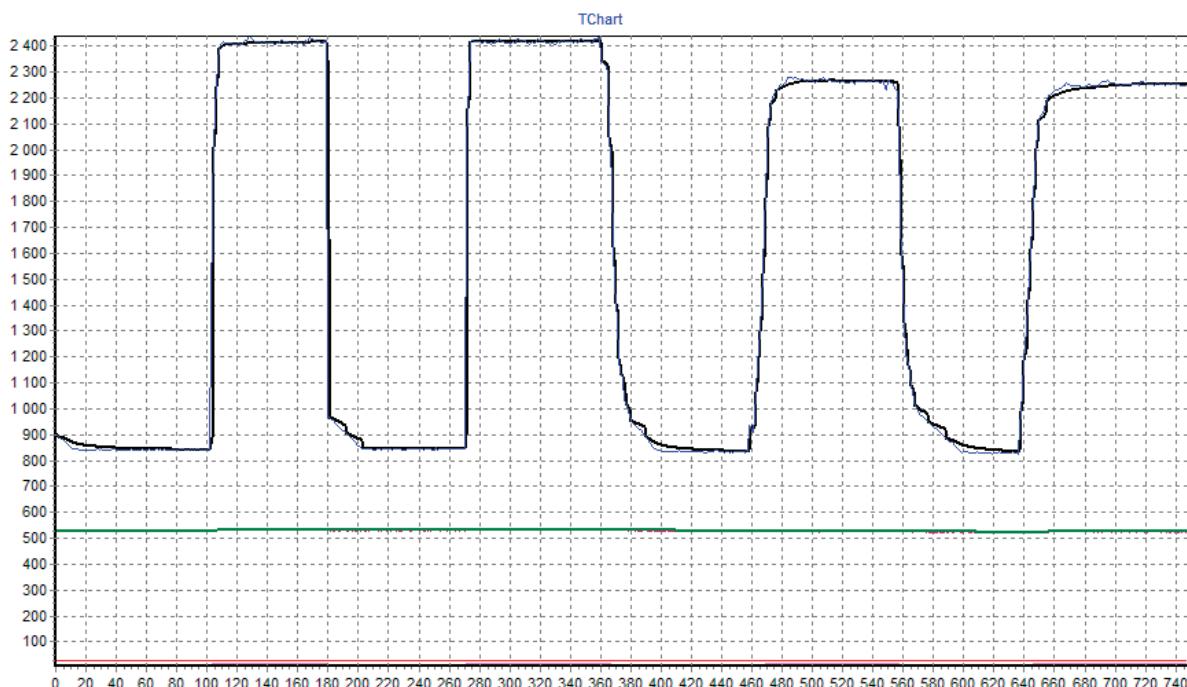


Рис. 1. График кривой люминесценции чувствительного элемента

Заключение

Разработанная технология формирования люминесцентного чувствительного слоя обеспечивает получение

устойчивого и воспроизводимого оптического отклика на изменение концентрации кислорода. Полученные результаты подтверждают перспективность применения данного слоя в составе оптических сенсоров газового анализа.

Литература:

1. Joseph R. Lakowicz. Mechanisms and Dynamics of Fluorescence Quenching // Principles of Fluorescence Spectroscopy. 3rd ed. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2006. P.

2. RU-DPP-3 PF6–2. — Текст: электронный // medchemexpress.com: [сайт]. — URL:<https://www.medchemexpress.com/ru-dpp-3-pf6-2.html?srsltid=AfmBOop0n188F1hfBHMI1MsCnuWOoWv-xAT-Cm5fd0bNroSEIslzx6ba> (дата обращения: 13.01.2026).
3. Энциклопедия химических элементов. — Текст: электронный // xumuk.ru: [сайт]. — URL: <https://xumuk.ru/encyklopedia/2178.html> (дата обращения: 13.01.2026).
4. Полидиметилсиликсан. — Текст: электронный // asiltrade.ru: [сайт]. — URL: <https://asiltrade.ru/polidimetilsiloskan> (дата обращения: 13.01.2026).

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Проектирование оптической системы портативного лазерного детектора утечки метана на основе технологии TDLAS

Андреев Данила Андреевич, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье рассматриваются ключевые аспекты проектирования оптической системы портативного лазерного детектора утечки метана, реализующего метод перестраиваемой диодной лазерной абсорбционной спектроскопии (TDLAS). Обоснован выбор рабочей длины волны (1653,7 нм, линия R(3) метана) и метода линейной модуляции тока накачки DFB-лазера. Приведены результаты разработки двухканальной оптической схемы, включающей передающий тракт с дихроичным совмещением ИК- и видимого пучков, а также приёмный тракт на основе линзы Френеля и узкополосного интерференционного фильтра. Описана методика энергетического расчёта, подтверждающего возможность обнаружения метана с порогом чувствительности 5 ppm·m на расстоянии до 10 м для типовых поверхностей.

Современные газотранспортные системы требуют эффективных средств оперативного контроля утечек метана. Традиционные контактные методы обнаружения, основанные на полупроводниковых или электрохимических датчиках, имеют ряд ограничений: необходимость непосредственного присутствия в зоне утечки, чувствительность к климатическим факторам и относительно большое время отклика. В этих условиях дистанционные оптические методы, в частности технология перестраиваемой диодной лазерной абсорбционной спектроскопии (TDLAS), приобретают особую актуальность для обследования протяжённых и труднодоступных объектов [1].

Принцип действия TDLAS основан на сканировании узкой спектральной линии излучения полупроводникового лазера в области одной из линий поглощения метана, регистрации ослабления отражённого от цели сигнала и обработке с использованием закона Бугера—Ламберта—Бера. Технология позволяет осуществлять селективное обнаружение метана на расстояниях от нескольких метров до десятков метров с высокой скоростью и чувствительностью [2].

Целью данной работы является описание процесса проектирования оптической системы портативного TDLAS-детектора, включая выбор ключевых параметров, разработку оптической схемы и энергетический расчёт, подтверждающий выполнение требований технического задания.

Исходными требованиями для проектирования служили:

- 1) Анализируемый компонент: метан (CH_4), диапазон измерений 5–65000 ppm·m.

- 2) Метод измерения: перестраиваемая диодная лазерная абсорбционная спектроскопия (TDLAS).

- 3) Чувствительность: не хуже 5 ppm·m на расстоянии до 10 м.

- 4) Исполнение: портативное, габариты не более 143×75×37 мм, масса до 450 г.

На основе анализа спектроскопической базы данных HITRAN-2020 и технической документации на коммерческие DFB-лазеры в качестве рабочей области выбрана линия поглощения R (3) в полосе $2\nu_3$ метана с центральной длиной волны 1653,722 нм. Данная линия обладает достаточной интенсивностью, изолированностью от сильных линий паров воды и углекислого газа, а также обеспечена элементной базой.

Для сканирования линии поглощения выбран метод линейной пилообразной модуляции тока накачки DFB-лазера. По сравнению с гармонической модуляцией, линейное изменение длины волны во времени обеспечивает прямое отображение спектрального контура на временную форму сигнала фотоприёмника, что упрощает последующую цифровую обработку в микроконтроллере.

На основе определённых параметров разработана оптическая схема устройства, представленная на рисунке 1. Схема реализована как двухканальная система, совмещающая измерительный инфракрасный и видимый указательный тракты.

Передающий оптический тракт включает DFB-лазер с длиной волны 1653,7 нм и выходной мощностью 6 мВт. Для формирования узконаправленного пучка применена асферическая коллимирующая линза с фокусным расстоянием 8 мм, обеспечивающая расходимость ≈ 0,5 мрад.

Для точного визуального целеуказания используется лазер-указатель с длиной волны 532 нм. Совмещение невидимого ИК- и видимого пучков осуществляется через диэлектрическое зеркало, которое пропускает излучение 532 нм и отражает 1653 нм. Данное решение обеспечивает высокую стабильность юстировки при эксплуатационных воздействиях.

Приёмный оптический тракт предназначен для сбора отражённого от цели излучения, ослабленного погло-

щением метана. В качестве приёмной оптики выбрана линза Френеля из полиметилметакрилата диаметром 30 мм, обеспечивающая компромисс между светосилой, массой и габаритами. Для эффективного подавления фоновой засветки непосредственно перед фотодиодом установлен узкополосный интерференционный фильтр с центральной длиной волны 1653,7 нм и полосой пропускания 10 нм. В качестве фотоприёмника выбран *InGaAs PIN*-фотодиод *LSIPD-L3-08*.

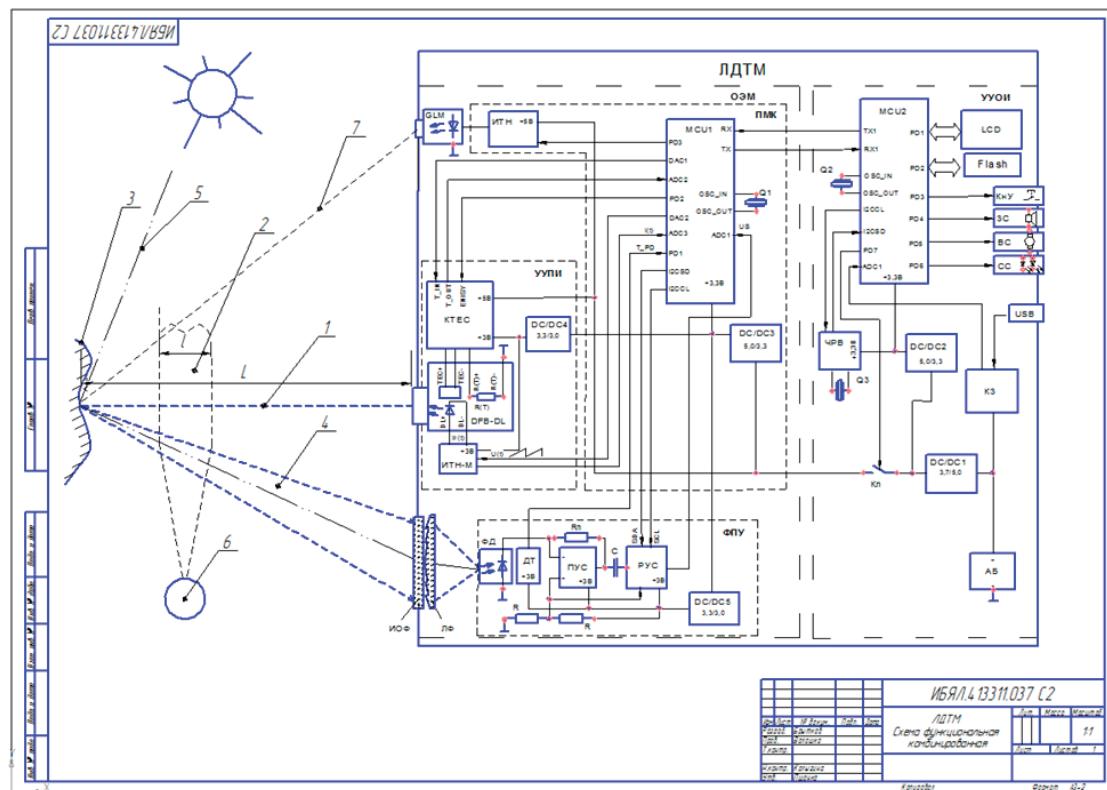


Рис. 1. Функциональная оптическая схема лазерного детектора метана

Для проверки возможности достижения заданной чувствительности выполнен энергетический расчёт для наихудшего случая — отражения от поверхности бетона (коэффициент отражения $\rho = 0,25$) на расстоянии 10 м. Расчётная мощность сигнала, попадающего на фотодиод, составила $P_{pd} \approx 0,49$ мкВт, что соответствует току $I_{pd0} \approx 415$ нА. Изменение тока ΔI из-за поглощения метаном описывается линейным приближением закона Бугера — Ламберта — Бера:

$$\Delta I / I_0 \approx -4,55 \cdot 10^{-8} \cdot CL.$$

где CL — концентрация-путь в $\text{ppm}\cdot\text{м}$.

Суммарный шумовой ток приёмного тракта (дробовой шум фотодиода, шум усилителя, тепловой шум) для полосы 25 кГц оценивается в $I_{n,\text{total}} \approx 35$ пА. Минимально обнаружимое изменение тока при отношении сигнал/шум $SNR=3$ составляет $\Delta I_{\min} \approx 105$ пА.

Расчётная минимальная обнаружимая концентрация-путь для бетона:

$$CL_{\min} = \Delta I_{\min} / (I_{\text{pd0}} \cdot 4,55 \times 10^{-8}) \approx 5,5 \text{ ppm}\cdot\text{m}$$

Для поверхностей с лучшим коэффициентом отражения (ржавая сталь $\rho = 0,35$, белая краска $\rho = 0,8$) чувствительность повышается до 1,8–4,1 $\text{ррт}\cdot\text{м}$. Применение синхронного накопления сигнала за 100 периодов позволяет улучшить чувствительность в 10 раз, что обеспечивает запас по чувствительности даже для наихудшего случая.

Разработанная оптическая система портативного TDLAS — детектора метана, включающая двухканальную схему с дихроичным совмещением пучков и узкополосной фильтрацией в приёмном тракте, позволяет достичь требуемой чувствительности 5 ppm·м на расстоянии 10 м.

Литература:

- Козлов С. А., Анисимов В. Н. Методы и приборы для контроля загрязнения атмосферы. М.: Химия, 1991.
 - Werle P. et al. Near-infrared diode laser absorption spectroscopy for chemical analysis of gas mixtures // Applied Physics B. 1993.

Метрологическое обеспечение и схемотехническая реализация портативного лазерного детектора утечки метана

Андреев Данила Андреевич, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье рассматриваются вопросы метрологического и схемотехнического проектирования портативного лазерного детектора утечки метана, реализующего метод перестраиваемой диодной лазерной аборбционной спектроскопии (TDLAS). Приведены уравнение измерения и оценка неопределённости, показано, что расширенная неопределённость измерений концентрации-пути метана составляет ± 21 % при доверительной вероятности 95 %. Описана архитектура и принципы работы ключевых электронных модулей: платы микроконтроллера на STM32F405RGT6, узла управления и питания с контроллером термостабилизации ADN8834 и фотоприёмного устройства с двухкаскадным малошумящим усилителем. Представлен алгоритм цифровой обработки сигнала, включающий синхронное накопление, автокалибровку усиления и выделение полезного сигнала. Расчёт энергопотребления подтверждает возможность автономной работы прибора в течение 8 часов при использовании режима прерывистых измерений.

Эффективность портативных приборов, основанных на точных оптических методах, таких как перестраиваемая диодная лазерная аборбционная спектроскопия (TDLAS), в значительной степени определяется корректностью метрологического обеспечения и надёжностью схемотехнической реализации [1, 2]. Задача обнаружения утечек метана с порогом чувствительности 5 ppm·m на расстоянии до 10 м требует регистрации крайне малых изменений сигнала (менее 0,001 %) на фоне шумов и нестабильностей. Это предъявляет высокие требования к стабильности электронных компонентов, точности алгоритмов обработки данных и обоснованности метрологических процедур.

Целью данной работы является описание комплекса метрологических и схемотехнических решений, разработанных для портативного TDLAS-детектора метана, включая вывод уравнения измерения, оценку неопределенности, разработку алгоритмов обработки и проектирование ключевых электронных узлов.

Основой для количественных измерений служит уравнение, выведенное из закона Бугера–Ламберта–Бера с учётом параметров оптической и электронной систем прибора:

$$CL = K_{\text{пп}} \cdot \Delta U_{\text{ADC}}$$

где CL — измеряемая концентрация-путь метана в ppm·m, $K_{\text{пп}}$ — градуировочный коэффициент, ΔU_{ADC} — полезный сигнал, выделенный из оцифрованного напряжения фотоприёмного устройства. Коэффициент $K_{\text{пп}}$ определяется однократно в процессе градуировки прибора по образцовой мере.

Оценка неопределенности измерений проведена в соответствии с ГОСТ Р ИСО 21748–2021. Установлено, что доминирующий вклад (до 10 %) вносит неконтролируемое изменение коэффициента отражения цели. С учётом других факторов — нестабильности коэффициента преобразования (≈3 %) и погрешности квантования АЦП — расширенная неопределенность ($k=2$) результата измерения составляет ±21 %. Данная величина соответствует уровню современных портативных дистанционных газоанализаторов.

Алгоритмы обработки сигнала

Для обработки слабого измерительного сигнала разработан специализированный алгоритм, реализуемый в микроконтроллере STM32F405RGT6. Алгоритм включает:

1. Синхронное накопление сигнала за 100 периодов модуляции для подавления случайных шумов.
2. Автоматическую калибровку усиления тракта перед каждым измерением путём регулировки цифровых потенциометров в цепи фотоприёмного устройства (ФПУ).
3. Выделение разности сигналов ΔU_{ADC} между участками вне зоны поглощения и в её центре.
4. Расчёт концентрации-пути по уравнению измерения и цифровое сглаживание результата.

Разработаны принципиальные электрические схемы трёх ключевых модулей прибора:

1. Плата микроконтроллера (ПМК) на основе STM32F405RGT6, обеспечивающая формирование управляющих сигналов, оцифровку данных с ФПУ (частота дискретизации 1 МГц) и реализацию алгоритмов обработки.
2. Узел управления и питания (УУПИ), содержащий прецизионный источник тока для накачки DFB-лазера и контроллер термоэлектрического модуля (ТЕС) ADN8834 для стабилизации температуры лазерного кристалла с точностью ±0,01 °C.
3. Фотоприёмное устройство (ФПУ) с двухкаскадным малошумящим усилителем на операционных усилителях AD8656 и LMP2022. Общий коэффициент преобразования «ток–напряжение» составляет ≈131 МОм. Для регулировки усиления в цепи обратной связи установлены цифровые потенциометры AD5161, управляемые по шине I²C.

Расчёт энергопотребления активных компонентов в режиме непрерывного измерения дал значение ≈3,1 Вт, что при использовании литий-полимерной батареи ёмкостью 3000 мА·ч обеспечивает автономность около 3,5 часов. Для выполнения требования технического задания (8 часов) предложено программно реализовать режим прерывистой работы с периодическим отключением лазера, системы термостабилизации и дисплея.

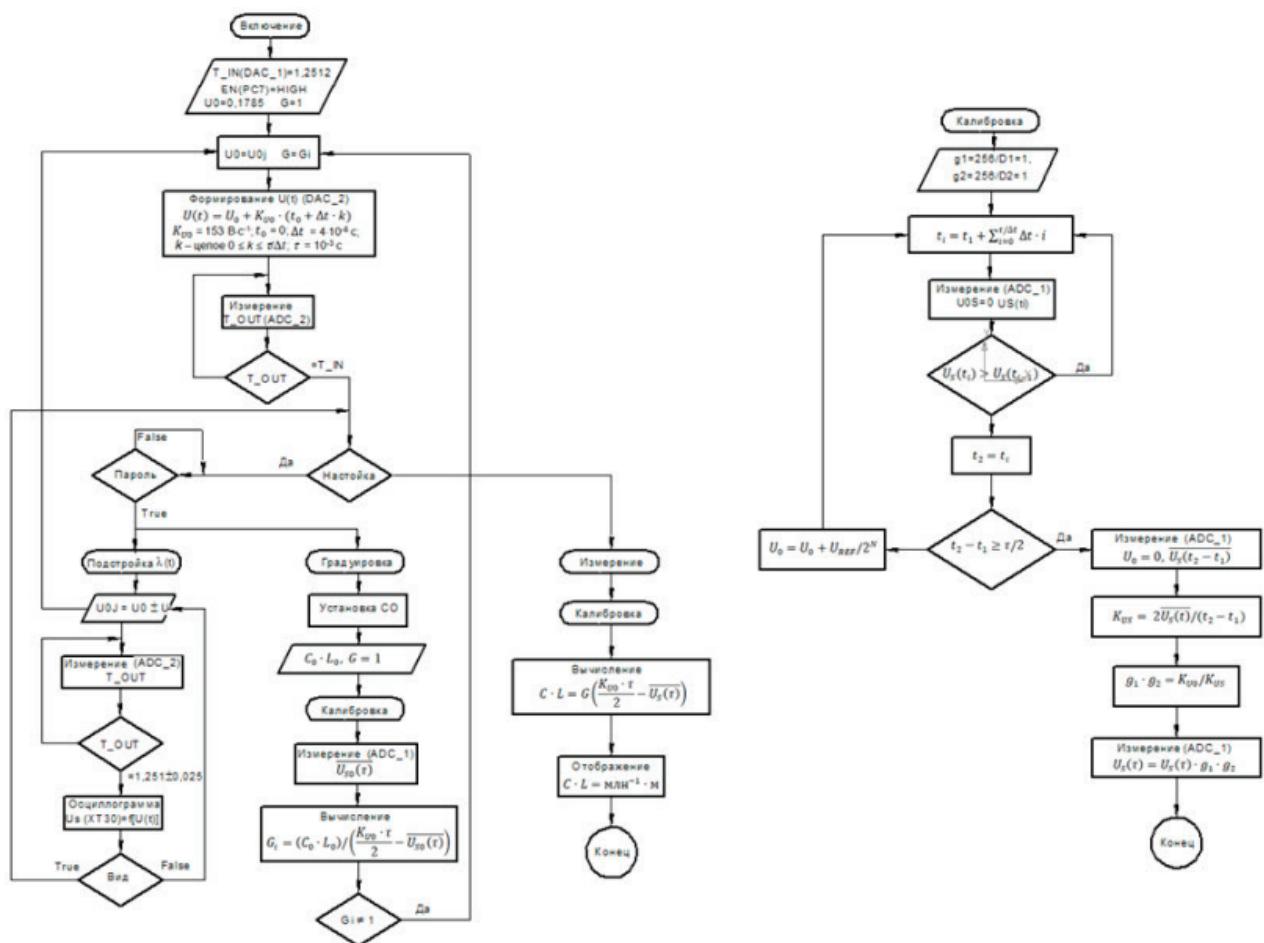


Рис. 1. Блок-схема алгоритма обработки измерительного сигнала в микроконтроллере

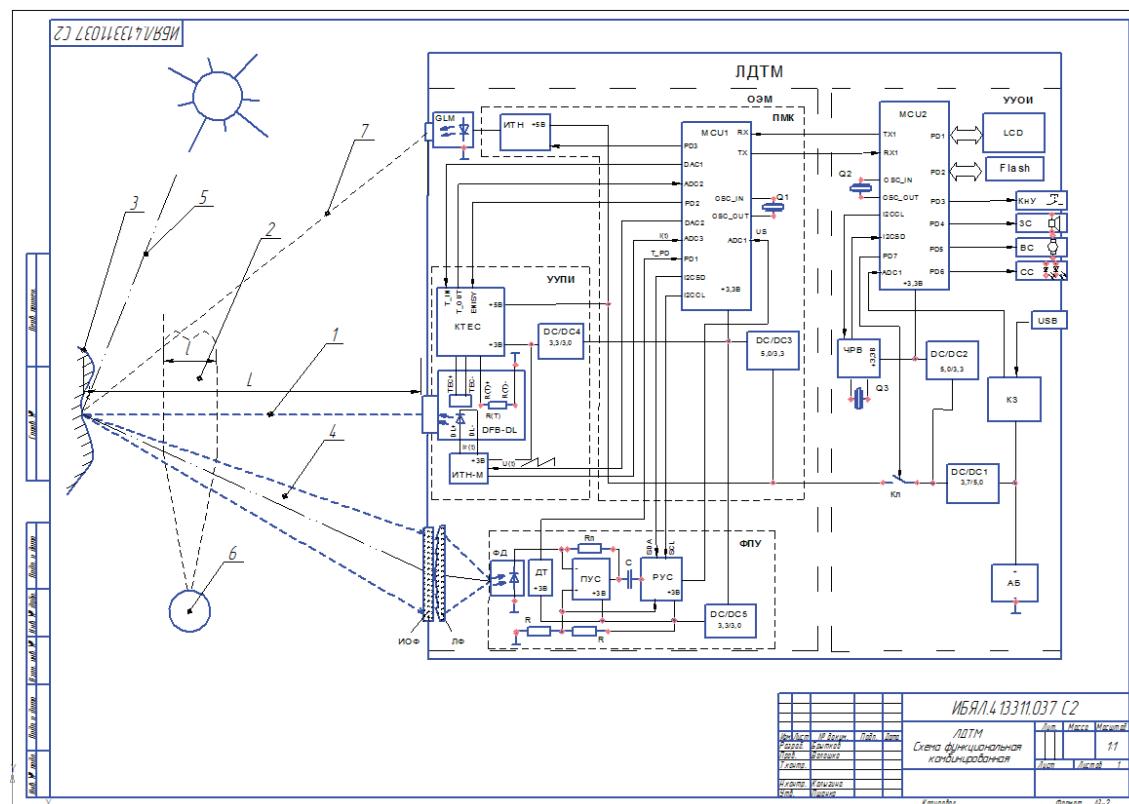


Рис. 2. Схема функциональная, иллюстрирующая взаимодействие электронных модулей

Заключение

Разработанный комплекс метрологических и схемотехнических решений для портативного TDLAS-детектора метана обеспечивает достижение целевой чувствительности 5 ppm·м при расширенной неопределенности

измерений $\pm 21\%$. Предложенные алгоритмы обработки сигнала и модульная архитектура электронных узлов позволяют компенсировать дрейфы параметров и обеспечивают стабильность работы прибора в условиях эксплуатации. Полученные результаты могут служить основой для перехода к этапу опытного изготовления и испытаний.

Литература:

- Козлов С. А., Анисимов В. Н. Методы и приборы для контроля загрязнения атмосферы. М.: Химия, 1991.
- Werle P. et al. Near-infrared diode laser absorption spectroscopy for chemical analysis of gas mixtures // Applied Physics B. 1993.

Схемотехническое проектирование люминесцентного датчика контроля кислорода

Баржеев Егор Викторович, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В работе представлено схемотехническое проектирование люминесцентного газоанализатора.
Определение функционала прибора

Исходя из полученных данных, для создания макетного образца нам потребуются следующие элементы:

- Микроконтроллер для обеспечения работы устройства
- Источник возбуждающего излучения
- Элемент способный регистрировать излучение люминесценции
- Элементы физического управления для удобства обращения с прибором
- Индикация для удобства считывания значения
- Порт для связи с ПЭВМ с целью вывода на него значений, программирования микроконтроллера и непосредственно для питания прибора.

Соответственно структурная схема прибора будет выглядеть следующим образом:

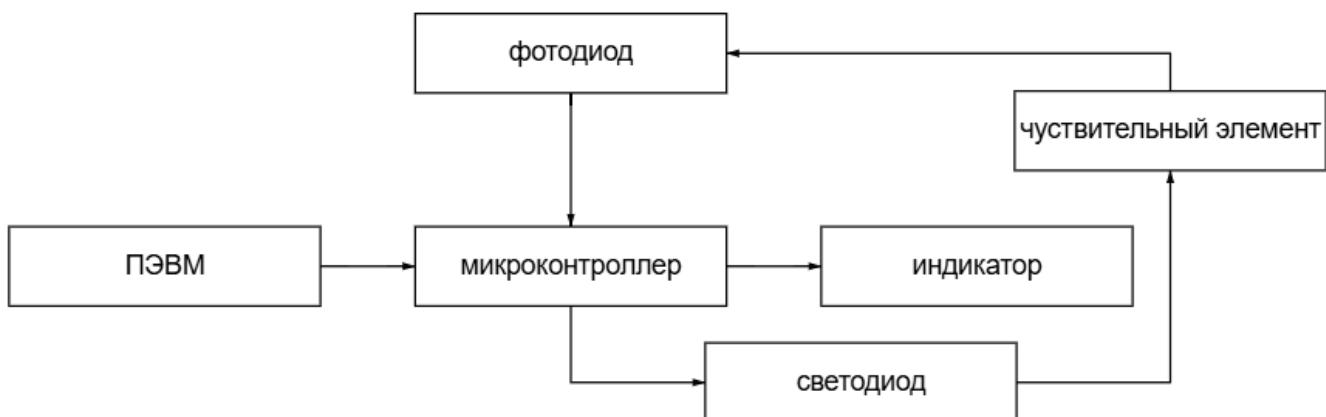


Рис. 1. Структурная схема прибора

Подбор комплектующих

Начнем с порта для нашего прибора, которым является micro USB. Несмотря на подавляющую популярность разъемов type-c, данный разъем был выбран из-за простоты его пользования. Именно micro USB обеспечит нам питание и возможность программировать микроконтроллер при помощи персональной электронно-вычислительной машины (далее — ПЭВМ). Питание ограничим 5В и 500mA для удобства. Выбранные значения обусловлены возможностью по

сей день очень распространённого и в тоже время самого простого USB TYPE-A 2.0. Необходимо это для того, чтобы не использовать дополнительный порт для прибора при подключении к ПЭВМ.

В качестве микроконтроллера выбор пал на популярный STM32F103CBT6.

Далее приступим к подбору элемента регистрации интенсивности излучения люминофора. На эту роль отлично подойдёт отечественный ФД-263.

Следующим элементом электрической схемы будет выступать источник возбуждающего излучения, а именно светодиод синего цвета с длиной волны ~450нм. На эту роль отлично подходит ТО-1608BC-BF. К его свойствам можно отнести прозрачную линзу из эпоксидной смолы, что дает более четкий и направленный луч света, прямое напряжение ~2.8–3.4В, прямой ток 20mA, и наконец длина волны ~ 465–470нм, что со всеми перечисленными свойствами вкупе делает его достойным источником возбуждающего излучения для нашей схемы.

Исходя из требований к функционалу прибора и предварительно подобранных комплектующих, необходимо добавить дополнительные элементы. Начнём с самовосстанавливающего предохранителя с максимальным током 500mA. Он не допустит подачи большего тока в схему, что может произойти при подключении прибора к блоку питания с избыточной мощностью. Затем, для того, чтобы преобразовывать данные с USB в UART необходим преобразователь интерфейсов, в работе был выбран CH340C. Его преимуществами являются наличие встроенного кварца, который обеспечивает стабильность синхронизации данных, и его форм-фактор чипа SOP-16, который позволяет его включить в состав платы прибора, в отличие от других преобразователей, что комплектуются сразу на плате в форм-факторе USB-flash.

Помимо прочего, для увеличения очень маленького тока, выдаваемого светодиодом необходим операционный усилитель. Отличным вариантом является MCP6001, который может похвастаться своим малым потреблением и выделением тепла.

Теперь возникает вопрос, как нам питать данный усилитель и логические элементы прибора. На эту роль замечательно подходит отечественный стабилизатор напряжения KP1158EH3,3В, что понизит напряжение до логических 3,3В и стабилизирует ток.

Далее, для управления разрядами необходимы логические элементы, так как питание напрямую от контроллера невозможно из-за опасности перегрузки по току и банальной нехватки незадействованных контактов МК. Для решения этой проблемы были выбраны три счётчика CD4026BE.

Далее, для управления общими анодами индикатора необходимо использовать полевые n-канальные транзисторы в силу того, что напряжение 3,3В, выдаваемое контроллером слишком мало для индикатора. Логический сигнал от микроконтроллера будет открывать транзистор, а он в свою очередь будет пропускать через себя 5В. Транзистор также необходим для управления интенсивностью свечения светодиода.

Схемотехническое проектирование было начато с создания условно-графических изображений для каждого элемента, включая конденсаторы и резисторы, которые служат дополнительной обвязкой для ограничения тока, задания сопротивления базы, формирования обратной связи, фильтрации тока и т. д.

После чего было произведено подключение элементов согласно их техническим требованиям и создание платы. Подробнее ознакомится с внешним видом платы и принципиальной схемы можно на Рис. 2, Рис. 3, Рис. 4 и Рис. 5.

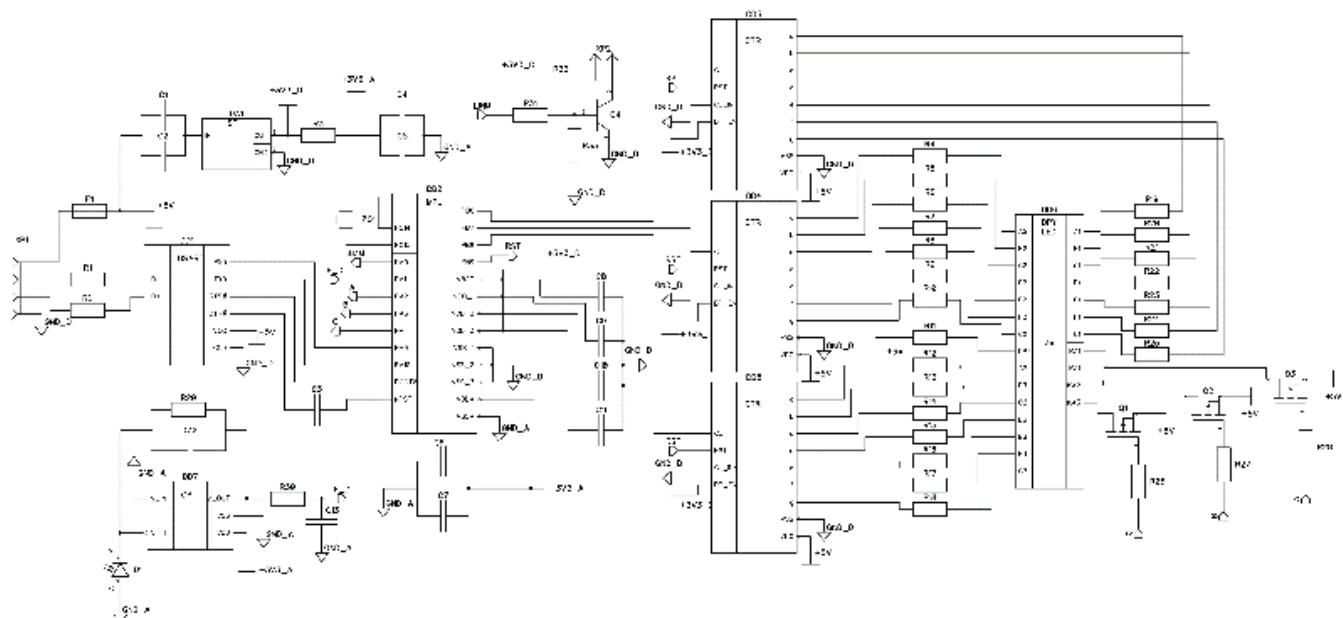


Рис. 2. Принципиальная схема прибора

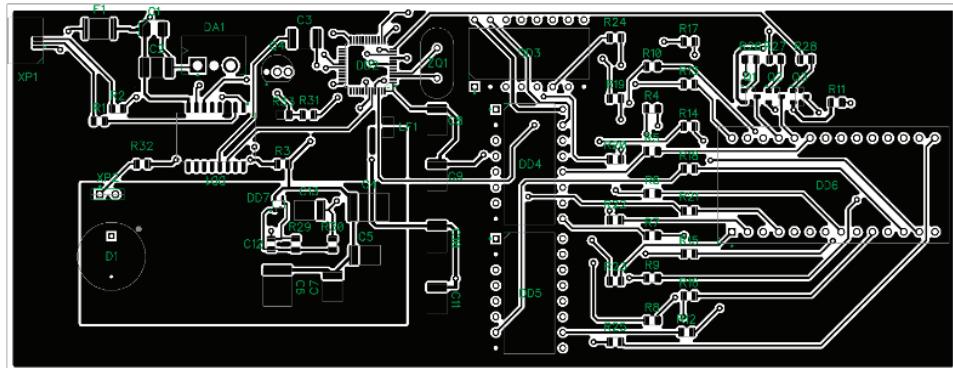


Рис. 3. Верхний слой платы прибора

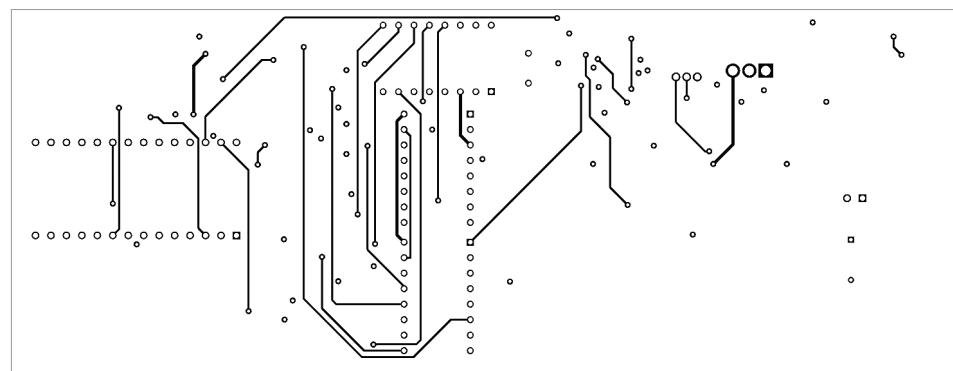


Рис. 3. Внутренний слой платы прибора

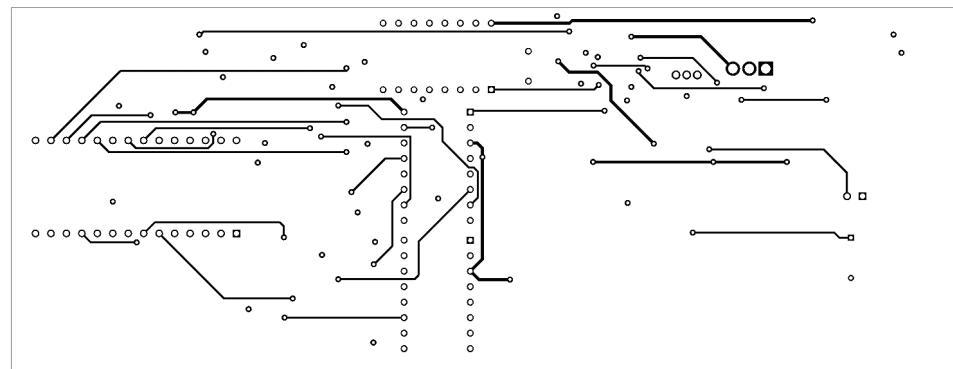


Рис. 4. Внутренний слой платы прибора

Литература:

1. Проектирование оптико-электронных приборов. Учебник. Под ред. Ю. Г. Якушенкова. — М.: Логос, 2000. — 488 с.
2. Якушенков Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов [Текст]: учебник для вузов / Ю. Г. Якушенков. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Логос, 2004. — 472 с.
3. Датчики: справочное пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полищук, Н. Д. Кошевой, Г. Г. Ишанин. — Москва: Техносфера, 2012. — 624 с. — ISBN 978-5-94836-316-5. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/73560>.
4. Горелик Д. О., Конопелько Л. А., Панков Э. Д. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. Учебник в 2-х томах. — СПб, 1998. Т. 1-735 с; Т. 2-592 с.
5. Чернин, С. М. Многоходовые системы в оптике и спектроскопии / Чернин С. М. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 240 с. — ISBN 978-5-9221-1221-5. — Текст: электронный // ЭБС «Консультант студента»: URL: <https://prior.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112215.html>

Особенности материалов и технологий аддитивного производства

Войнов Евгений Сергеевич, аспирант

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва (Ярославская область)

В работе представлено описание метода, изделий различной формы и их получения с применением аддитивных технологий с указанием основных положительных и отрицательных аспектов. Перечислены основные технологии аддитивного производства изделий с указанием специфики их применения.

Ключевые слова: аддитивные технологии, порошковые материалы, моделирование.

В современном производстве все более возрастает роль аддитивных технологий или 3D-печати — нового метода изготовления деталей. Обеспечение долговечности подобных деталей является важнейшей задачей конструкторов и инженеров-расчетчиков.

Использование 3D-печати [1] позволяет снизить стоимость деталей и приводит к сокращению сроков изготовления. Оба этих фактора представляют прикладной интерес для промышленных компаний в условиях высокой конкуренции. Кроме того, аддитивные технологии позволяют создавать детали, изготовление которых традиционными методами производства практически невозможно по технологическим или экономическим причинам.

Изготовленные на 3D-принтере [1] детали имеют предусмотренный срок службы, в течение которого должна быть обеспечена их механическая прочность и надежность. Обеспечение долговечности деталей является важнейшей задачей конструкторов и инженеров-расчетчиков.

Прочность любого изделия, созданного DED методом, в основном зависит от материала, из которого оно напечатано. Если это обычный пластик, то прочность простых изделий будет аналогична прочности изделий, изготовленных классической технологией литья.

Со сложными деталями [2], как правило, метод выигрывает, т. к. изделие печатается без склеек, спаек и лишних соединений. Например, в целях увеличения прочности и ресурса работы, металлические детали для камеры сгорания двигателя SpaceX SuperDraco созданы частично таким методом, иначе их можно получить только сваркой.

Что касается спектра материалов для 3D-печати, то их неограниченное множество и каждый день появляются новые [2].

3D-печать [3] еще несколько лет назад использовалась только для быстрого prototyping макетов, но сейчас все чаще применяется в серийном производстве деталей в различных областях промышленности: судостроении, авиакосмической отрасли, транспортном машиностроении, оборонно-промышленном комплексе. Использование 3D-печати позволяет снизить стоимость деталей и приводит к сокращению сроков изготовления. Оба этих фактора представляют прикладной интерес для промышленных компаний в условиях высокой конку-

ренции. Кроме того, аддитивные технологии позволяют создавать детали, изготовление которых традиционными методами производства практически невозможно по технологическим или экономическим причинам.

Аддитивные технологии [3] (англ. *Additive Manufacturing*) — технологии послойного наращивания и синтеза объектов. Широкое применение получили для так называемой *фаббер-технологии* (англ. *fabbert technology*, также распространено наименование «3D-печать») — группы технологических методов производства изделий и прототипов, основанных на поэтапном формировании изделия путём добавления материала на основу (платформу или заготовку).

Среди применений [3] аддитивных технологий наиболее востребовано производство функциональных изделий для нужд наиболее заинтересованных отраслей промышленности таких как авиакосмическая отрасль, автомобиле- и машиностроение, ВПК, медицина в части протезирования, то есть там, где существует острая потребность в изготовлении высокоточных изделий и их прототипов в кратчайшие сроки.

Данная технология позволяет изготовить детали с нуля, добавить сложные конструктивные элементы или оперативно осуществить ремонт изношенных частей изделий.

Возможность использования различных материалов

С помощью аддитивных [4] технологий порошки можно изменять или смешивать для создания специальных сплавов. Эту технологию также можно использовать для создания градиента между двумя разными материалами в одной конструкции, что позволяет добиться более высоких свойств материала детали.

Качество деталей

3D производит [5] детали высокой плотности с механическими свойствами, не уступающими или превосходящими характеристики сопоставимых литых или кованых материалов. Детали, изготовленные таким способом, также могут достигать формы, близкой к требуемой, что означает, что они не потребуют серьезной постобработки.

Применяемые материалы

3D-производство [5] обычно используется с металлами в форме порошка или проволоки, тем не менее, можно использовать с полимерами и керамикой. Например, некоторые производители работают с нитью из углеродного волокна для изготовления легких композитных деталей для конечного использования: термопластичная нить расплавляется источником тепла и уплотняется валиком для создания слоев объекта.

Практически любой металл, который поддается сварке, может использоваться в качестве исходного для аддитивных технологий.

К **недостаткам** технологий можно отнести следующие.

1. Отсутствие опорных конструкций

технология не позволяет создавать опорные конструкции, что ограничивает производство деталей с определенной геометрией, например, с выступами.

2. Стоимость

Литература:

1. Дежина И. Г., Пономарев А. К., Фролов А. С. Новые производственные технологии: публичный аналитический доклад. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. 272 с.
2. Назад из виртуальности [электронный ресурс]. URL: https://hi-tech.mail.ru/review/nazad_iz_virtualnosti/ (24.10.2019 г.).
3. Антонов А. А., Артемьев А. А., Соколов Г. Н. Разработка порошковой проволоки для дуговой наплавки износостойкого сплава // Сборник материалов VII международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». М.: ИМЕТ РАН, 2015, 953 с.
4. Журнал «Аддитивные технологии» № 4–2020.
5. Журнал «Упрочняющие технологии и покрытия» № 7–2020.

Исследование деформации и разрушения полимерных материалов при нагреве в задачах аддитивного производства изделий ракетно-космической техники

Григорьев Пётр Михайлович, студент;

Шайда Иван Юрьевич, студент

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

В работе представлены результаты экспериментального исследования реологических свойств полимерных материалов PLA, PETG, ABS и стандартной фотополимерной смолы, применяемых в аддитивных технологиях в ракетно-космической технике (РКТ). Проведены испытания при ступенчатом нагреве с фиксацией деформаций и характера разрушения материалов. Результаты исследования могут быть использованы при выборе материалов для аддитивного производства изделий и оснастки РКТ.

Ключевые слова: аддитивные технологии, полимерные материалы, реологические свойства, PLA, PETG, ABS, фотополимерная смола, ракетно-космическая техника, 3D-печать, мастер-модели

Введение

Аддитивные технологии всё шире применяются в ракетно-космической промышленности при изготовлении мастер-моделей, технологической оснастки, вспомогательных элементов и функциональных частей изделий. Их использование позволяет существенно сократить сроки проектирования, снизить стоимость прототипирования и повысить вариативность конструкций. Однако расширение области применения требует более глубокого понимания поведения полимерных материалов при воздействии температурных и механических нагрузок, характерных для условий производства изделий ракетно-космической техники [1].

В частности, при изготовлении мастер-моделей для литья по выплавляемым моделям и элементов оснастки важными являются температура стеклования, характер деформации при нагреве, устойчивость к ползучести, а также взаимодействие с металлическими элементами [2].

Цель работы — экспериментально исследовать свойства распространённых полимерных материалов и оценить их пригодность для использования в аддитивном производстве изделий и оснастки ракетно-космической техники.

Основная часть. В работе исследованы четыре материала [3, 4]:

1. PLA (полилактид, НИТ, РФ)
2. PETG (полиэтилентерефталат-гликоль, НИТ, РФ)
3. ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирол, НИТ, РФ)
4. Стандартная фотополимерная смола (ELEGOO, Китай)

PLA и PETG отличаются низкой усадкой и высокой точностью печати, но ограниченной термостойкостью. ABS обладает повышенной температурной устойчивостью и механической прочностью. Фотополимерная смола относится к реактопластам с хрупким разрушением при нагреве.

Общая конфигурация. Для испытаний была выбрана упрощенная форма образца — куб размером 50×50×50 мм с цилиндрическим отверстием диаметром 20 мм (рис. 1). Геометрия образца разработана таким образом, чтобы в ходе нагрева можно было наблюдать как общие, так и локальные деформации [5].



Рис. 1. Визуализация образца «Куб»

Габариты куба: 50×50×50 мм.

Сквозное цилиндрическое отверстие: Ø20 мм

Ориентация печати: вертикальная, с сохранением одинаковых условий для всех материалов.

Методика проведения испытания

1. *Печать образцов.* Применялись технологии печати FDM и SLA с заполнением 15 % и ориентацией слоёв, обеспечивающей сопоставимость между материалами.
2. *Предварительная сушка.*
3. *Контроль габаритных размеров.*
4. *Нагрев до температуры размягчения.* Образец помещался в лабораторную печь. Температура увеличивалась ступенчато.
5. *Выдержка 10 минут.* Образец выдерживался 10 минут при заданной температуре.
6. *Остыивание образца, повторный контроль размеров, фиксация результатов.* Образец охлаждался до комнатной температуры естественным образом.
7. *Нагрев до температуры деформации.* После первичной оценки образец снова помещался в лабораторную печь.
8. *Нагрев до температуры плавления.* Нагрев продолжался без остановки.
9. *Нагрев до температуры разрушения.* Образец доводился до температуры, при которой происходило полное разрушение структуры.

Все этапы фиксировались в протоколе испытаний, а также на фото и видео.

Результаты испытания. PLA сохраняет геометрию до ~70 °C, при 100 °C начинает интенсивно деформироваться и при температурах выше 200 °C переходит в вязкотекучее состояние. Это ограничивает его применение в условиях повышенных температур, но делает пригодным для мастер-моделей при контролируемых режимах (рис. 2).



Рис. 2. Ход испытания PLA

PETG демонстрирует термостойкость, сохраняя форму до ~100 °C, однако при дальнейшем нагреве проявляет выраженную тягучую деформацию и ползучесть. Это ограничивает применение в сложных узлах, но допускает использование в оснастке с умеренными режимами температур (рис. 3).



Рис. 3. Ход испытания PETG

ABS показал наибольшую устойчивость к нагреву среди термопластов: заметная деформация начинается при 120–140 °C. Это делает его предпочтительным материалом для изготовления технологической оснастки и функциональных вспомогательных элементов (рис. 4).

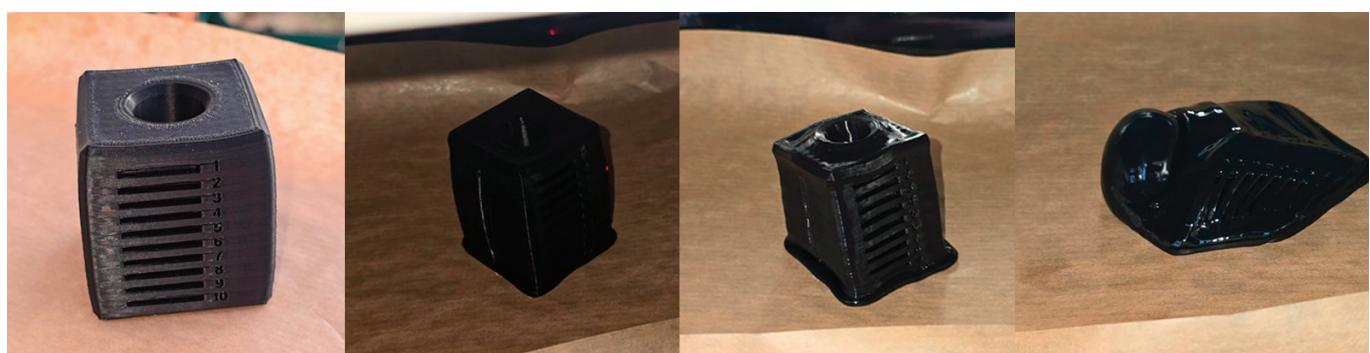


Рис. 4. Ход испытания ABS

Фотополимерная смола не переходит в вязкотекучее состояние, а разрушается хрупко с образованием трещин уже при сравнительно низких температурах. Это существенно ограничивает её применение в условиях теплового воздействия (рис. 5).



Рис. 5. Ход испытания фотополимерной смолы

Заключение

В результате выполненной работы исследованы реологические свойства распространённых полимерных материалов и дана оценка их применимости в аддитивном производстве изделий ракетно-космической техники. Установлено, что выбор материала должен учитывать характер деформации при нагреве, термостойкость и межслойную адгезию. PLA и PETG целесообразно использовать преимущественно для мастер-моделей и малонагруженных элементов, ABS — для технологической оснастки и функциональных вспомогательных деталей. Применение стандартных фотополимерных смол в условиях тепловых нагрузок ограничено. Полученные результаты могут быть использованы при выборе материалов и проектировании аддитивных изделий и оснастки в ракетно-космическом производстве.

Литература:

- Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Аддитивные технологии: 3D-печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. — М.: Техносфера, 2016. — 656 с.
- Кривошеев И. А., Смирнов В. В. Аддитивные технологии в машиностроении и приборостроении. — М.: Машиностроение, 2019. — 312 с.
- Техническая документация производителя НИТ. ABS, PLA, PETG: свойства и рекомендации по переработке. — НИТ, РФ, 2024.
- Technical Data Sheet. Standard Photopolymer Resin ELEGOO. — ELEGOO, 2023.
- ISO/ASTM 52900:2021. Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary. — ISO, 2021.

Основные принципы работы электронного ошейника «Антилай»

Кондрашов Егор Дмитриевич, студент магистратуры
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье обоснована актуальность и изложены основные принципы функционирования электронного ошейника «Антилай». Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки гуманных, безопасных и высокоэффективных средств коррекции поведения, исключающих ложные срабатывания за счет интеллектуального анализа акустического сигнала. Решением поставленной задачи является реализация алгоритмического ядра на основе микроконтроллера, обеспечивающего комплексное детектирование лая по частотным и времененным характеристикам, адаптацию к индивидуальным особенностям животного и применение прогрессивной стратегии корректирующего воздействия.

Ключевые слова: электронный ошейник, детектирование лая, акустический анализ, микроконтроллерное управление, адаптивный алгоритм, коррекция поведения, безопасность воздействия, частотный спектр, цифровая обработка сигнала.

Эффективность и безопасность любого устройства для коррекции поведения животных напрямую зависят от его способности точно идентифицировать целевое со-

бытие — в данном случае, звук лая. Существующие на рынке электронные ошейники зачастую демонстрируют общую проблему: недостаточную селективность акусти-

ческого детектора. Такие устройства могут реагировать на широкий спектр звуков, схожих по громкости с лаем — например, на громкие разговоры людей, звук проезжающего транспорта или лай других собак на расстоянии, что приводит к ложным срабатываниям, когда животное подвергается корректирующему воздействию без видимой для него причины [1]. Подобные ситуации не только снижают эффективность воспитательного процесса, но и вызывают у питомца стресс, дезориентацию и могут привести к формированию неврозов, так как логическая связь между его действием (лаем) и последствием (воздействием) для животного нарушается.

Вышеизложенное определяет ключевую актуальность исследований в области проектирования современных электронных ошейников, которая заключается в поиске и реализации оптимального компромисса между тремя основополагающими критериями: гуманностью, эффективностью и безопасностью [2]. Гуманность предполагает минимизацию стрессовых факторов, что достигается, прежде всего, высокой точностью детектирования и адекватностью воздействия. Эффективность означает надежное и быстрое прекращение нежелательного поведения за счет правильно подобранного типа и силы корректирующего сигнала. Безопасность гарантирует, что само воздействие, будь то звук, вибрация или электростимуляция, не нанесет животному физического или психологического вреда даже при многократном применении. Создание устройства, удовлетворяющего всем этим требованиям одновременно, является сложной инженерно-биологической задачей, решение которой лежит в области интеллектуальной обработки сигналов и адаптивного управления.

Целью настоящего исследования является теоретическое обоснование и предложение принципов построения алгоритмического ядра электронного ошейника, спо-

собного обеспечить указанный компромисс. Актуальность данной работы обусловлена потребностью в переходе от простых, пороговых систем к интеллектуальным устройствам, которые не просто механически реагируют на громкий звук, а способны анализировать акустическую обстановку, обучаться на особенностях поведения конкретного животного и применять дифференцированную стратегию воздействия, соответствующую контексту ситуации и интенсивности нежелательного поведения.

Основой для достижения поставленных целей — создания устройства, одновременно гуманного, эффективного и безопасного — является разработка интеллектуальной системы детектирования, способной отличить лай от фонового шума с высокой достоверностью. Для этого необходимо анализировать не просто уровень звукового давления (громкость), но и комплекс акустических характеристик, присущих именно лаю как биологическому сигналу.

Ключевыми параметрами для анализа являются частотный состав, динамические особенности (форма огибающей звука) и временная картина. Звук лая собаки представляет собой сложный непериодический сигнал, энергия которого сосредоточена в определенном частотном диапазоне. Наблюдения показывают, что этот диапазон, хоть и варьируется в зависимости от размера, породы и индивидуальных особенностей животного, в целом для большинства собак лежит в пределах от 150–200 Гц до 1,8–2,5 кГц. При этом лай мелких пород, как правило,мещен в область более высоких частот (800–1500 Гц и выше), в то время как лай крупных собак характеризуется более выраженными низкочастотными компонентами (200–600 Гц). Учет данного факта позволяет на этапе проектирования заложить базовые полосовые фильтры (рис. 1) [3], отсекающие как низкочастотные помехи (гул, гром), так и высокочастотные (писк, звон).

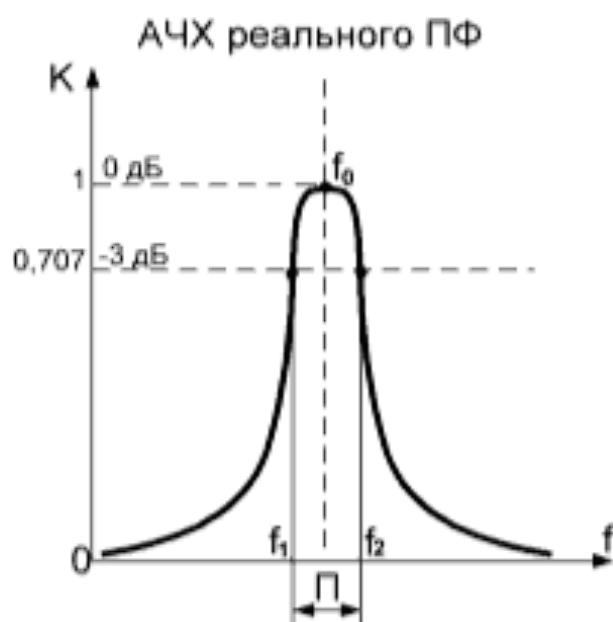


Рис. 1. АЧХ реального полосового фильтра

Для эффективной работы устройству требуется способность к адаптации и анализу более тонких признаков. Помимо основного частотного диапазона, важным признаком является структура лая: он часто представляет собой серию коротких звуковых импульсов (отдельных «гавков») с характерными паузами между ними. Алгоритм должен оценивать не только спектр одиночного звукового всплеска, но и его продолжительность, а также периодичность следования таких всплесков, что характерно именно для лая, а не для одиночного громкого звука. Кроме того, перспективным направлением является внедрение элементов самообучения

системы. При длительном использовании с конкретным животным алгоритм может уточнять «портрет» его лая, запоминая наиболее устойчивые частотные компоненты и динамические паттерны, тем самым постоянно повышая точность распознавания и снижая количество ошибок.

Таким образом, фундаментом для создания по-настоящему эффективного и гуманного ошейника «Антилай» служит не простой пороговый детектор громкости, а специализированный цифровой анализатор, реализующий многоуровневую проверку звукового сигнала на соответствие комплексу параметров, присущих лаю.

Литература:

1. Скопичев, В. Г. Поведение животных: учебное пособие / В. Г. Скопичев. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 624 с.
2. Разработка устройства для оценки эмоционального состояния собак-компаньонов на основе анализа вокализаций при тревожности и лае / А. В. Авилов, А. В. Avilov, A. C. Фомина [и др.] // Ветеринарная патология. — 2023. — № 3 (85). — С. 32–44.
3. Вильчинский, В. Р. Цифровая обработка сигналов. Альтернативные методы: учебное пособие для вузов / В. Р. Вильчинский. — Санкт-Петербург: Лань, 2025. — 56 с.

Проектирование устройства электронного ошейника «Антилай»

Кондрашов Егор Дмитриевич, студент магистратуры
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В данной статье выполнено обоснование актуальности и представлены результаты проектирования устройства электронного ошейника «Антилай» на уровне структурной схемы. Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания эффективных, безопасных и программируемых средств коррекции нежелательного поведения домашних животных, обеспечивающих автоматическое детектирование звука лая и адресное воздействие с целью его прекращения. Решением данной проблемы является проектирование интеллектуального микроконтроллерного устройства, обеспечивающего анализ акустической обстановки, классификацию звуков лая, выбор и генерацию корректирующего воздействия (звукового, вибромактильного, электростимулирующего) с адаптацией интенсивности, а также простое управление режимами работы.

Ключевые слова: электронный ошейник, коррекция поведения, детектирование лая, микроконтроллерное управление, адаптивное воздействие, акустический анализ, электростимуляция, вибромотор, программируемая логика.

Проектирование современных средств для коррекции поведения домашних животных, в частности для пресечения чрезмерного лая собак, представляет собой актуальную задачу, направленную на повышение уровня комфорта в городской среде, благополучия животного и сохранения добрососедских отношений [1]. Современные исследования и рыночные решения показывают, что многие существующие устройства могут обладать существенными недостатками, такими как низкая селективность срабатывания на посторонние шумы, использование только одного вида жесткого воздействия (чаще всего электростимуляция), отсутствие адаптивности и возможности тонкой настройки под индивидуальные особенности животного [2]. В отличие от них, интеллектуальная система, основанная на цифровом анализе звукового сигнала и реализации многоуровневой стратегии

воздействия, обеспечивает высокую избирательность, гуманность и эффективность. Актуальность разработки заключается в проектировании компактного, энергоэффективного и многофункционального устройства, которое совмещает в себе функции точной акустической диагностики, автоматического адаптивного регулирования и обеспечения безопасности воздействия.

Устройство электронного ошейника «Антилай» является прибором, решающим задачу автоматического пресечения лая собак путем генерации корректирующих сигналов. Целью настоящего исследования является проектирование программируемого микроконтроллерного устройства, обеспечивающего детектирование лая по заданным критериям и управление несколькими типами исполнительных модулей. Актуальность исследования обусловлена тем, что многие коммерческие аналоги либо

являются недостаточно селективными, вызывая стресс у животного ложными срабатываниями, либо не предусматривают гибкой прогрессии воздействия, что может снижать эффективность или, наоборот, излишне воздействовать на питомца. Одним из эффективных решений обозначенной проблемы является проектирование специализированного устройства на базе доступной микроконтроллерной платформы с алгоритмами цифровой обработки сигнала.

Предлагаемое устройство должно реализовывать следующие функции:

1) Высокоселективное детектирование звуков лая собаки на основе анализа частотного диапазона, амплитуды и длительности звукового сигнала для минимизации ложных срабатываний от других источников шума;

2) Реализация нескольких предустановленных режимов корректирующего воздействия: только звуковое предупреждение (зуммер), только вибrotактильное воз-

действие, только электростимуляция, а также комбинированные режимы;

3) Автоматическая адаптация интенсивности и типа воздействия в зависимости от интенсивности и продолжительности эпизода лая по принципу «от предупреждения к коррекции»;

4) Питание всей схемы от встроенного источника постоянного напряжения +12 В (аккумуляторная батарея) с интегрированным стабилизированным преобразователем для питания цифровой и исполнительной части.

Структурная схема предлагаемого устройства электронного ошейника «Антилай», удовлетворяющего обозначенным функциональным требованиям, представлена на рис. 1. Центральным управляющим элементом системы является микроконтроллер, который выполняет функции анализа сигнала, принятия логических решений, формирования управляющих сигналов и реализации алгоритмов адаптации [3].

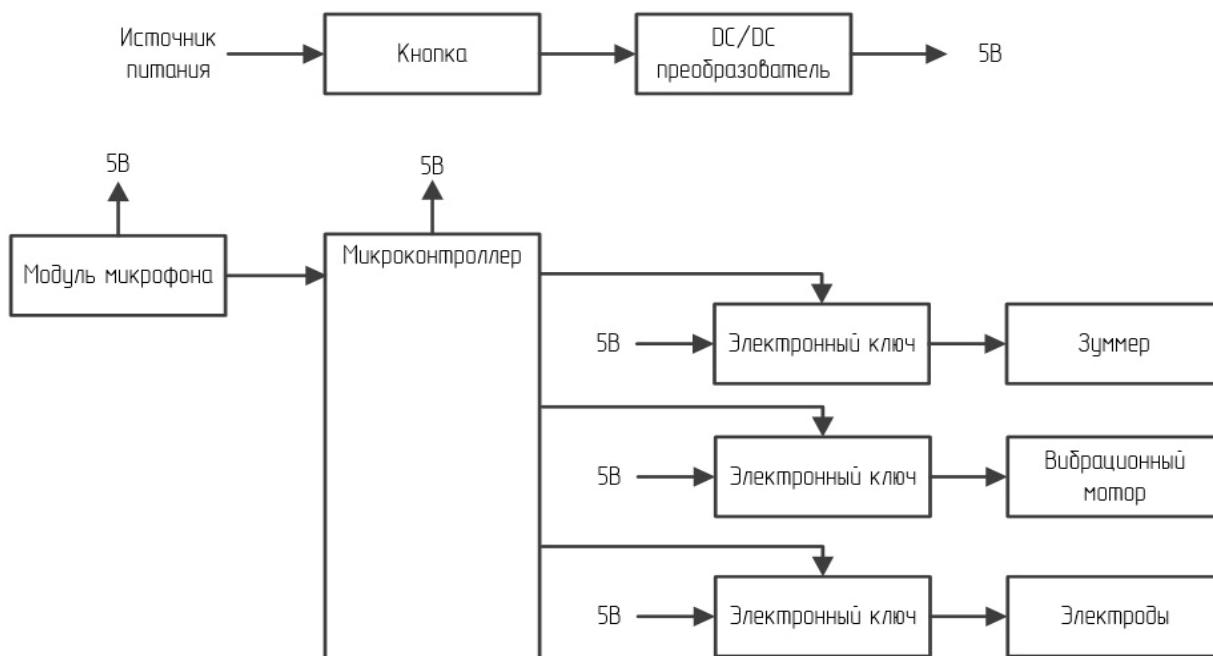


Рис. 1. Структурная схема устройства электронного ошейника «Антилай»

Модуль микрофона, подключенный к аналоговому входу микроконтроллера через усилительный и фильтрующий каскад, обеспечивает преобразование звуковых колебаний в электрический сигнал. Программные алгоритмы микроконтроллера выполняют цифровую обработку этого сигнала, выделяя ключевые признаки (доминирующая частота, уровень громкости, длительность), и производят его классификацию на предмет соответствия заранее изученным параметрам лая.

Блок управления состоит из трех электронных ключей на полевых транзисторах, управляемых цифровыми выходами микроконтроллера. Каждый ключ коммутирует цепь питания соответствующего исполнительного устройства: зуммера (звуковое воздействие), вибрационного мотора

(тактильное воздействие) и электродов (электростимулирующее воздействие). Использование электронных ключей обеспечивает гальваническую развязку слаботочной цифровой части и силовой нагрузки, обеспечивая необходимую нагрузочную способность. При этом интенсивность воздействия может быть установлена посредством подбора коэффициента заполнения импульсной последовательности на входе соответствующего электронного ключа.

Блок питания включает в себя первичный источник (+12 В), кнопку включения/выключения устройства и DC/DC-преобразователь, который стабилизирует входное напряжение и понижает его до уровня +5 В, необходимого для питания микроконтроллера, модуля микрофона и цепей управления ключами.

Логика работы устройства реализуется программно. При детектировании события, классифицированного как лай, микроконтроллер в соответствии с выбранным режимом и историей предыдущих воздействий за текущий эпизод активирует один или несколько силовых ключей. При этом продолжительность и интенсивность воздействия (например, скважность сигнала для вибромотора или электродов) могут программно наращиваться в случае продолжения лая, реализуя прогрессивную стратегию коррекции поведения домашнего животного.

Литература:

- Грищенко, В. В. Техника дрессировки собак: навыки послушания: учебное пособие для вузов / В. В. Грищенко. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 272 с.
- Кахикало, В. Г. Биологические и генетические закономерности индивидуального роста и развития животных: учебное пособие для вузов / В. Г. Кахикало, Н. Г. Фенченко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 132 с.
- Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. — М.: изд. Додэка-XXI, 2010. — 296 с.

Таким образом, предложена структура программируемого устройства электронного ошейника «Антилай», представленная соответствующей структурной схемой, на которой отражены ключевые функциональные модули и интерфейсы взаимодействия. Разработанное устройство позволяет эффективно и селективно пресекать нежелательный лай, обеспечивает гуманность и безопасность за счет многоступенчатой адаптивной системы воздействия, что способствует повышению эффективности процесса воспитания и улучшению качества жизни как питомца, так и его владельца.

Проектирование систем пробоподготовки для газоаналитического оборудования

Кученкин Илья Леонидович, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье рассматриваются ключевые аспекты проектирования систем пробоподготовки (СПП) для комплекта газоаналитического оборудования (КГО) на примере разработки комплекта для контроля содержания кислорода в забалластированном воздухе обжиговой машины. Обоснована необходимость многоступенчатой подготовки пробы, включающей механическую очистку, термостатирование и осушку. Приведены результаты выбора компонентов СПП, описана пневматическая схема газовых соединений и реализованные инженерные решения.

Современные промышленные технологические процессы, такие как обжиг окатышей в металлургии, предъявляют высокие требования к точности и надежности систем контроля газовых сред [1]. Ключевую роль в обеспечении безопасной и экономичной эксплуатации обжиговых машин играет непрерывный мониторинг содержания кислорода (O_2) в забалластированном воздухе — смеси атмосферного воздуха и рециркулирующих продуктов сгорания. Подача необработанной технологической пробы, содержащей механические примеси, пары влаги и имеющей нестабильные параметры температуры и давления, непосредственно в газоанализатор приводит к значительным погрешностям измерения, загрязнению чувствительных элементов и преждевременному выходу оборудования из строя [2]. Таким образом, проектирование СПП является критически важным этапом создания любого КГО. Целью данной работы является систематизация под-

ходов и описание практических решений по проектированию СПП на примере разработки КГО для контроля кислорода.

Исходными данными для проектирования служили основные требования технического задания:

- Анализируемый компонент: Кислород (O_2), 0–21 % об.д.
- Состав среды: Забалластированный воздух.
- Необходимость пробоподготовки: Обязательная (наличие пыли, влаги).
- Категория места отбора: Взрывобезопасная.

Выбор термомагнитного метода измерения (газоанализатор ГАММА-100) обусловил особое требование к глубокой осушке пробы, так как пары воды существенно влияют на магнитные свойства среды и могут конденсироваться в измерительной ячейке. На основе системного подхода был сформирован состав СПП, охватывающий полный цикл обработки пробы (таблица 1).

Таблица 1. Состав модуля пробоподготовки в КГО

№ п/п	Наименование оборудования	Назначение
1	Фильтр грубой очистки	Улавливание частиц размером > 50 мкм
2	Фильтр тонкой очистки	Улавливание аэрозолей и частиц размером 0.3–1 мкм
3	Холодильник воздушный	Пассивное предварительное охлаждение пробы
4	Термохолодильник TX-410	Активное охлаждение до точки росы (+4 °C), конденсация и удаление влаги
5	Перистальтический насос (ПН)	Откачка образовавшегося конденсата из дренажа холодильников
6	Побудитель расхода ПР-9	Создание и поддержание стабильного потока пробы
7	Регулировочные вентили и ротаметр	Точная настройка и визуальный контроль рабочего расхода (0.9±0.1 дм ³ /мин)
8	Кран трехходовой	Переключение потока с технологической пробы на линию калибровки (ГСО)

На основе определенного состава оборудования была разработана схема пневматических газовых соединений, представленная на рисунке 1. Технологический тракт организован по линейной схеме с рециркуляцией пробы и реализует следующие этапы:

Отбор и первичная очистка: Проба через взрывозащищенный шаровой кран поступает на фильтр грубой очистки.

Двухступенчатое охлаждение и осушка: Последовательное прохождение через воздушный холодильник (XB) и термохолодильник (TX). Это решение позволяет снизить нагрузку на TX-410 и гарантированно достичь температуры точки росы, необходимой для конденсации основной массы паров воды. Конденсат отводится перистальтическим насосом.

Стабилизация потока: подготовленная проба с помощью побудителя расхода и регулировочных вентилей подается с требуемым потоком.

Тонкая очистка и измерение: перед подачей в газоанализатор ГАММА-100 проба проходит фильтр тонкой очистки. После анализа газ сбрасывается в безопасную зону.

В схему интегрирована параллельная линия калибровки через трехходовой кран. Это позволяет подавать поверочные газовые смеси (ПГС) непосредственно к газоанализатору, минуя систему пробоподготовки.

Термохолодильник TX-410 выбран как активный элемент осушки. Его использование обусловлено требованием поддержания температуры пробы на входе газоанализатора ниже точки росы, что исключает конденсацию влаги в термомагнитной ячейке и обеспечивает заявленную погрешность измерения ±2.5 % для диапазона 0–21 % O₂.

Перистальтический насос для откачки конденсата обеспечивает чистоту процесса (отсутствие контакта среды с механическими частями насоса) и точное дозирование.

Дублирование источников потока (ПР-9 и ПН) повышает надежность системы. Их включение в схему осуществляется через реле времени с задержкой, что гарантирует выход термохолодильника на рабочий режим до начала прокачки пробы.

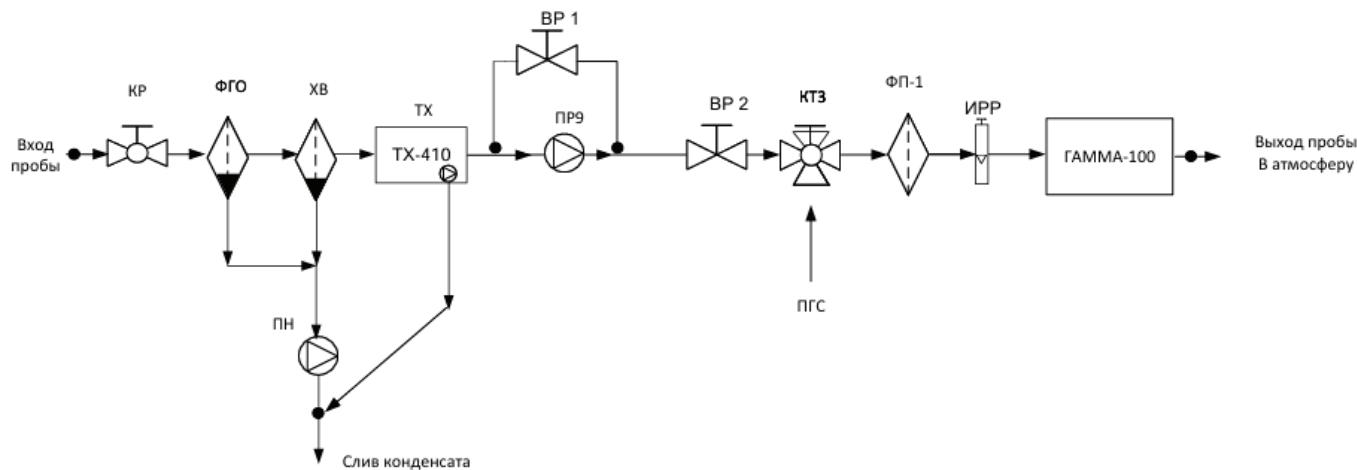


Рис. 1. Схема пневматических соединений

Литература:

1. Вартанов А. З., Рубан А. Д., Шкуратник В. Л. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг. М.: Горная книга, 2009.
2. ГОСТ Р 52931–2008. Приборы контрольно-измерительные. Общие технические условия.

Принципиальная схема пневматических газовых соединений как основа безопасного и точного технологического контроля

Кученкин Илья Леонидович, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

Эффективность и безопасность современных непрерывных технологических процессов, таких как обжиг окатышей в металлургии, напрямую зависят от достоверности и оперативности данных газового анализа [1]. Комплекты газоаналитического оборудования (КГО), выполняющие эти задачи, представляют собой сложные инженерные системы, интегрирующие узлы отбора, подготовки, анализа и отвода пробы. Сердцем такой системы, определяющим логику взаимодействия всех компонентов и последовательность технологических операций, является принципиальная схема газовых соединений. Её разработка выходит за рамки простого соединения аппаратов трубопроводами, она требует системного подхода, учитывающего химический состав среды, параметры технологического процесса, требования безопасности и метрологии. Целью данной работы является обобщение принципов и представление практических решений по разработке схемы на примере создания КГО для мониторинга кислорода в обжиговой машине.

Методология проектирования принципиальной схемы газовых соединений

Исходными данными для разработки послужили:

1. Состав и свойства анализируемой среды: забалластированный воздух (смесь воздуха и продуктов сгорания), содержащий механические примеси и пары влаги.
2. Требования к анализируемому компоненту: кислород (O_2) в диапазоне 0–21 % об.д., измеряемый термо-магнитным методом, что обусловило критическую важность глубокой осушки пробы.
3. Требования безопасности: взрывобезопасная категория места отбора.

Проектирование велось на основе принципа одноканальной системы с рециркуляцией пробы, обеспечивающей минимальное время отклика. Основной задачей стало проектирование тракта, гарантирующего приоритетную подготовку пробы перед её подачей на анализ, особенно в части осушки.

Описание и анализ разработанной принципиальной пневматической схемы

Схема представлена на рисунке 1. Газовая проба отбирается через взрывозащищенный шаровой кран и сразу поступает на первичную механическую очистку в фильтр грубой очистки, где удаляются крупные частицы. Затем поток направляется в систему осушки, которая состоит из двух последовательных ступеней: сначала пробы пассивно охлаждается в воздушном холодильнике, а затем активно доводится до необходимой температуры точки росы в термоэлектрическом холодильнике, что обеспечивает конденсацию и удаление паров влаги. Далее с помощью побудителя расхода формируется стабильный поток, который через трехходовой кран в положении «Анализ» поступает на фильтр тонкой очистки для окончательного удаления мельчайших примесей. После этого расход пробы визуально контролируется и точно регулируется с помощью индикатора-регулятора расхода, после чего подготовленная газовая смесь поступает в измерительную ячейку газоанализатора для определения концентрации кислорода. После анализа отработанная пробы безопасно отводится в систему сброса.

Режимы функционирования системы, реализуемые схемой

ПСГС предусматривает три основных режима работы, что обеспечивает её функциональную полноту.

Режим непрерывного анализа (штатный). Описан выше. Является основным режимом эксплуатации. Электрическая схема дополняет газовую, вводя задержку включения ПР-9 и ПН с помощью реле времени, гарантируя выход TX-410 на рабочий режим до начала пропуска пробы

Режим калибровки и поверки. Оператор переключает кран КТЗ в положение «Калибровка». Технологическая пробы отсекается шаровым краном КР. Через линию ГСО подается азот (нулевая точка) или поверочная смесь кис-

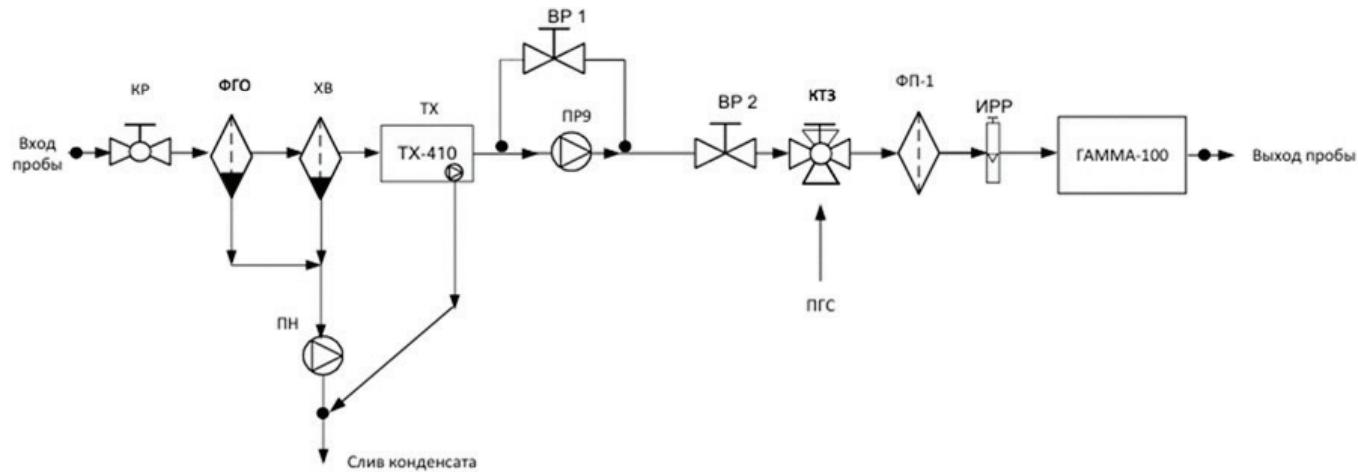


Рис. 1. Схема пневматических газовых соединений

лорода в азоте. Поток проходит непосредственно через КТЗ, фильтр тонкой очистки, ИРР и газоанализатор, минуя узлы грубой очистки и осушки. Данный режим обеспечивает метрологическую прослеживаемость и соответствует требованиям ГОСТ Р 52931–2008.

В работе на практическом примере продемонстрировано, что принципиальная схема газовых соединений является фундаментальным документом, определяющим не только конфигурацию, но и интеллектуальную составляющую системы технологического контроля.

Литература:

1. Вартанов А. З., Рубан А. Д., Шкуратник В. Л. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг. М.: Горная книга, 2009.
2. ГОСТ Р 52931–2008. Приборы контрольно-измерительные. Общие технические условия.

Снижение неопределенности в проектах автоматизации бизнес-процессов через унификацию перечня рисков

Маслова Наталия Александровна, аспирант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)

В статье исследуются риски, с которыми сталкиваются организации и ИТ-компании в ходе автоматизации бизнес-процессов, и предлагается метод управления типовыми рисками.

Ключевые слова: проекты автоматизации, бизнес-процессы, управление проектами, реестр рисков.

Автоматизация и цифровизация бизнес-процессов выступают важнейшими составляющими успешного развития современных организаций. Внедрение современных технологий способствует повышению эффективности управленческих и производственных операций, оптимизации использования ресурсов, снижению издержек и времени выполнения задач, а также улучшению качества продукции. Кроме того, цифровизация деятельности — ключевой фактор модернизации экономики России, повышения ее конкурентоспособности и обеспечения устойчивого развития. В этом контексте Правительство РФ активно способствует реализации инициатив по

внедрению цифровых технологий на всех уровнях экономики [1].

Инновационные и цифровые преобразования являются мощным двигателем развития экономики и общества, однако требуют ответственного подхода и грамотного управления для достижения устойчивых и положительных результатов. Положительные аспекты связаны с достижением технологического прогресса, формированием конкурентных преимуществ, развитием инновационной и цифровой культуры. Отрицательное воздействие связано с наличием значительных рисков и неопределенностей, высокими затратами на исследо-

вания и разработки, проблемами с интеллектуальной собственностью и др. [2, с. 17].

Проекты по автоматизации бизнес-процессов, разработке и внедрению программного обеспечения, созданию корпоративных информационных систем характеризуются высокой сложностью и большим объемом неопределенности, связанный с оценками сроков и стоимости. Затраты на ИТ (информационные технологии) и прочие сопутствующие услуги — существенная статья расходов любой компании. При этом ошибки, допущенные на этапе планирования процессов автоматизации, начальных этапах их реализации, часто обходятся компаниям дороже, чем запланированные изменения [3].

В ходе автоматизации бизнес-процессов предприятия, организация предпринимает комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности и оптимизацию внутренних операций. Типичная структура проекта автоматизации бизнес-процессов на предприятии представляет собой последовательность этапов, обеспечивающих минимизацию рисков и успешное внедрение. Последовательность и содержание этапов работ основаны на стандартных методологиях управления проектами [4] и существующих практиках [5], что обеспечивает структурированный подход к реализации проекта:

1. Анализ текущих бизнес-процессов — на начальном этапе проводится детальный аудит существующих процессов для выявления узких мест, избыточных операций и возможностей для автоматизации.

2. Формулирование целей и требований к системе автоматизации — на основе анализа формируются четкие цели автоматизации, а также определяются функциональные, технические и организационные требования к будущей информационной системе.

3. Разработка технического задания и выбор решения — на данном этапе разрабатывается техническое задание, охватывающее все ключевые параметры системы. После этого осуществляется выбор подходящей платформы или программного продукта (внутренней разработки или стороннего решения) и, при необходимости, исполнителя-подрядчика для выполнения работ по внедрению.

4. Проектирование и внедрение информационной системы — производится проектирование архитектуры системы, ее настройки и интеграция с существующими информационными ресурсами. После успешного тестирования осуществляется внедрение системы в производственную среду.

5. Обучение персонала и сопровождение — обучение сотрудников работе с новой системой является обязательным этапом, обеспечивающим ее эффективное использование. Также осуществляется мониторинг работы системы, ее обслуживание, обновление и оптимизация.

Недостаточное внимание к перечисленным этапам может привести к серьезным рискам при внедрении ИТ-решений и интеграции информационных систем. Научные и аналитические исследования выделяют клю-

чевые причины неудач автоматизации бизнес-процессов [3, 4, 7, 8]:

— Отсутствие четких целей и задач автоматизации, что приводит к несоответствию результатов ожиданиям.

— Неготовность бизнес-процессов предприятия к изменениям и автоматизации.

— Недостаток ресурсов, времени и бюджета из-за недооценки объема работ или изменений в ходе проекта.

— Проблемы коммуникации между заказчиком и исполнителем, включая отсутствие фиксации договоренностей и синхронизации отделов.

— Слабая вовлеченность руководства в реализацию проекта.

— Сопротивление изменениям со стороны сотрудников.

— Неправильный выбор технологии автоматизации или подрядчика.

Эти риски связаны с внутренними особенностями деятельности предприятия, организационной структурой, уровнем зрелости процессов и готовности к изменениям.

Помимо рисков со стороны предприятия при привлечении в процесс внедрения ИТ-решений подрядчика часто наблюдается расширение перечня рисков. Этот процесс обусловлен тем, что в реализацию проекта вовлечены не только риски, связанные с деятельностью предприятия-заказчика, но и дополнительные риски со стороны исполнителя, которые могут быть связаны с:

— Нехваткой трудовых или материальных ресурсов.

— Недостаточной квалификацией специалистов.

— Неправильной оценкой сроков и ресурсов.

— Ошибками при разработке, тестировании и внедрении систем.

— Недостаточным управлением проектом.

Одним из ключевых аспектов управления рисками на проектах автоматизации бизнес-процессов является понимание природы самих рисков. В большинстве случаев перечень возможных угроз и проблем не является уникальным для конкретного проекта, а представляет собой унифицированный перечень рисков, связанных с определенными видами работ, этапами реализации или организационными факторами. Эти риски имеют сходные признаки и сценарии развития, а значит могут быть описаны и обработаны через стандартизованные сценарии реагирования. Такой перечень рисков может стать отправной точкой для формирования шаблона реестра типовых рисков [4], который станет инструментом системного подхода к управлению рисками и будет способствовать успешному завершению проекта в рамках запланированных сроков, бюджета и качества.

Менеджмент риска [10] в проектной деятельности способствует систематическому выявлению потенциальных угроз и разработке мероприятий по их минимизации. В условиях высокой неопределенности управление рисками становится важнейшим фактором успешной реализации проекта. А знание типовых рисков отрасли и регулярное сравнение первоначальной оценки проектов

с фактическими результатами, позволит привязать перечень типовых рисков к видам работ и сформировать калькуляцию для первоначальной оценки сроков и стоимости будущего проекта в зависимости от его типа. Это позволит снизить наиболее часто встречающийся риск неверной оценки бюджета и сроков проекта.

Понимание того, что значительная часть рисков является неуникальной и связана с определенными видами работ и организационными аспектами, существенно

влияет на технологию управления проектами автоматизации бизнес-процессов. Вместо создания абсолютно уникальных сценариев для каждого проекта целесообразно сосредоточиться на формировании и использовании типовых моделей, что значительно повысит эффективность процессов оценки проекта, мониторинга и реагирования. Такой подход обеспечивает единые стандарты и минимизирует риски проектной деятельности ИТ-компаний и организаций, автоматизирующих свои бизнес-процессы.

Литература:

1. Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1301657597?ysclid=mkfr48k2x5300592127> (дата обращения: 15.01.2026).
2. Митяков Е. С., Куликова Н. Н. Управление инновационной деятельностью при обеспечении экономической безопасности. / Монография. — Москва: МИРЭА-Российский технологический университет, 2023. — 100 с
3. Гершанок А. А. Цифровизация бизнес-процессов: ключевые проблемы и ошибки внедрения // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-biznes-protsessov-klyuchevye-problemy-i-oshibki-vnedreniya> (дата обращения: 15.01.2026).
4. Project Management Institute. A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). 6th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2017. 756 с.
5. Ахмедов, А. Автоматизация бизнес-процессов: выгоды и риски / А. Ахмедов // Вестник науки. — 2025. — Т. 3, № 6(87). — С. 36–47. — EDN НАИАНУ.
6. Карпов Дмитрий Владимирович Проблемы внедрения ERP-систем // Вестник ННГУ. 2010. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vnedreniya-erp-sistem> (дата обращения: 15.01.2026).
7. Когда что-то пошло не так: топ-10 причин провала проекта по автоматизации // О малом бизнесе для малого бизнеса URL: <https://biz360.ru/materials/kogda-chto-to-poshlo-ne-tak-top-10-prichin-provala-proekta-po-avtomatizatsii/> (дата обращения: 15.01.2026).
8. 10 причин провала внедрения ERP // ERP Band URL: <https://blog.erp.band/10-prichin-provala-vnedreniya-erp/> (дата обращения: 15.01.2026).
9. Ян, Ч. Эффективность внедрения методик управления рисками в инновационных проектах: кейс-анализ и рекомендации / Ч. Ян // Экономическая безопасность. — 2025. — Т. 8, № 3. — С. 731–744. — DOI 10.18334/ecsec.8.3.122973. — EDN ВОММХР.
10. ГОСТ Р ИСО 31000–2019 Национальный стандарт Российской Федерации Менеджмент риска Принципы и руководство URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (дата обращения: 15.01.2026)

Обзор современных методов контроля загазованности

Морозов Руслан Андреевич, студент
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье автор исследует методы контроля загазованности рабочей зоны и обосновывает выбор NDIR-метода как оптимального решения для разработки датчика мониторинга метана.

Ключевые слова: контроль загазованности, NDIR-метод, инфракрасная спектроскопия, мониторинг метана, селективность, газоанализаторы, промышленная безопасность, методы газового анализа.

О保障е безопасности на промышленных объектах требует непрерывного контроля загазованности рабочей зоны горючими (метан, пропан, водород) и токсичными газами (CO, H₂S, NO₂). Скопление горючих газов до концентраций, близких к нижнему концентрационному пределу распространения пламени, приводит к взрывам и по-

жарам. Нормативные документы (ГОСТ, федеральные нормы и правила, стандарты ISO/IEC) требуют оснащения опасных объектов средствами непрерывного газового контроля. На этом фоне возрастаёт необходимость разработки надёжных, селективных и долговечных датчиков загазованности при минимальных эксплуатационных затратах [3, с. 15].

Методы контроля газов в рабочей зоне подразделяются на три группы: физические (основаны на измерении физических параметров смеси), физико-химические (используют химические реакции окисления или электрохимию) и химические (реакции с реагентами для разовых измерений). Для непрерывного автоматического мониторинга наибольшее распространение получили физико-химические и оптико-электронные методы.

Термокаталитические датчики реагируют на суммарное тепловыделение при окислении любого горючего газа, не различая конкретные компоненты. Их недостатки: низкая селективность, необратимое отравление катализатора серо-содержащими соединениями, зависимость от кислорода, срок службы 2–3 года.

Электрохимические датчики обладают высокой селективностью для токсичных газов, но для метана недостаточно чувствительны и селективны. Их ограничения: срок службы 1–3 года (деградация электролита), чувствительность к температуре, перекрёстные помехи, требуется кислород [2, с. 28].

Полупроводниковые датчики (на оксидах металлов) используются лишь в бытовых сигнализаторах — слабая селективность, высокий дрейф параметров, зависимость от влажности и температуры делают их непригодными для точных измерений.

Метан имеет выраженную полосу поглощения инфракрасного излучения в области 3,31 мкм, что позволяет использовать это как «спектральный отпечаток» для селективного обнаружения [1, с. 20].

Недисперсионный инфракрасный (NDIR) метод — это компактная реализация ИК-спектроскопии для промышленных датчиков. Вместо спектрального разложения используются узкополосные светофильтры. Широкополосный ИК-источник излучает через измерительную кювету с газом на двухканальный детектор. Электроника измеряет сигналы в измерительном (на длине волн поглощения метана 3,31 мкм) и опорном (на линии без поглощения метана) каналах, вычисляет их отношение и определяет концентрацию по закону Бугера–Ламберта–Бера, компенсируя влияние старения источника и загрязнения оптики [1, с. 21; 2, с. 26].

Сведем данные нашего исследования в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение методов контроля загазованности

	Термокаталитический метод	Электрохимический метод	NDIR метод
Селективность	30 %	70 %	90 %
Срок службы	2–3 года	1–3 года	10+ лет
Кислород необходим	Да	Да	Нет
Устойчивость к отравлению	20 %	60 %	95 %

На основании анализа NDIR-метод обеспечивает оптимальный баланс долговечности и стоимости владения.

Проведённое исследование показывает, что при выборе метода контроля загазованности необходимо учитывать не только начальную стоимость датчика, но и совокупную стоимость владения за весь период эксплуатации. NDIR-датчики, несмотря на более высокую первоначальную цену по сравнению с термокаталитическими сенсорами, демонстрируют значительные преимущества за счёт отсутствия расходуемых материалов, низких требований к калибровке и долгого срока службы. Это делает NDIR-решение экономически оправданным для промышленных объектов, где требуется надёжный контроль в течение многих лет [1, с. 23].

NDIR-датчик эффективно противостоит основным помехам:

- **Водяной пар** компенсируется двухканальной схемой — опорный канал улавливает влияние H_2O ;
- **Пропан и бутан** имеют близкие полосы поглощения, но правильный выбор фильтра минимизирует их влияние;
- **CO₂ и CO** не влияют на выбранной длине волны.

Основные преимущества NDIR для контроля метана:

- **Высокая селективность** благодаря уникальной полосе 3,31 мкм;
- **Долговечность** 10+ лет — отсутствие расходуемых материалов;
- **Независимость от кислорода** в контролируемой среде;
- **Помехоустойчивость** через двухканальную компенсацию.

Анализ методов контроля загазованности показывает, что недисперсионная инфракрасная спектроскопия обладает наилучшим комплексом свойств для построения надёжных датчиков метана. Выбор NDIR-метода технически и экономически обоснован сравнительным анализом по критериям селективности и надёжности.

Литература:

- Карпов И. А. Разработка недисперсионного инфракрасного газоанализатора для измерения динамики концентраций парниковых газов // Вестник МИФИ. — 2025. — Т. 12, № 1.
- Баранов А. М., Лагутин А. А. Современные тенденции в развитии сенсоров инфракрасного излучения для газового анализа // Датчики и системы. — 2021. — № 4.
- СТО Газпром 18000.3-022-2022 Система контроля безопасности. Рабочая зона. Контроль воздуха. Порядок организации и проведения контроля воздуха рабочей зоны. — М.: ПАО «Газпром», 2022.

Проектирование и выбор компонентной базы для NDIR-датчика метана

Морозов Руслан Андреевич, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье автор исследует методологию выбора оптимальной компонентной базы для NDIR-датчика метана, анализируя принципы отбора микротермоэлектрического источника излучения, пироэлектрического приемника и микроконтроллера на основе технических требований и сравнительного анализа альтернативных решений.

Ключевые слова: NDIR-датчик, недисперсионная инфракрасная спектроскопия, микротермоэлектрический источник, пироэлектрический приемник, синхронное детектирование, микроконтроллер ARM Cortex-M0, газоанализ, метан, детектирование загазованности.

Выбор оптимальной компонентной базы для NDIR-сенсора остается сложной инженерной задачей, требующей баланса между техническими характеристиками, стоимостью и энергопотреблением. NDIR-метод (недисперсионная инфракрасная спектроскопия) основан на избирательном поглощении инфракрасного излучения молекулами метана на характеристической длине волн 3,31 микрона. Система включает три ключевых компонента: ИК-источник, оптическую систему и фотоэлектрический приемник с микроконтроллерной обработкой сигнала, реализующий синхронное детектирование для компенсации внешних факторов.

Целью данной работы является представление систематического подхода к выбору оптимальной компонентной базы для NDIR-датчика метана с описанием принципов отбора основных элементов и обоснованием финального технического решения.

Микротермоэлектрический эмиттер является критическим компонентом NDIR-датчика. Для обнаружения метана необходим источник излучения в спектральном диапазоне 2–14 микрон (средняя инфракрасная область) [1, 2].

Микротермоэлектрический эмиттер 1600–9А выбран на основе следующих критериев:

Спектральный диапазон 2–14 микрон охватывает характеристическое поглощение метана и позволяет реализовать двухканальное детектирование с опорным каналом на соседней длине волн для компенсации помех [1].

Долговечность более 100 000 часов гарантирует срок службы датчика 5–7 лет при непрерывной работе, что удовлетворяет требованиям промышленного применения.

Широкополосное излучение обеспечивает устойчивость к запылению и частичному загрязнению оптиче-

ских элементов, что особенно важно для датчиков, работающих в промышленной среде.

Низкое энергопотребление позволяет обеспечить работу датчика от портативного источника питания.

Управление микротермоэлектрическим эмиттером критически зависит от стабилизации его температуры. В разработанной функциональной схеме используется блок управления LAMPCURRCONTROL, поддерживающий ток накала в диапазоне 150–200 мА, обеспечивающий стабильную спектральную характеристику источника независимо от условий окружающей среды [1].

Для регистрации ИК-излучения была проведена сравнительная оценка различных типов приемников, включая пироэлектрические, PIN фотодиоды, лавинные фотодиоды и микроболометры.

Выборпал на двухканальный пироэлектрический приемник PYS 3828 TC, обладающий следующими преимуществами:

Спектральная чувствительность в диапазоне 2,2–3,4 микрона идеально соответствует спектру метана и позволяет отличить его от других газов.

Встроенное усиление сигнала 50–100 В/Вт значительно снижает требования к внешним усилителям и упрощает схему обработки сигнала.

Невысокие требования к напряжению смещения (2–3 В) обеспечивают низкое энергопотребление приемника.

Двухканальная архитектура позволяет одновременно регистрировать сигнал на рабочей (3,31 мкм) и опорной (3,5 мкм) длинах волн, компенсируя влияние температуры, вибрации и колебаний интенсивности источника.

Широкий диапазон рабочих температур (-20 до +80 °C) обеспечивает надежную работу в различных климатических условиях [2].

Двухканальная синхронная демодуляция является принципиальным преимуществом такой архитектуры, позволяя повысить селективность датчика и стабильность измерений, недостижимую при использовании одноканальных приемников [2].

Обработка сигналов в NDIR-датчике требует высокоточного аналого-цифрового преобразования, управления периферией и реализации алгоритмов цифровой обработки сигнала, включая быстрое преобразование Фурье.

Микроконтроллер ATSAML22E17A-MUT (ARM Cortex-M0) выбран как оптимальное решение по следующим причинам:

Встроенное 12-битное АЦП с четырьмя каналами позволяет одновременно оцифровывать сигналы обоих приемников и вспомогательные датчики (температуры, напряжения питания).

Технология picoPower с потреблением в режиме сна 0,1 мА критична для портативных применений и обеспечивает длительное время автономной работы от аккумулятора.

Встроенный контроллер сегментного LCD позволяет подключить дисплей без дополнительных компонентов.

Система обработки событий синхронизирует работу аналоговых модулей, обеспечивая точное совпадение временных окон измерения на обоих каналах приемника.

Низкая стоимость делает решение конкурентоспособным на рынке.

Альтернативные варианты (STM32L, Nordic nRF52, MSP430) либо имели избыточную функциональность и стоимость, либо лишиены необходимой поддержки SLCD, либо недостаточно производительны для требуемых алгоритмов обработки [1, 3].

Выбранная компонентная база (микротермоэлектрический эмиттер 1600–9A, пироэлектрический приемник PYS 3828 TC и микроконтроллер ATSAML22E17A-MUT) обеспечивает оптимальный баланс между техническими характеристиками, энергопотреблением и стоимостью для NDIR-датчика метана. Двухканальное синхронное детектирование с микроконтроллерной обработкой сигнала обеспечивает высокую селективность, стабильность и надежность в широком диапазоне условий окружающей среды. Разработанная архитектура датчика готова к внедрению в промышленной практике для контроля загазованности рабочих зон.

Литература:

1. Брюэль К., Кьер М. Датчики: Справочное пособие. М.: Техносфера, 2004. 472 с.
2. Городов Ю. И., Кулинцев В. К. Газоаналитические приборы и системы. М.: МГТУ им. Баумана, 2000. 488 с.
3. Microchip Technology. ATSAML22E17A-MUT Datasheet. [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.microchip.com/>

Умные города: стандарты, когнитивно-информационные технологии и их приложения

Оганесян Виталий Ашотович, студент магистратуры

Научный руководитель: Климова Дарья Николаевна, кандидат педагогических наук, доцент
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону)

В статье рассматриваются основные стандарты, используемые в умных городах, а также технологии, способствующие интеграции и управлению городской инфраструктурой. В последние годы концепция умных городов стала ключевым подходом к решению глобальных задач освоения городских пространств и управления городской инфраструктурой. Когнитивно-информационные технологии играют важную роль в повышении эффективности городских систем, улучшении качества жизни жителей и обеспечении устойчивого развития городов.

Ключевые слова: умные города, когнитивно-информационные технологии, устойчивая городская инфраструктура, кибербезопасность.

Smart cities: standards, cognitive information technologies and their applications

Oganesyan Vitaly Ashotovich, master's student

Scientific advisor: Klimova Darya Nikolaevna, candidate of pedagogical sciences, associate professor
Don State Technical University (Rostov-on-don)

In recent years, the concept of smart cities has become central to addressing global urbanization challenges and managing urban infrastructure. The use of cognitive-informational technologies plays a key role in improving the efficiency of urban systems, enhancing citizens' quality of life, and promoting sustainable development in cities.

Keywords: smart cities, cognitive-informational technologies, sustainable urban infrastructure, cybersecurity.

Умные города сегодня — это интегрированные цифровые и технологические экосистемы, направленные на повышение качества жизни жителей, устойчивое развитие и эффективное управление ресурсами. Они используют передовые информационные технологии, Интернет вещей (IoT), большие данные и искусственный интеллект для автоматизации и оптимизации городской инфраструктуры.

Стандарты играют ключевую роль в развитии умных городов, обеспечивая совместимость, безопасность и эффективность внедряемых технологий. Без общих норм и правил интеграция различных систем была бы крайне сложной и неэффективной.

В статье К. В. Макаренко и Л. В. Олеговны рассматривается концепция умного города с акцентом на стандарты, ключевые проблемы и перспективы его развития.

Концепция «умного города» постепенно внедряется в России, но при этом возникает ряд важных проблем. Главная из них — отсутствие единых и согласованных стандартов, которые могли бы объединить разные технологии и системы. Сейчас Минстрой РФ разрабатывает стандарты, которые регулируют проектирование и эксплуатацию городской инфраструктуры, однако они охватывают только часть цифровых процессов. Из-за этого многие информационно-технологические системы не могут полноценно работать вместе, что тормозит развитие умных городов.

В статье В. И. Дрожжинова, В. П. Куприяновского, Д. Е. Намиота, С. А. Синягова и А. А. Харитонова анализируется стандартизация умных городов с разных сторон — научной, хозяйственной и информационно-технологической. Авторы дают различные определения умного города, классифицируя их по ключевым признакам. Это помогает чётко определить цели создания умных городов и основные направления их развития. Особое внимание удалено описанию 8 критических факторов, влияющих на внедрение инициатив в сфере умных городов. Такой комплексный подход создаёт основу для успешной реализации концепции умных городов в российских условиях.

Чтобы развивать умный город, нашим руководителям и лидерам необходимо изучать сферу цифровых технологий в различных сферах деятельности, чтобы предложить лучшие условия для жизни. В статье Бурого А. С. и Ловцова Д. А. выделяются ключевые характеристики умного города — устойчивость, развитый городской сектор, интеллектуальность и высокое качество жизни. Об успешности создания умного города говорит прежде всего применение современных технологий, совершенствование методов работы и инновации, направленные на удовлетворённость граждан и адаптацию к рынку потребления.

В статье В. В. Вагина и В. Д. Сафоновой анализируется концепция «умного города» с акцентом на роль гражданского участия в его формировании. Авторы критикуют до-

минирующий технологический и неолиберальный подход, при котором интересы бизнеса и государственного управления вытесняют потребности и права горожан. Подчёркивается, что без вовлечения граждан умные города рискуют усилить цифровое неравенство, подорвать демократию и игнорировать социально значимые проблемы, не поддающиеся техническому решению. Отмечается, что в России вопросы гражданского участия в умных городах почти не рассматриваются, несмотря на наличие соответствующих практик.

Статья П.А Замшина и С. А. Фалеева посвящается анализу концепции «умного города» на примере стратегии «Умный город 2030» в Москве. Авторы подробно описывают ключевые элементы умного города — от интернета вещей (IoT) и цифровых платформ до систем управления транспортом, ЖКХ, здравоохранением и безопасностью. В перспективе до 2030 года планируется внедрение передовых технологий, таких как нейросети, беспилотный транспорт, и единый цифровой идентификатор. Статья представляет собой технократический взгляд на развитие умного города, подчеркивая его потенциал для повышения эффективности управления и качества жизни.

Статья П. Чунби представляет собой обзорную статью, посвящённую концепции «умного города» в контексте глобального технологического развития и особенностей её внедрения в Китае. Автор подчёркивает, что умный город — это не просто метафора, а практическая стратегия, основанная на интеграции интернета вещей, облачных вычислений, широкополосных сетей и других ИКТ для повышения эффективности городского управления и качества жизни. Особое внимание уделяется вызовам урбанизации: росту населения, дефициту ресурсов и необходимости устойчивого развития, на которые «умный город» предлагает технологические решения. Статья отражает официальную китайскую перспективу, где умный город рассматривается как инструмент конкурентоспособности и модернизации.

Статья Е. А. Костиной представляет собой систематизированный анализ потенциальных угроз, сопровождающих цифровую трансформацию городской среды. Автор выделяет шесть ключевых групп рисков: технологические, экономические, управленические, институциональные, и экологические. Особое внимание уделяется актуальным для России проблемам — технологическому суверенитету и уязвимости на фоне санкций. Автор призывает к комплексному, междисциплинарному подходу при разработке стратегий умного города, учитывая уникальность каждого населённого пункта. В заключение делается вывод о необходимости не просто внедрять технологии, а выстраивать устойчивую, инклюзивную и безопасную городскую экосистему.

Подводя итог, можно говорить о том, что концепция «умного города» активно развивается в России и за ру-

бежом, однако её реализация сопряжена с рядом серьёзных рисков. Наиболее очевидны технологические угрозы: зависимость от иностранных решений, особенно остро проявившаяся на фоне санкций, а также уязвимость киберинфраструктуры к хакерским атакам и сбоям. Утечки персональных данных и недостаточная защита цифровых систем подрывают доверие граждан и ставят под угрозу функционирование критически важных городских служб.

Прежде всего, умные города повышают эффективность управления городской инфраструктурой — за счёт интернета вещей, больших данных и искусственного интеллекта оптимизируются транспортные потоки, системы ЖКХ, здравоохранения, образования и безопасности.

Это напрямую улучшает качество жизни горожан: сокращаются очереди, снижаются пробки, растёт доступность госуслуг, а городская среда становится более комфортной и безопасной.

Важным плюсом является и потенциал для расширения гражданского участия: цифровые платформы, открытые данные и онлайн-инструменты могут вовлекать жителей в принятие решений, делать управление более прозрачным и ориентированным на реальные потребности населения. Таким образом, при грамотной реализации умный город становится не просто технологичным, но и более человечным, инклюзивным и устойчивым пространством для жизни.

Литература:

- Макаренко К. В., Логиновская В. О. «Умный город»: стандарты, проблемы, перспективы развития // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». — 2019. — Т. 19, № 3. — С. 165–171.
- Дрожжинов В. И., Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А., Харитонов А. А. Умные города: модели, инструменты, рэнкинги и стандарты // — 2017. — Т. 5, № 3. — С. 19–48
- Бурый А. С., Ловцов Д. А. Информационные технологии цифровой трансформации умных городов // Правовая информатика. — 2022. — № 2. — С. 4–13.
- Вагин В. В., Сафонова В. Д. Умный город и гражданское участие // Городские исследования и практики. — 2021. — Т. 6, № 3. — С. 87–99.
- Замшин П. А., Фалеев С. А. «Умный город» на примере г. Москвы. — 2020. — № 4. — С. 549–554.
- Пэн Чунби. Новые точки для развития умного города // Экономика и социум. — 2020. — № 11. — С. 1200–1205.
- Костина Е. А. Риски умного города // Мир экономики и управления. — 2023. — Т. 23, № 2. — С. 108–125.

Сравнительный анализ влияния гранулометрического состава оксида церия на шероховатость поверхности оптического стекла K8

Погонченков Илья Владимирович, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В работе представлены результаты исследования, направленного на установление количественной связи между гранулометрическим составом оксида церия и параметрами шероховатости поверхности оптического стекла K8 после полировки. В ходе эксперимента были протестированы пять типов абразивных порошков CeO_2 с медианным размером частиц d_{50} от 0,8 до 5,2 мкм. Методами атомно-силовой микроскопии и профилометрии установлено, что минимальная шероховатость $Ra = 0,8\text{--}1,2 \text{ нм}$, $Rz = 8\text{--}10 \text{ нм}$ достигается при использовании абразива с узким фракционным распределением и $d_{50} = 1,2\text{--}1,8 \text{ мкм}$. Показано, что отклонение от данного промежутка в сторону увеличения размера частиц приводит к механизму тонкого шлифования с формированием дефектного рельефа, а в сторону уменьшения — к агломерации частиц и снижению эффективности процесса. Результаты работы имеют практическую значимость для оптимизации технологических режимов финишной обработки высокоточной оптики.

Ключевые слова: оптическое стекло K8, полировка, оксид церия, гранулометрический состав, шероховатость.

Оптическое стекло марки K8 широко применяется в производстве линз, призм, объективов и других компонентов для видимой и ближней ИК области спектра. Ключевым параметром, определяющим функциональные характеристики таких элементов — светопропускание, рас-

сечение, контраст и разрешающую способность, — является качество их поверхности после финишной полировки [2].

Традиционным и наиболее эффективным материалом для полировки силикатных стекол является оксид церия CeO_2 . Его высокая эффективность обусловлена уни-

кальным сочетанием химической активности по отношению к диоксиду кремния и определенных механических свойств. Однако результат полировки в решающей степени зависит не только от химического состава, но и от физических характеристик абразивного порошка, среди которых гранулометрический состав занимает центральное место [3]. Гранулометрический состав определяет количество и характер контактов частицы с обрабатываемой поверхностью, влияя как на скорость съема материала, так и на формирование микрорельефа.

Несмотря на существование обширной практики применения CeO_2 , в научно-технической литературе наблюдается дефицит систематических исследований, устанавливающих четкую количественную зависимость между дисперсностью абразива и измеримыми параметрами шероховатости для конкретных марок стекла.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа влияния контролируемого гранулометрического состава оксида церия на шероховатость поверхности оптического стекла K8 и установление оптимального диапазона размеров частиц для достижения нанометрического качества поверхности.

В качестве объектов исследования использовались заготовки из оптического стекла K8 диаметром 30 мм и толщиной 5 мм. Все образцы перед серией экспериментов проходили идентичную подготовку: шлифовку микропорошком M10 до получения однородной матовой поверхности с приблизительной шероховатостью $Rz \approx 3 \text{ мкм}$.

Были подготовлены пять вариантов полирующей суспензии на основе оксида церия различного гранулометрического состава. Основные характеристики абразивов представлены в Таблице 1. Концентрация твердой фазы во всех суспензиях составляла 20 % в деионизированной воде. Для предотвращения агломерации суспензии подвергались ультразвуковой обработке в течение 10 минут непосредственно перед применением.

Полировка осуществлялась на одностороннем полировальном станке с использованием жесткого войлочного полировальногоника. Для обеспечения сопоставимости результатов были строго зафиксированы технологические параметры: давление на образец — 30 $\text{г}/\text{см}^2$, скорость вращения полировальногоника — 60 об/мин, время полировки — 30 минут. Подача суспензии была непрерывной.

Таблица 1. Характеристики абразивных суспензий

Образец	d_{50} , мкм	d_{10-d90} , мкм	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$
$\text{CeO}_2-\Gamma$	5,2	2,1–12,5	0,9
CeO_2-C	3,0	1,5–6,8	1,5
CeO_2-2	2,1	1,2–3,5	2,2
$\text{CeO}_2-1,5$	1,5	1,0–2,2	3,0
$\text{CeO}_2-\text{Cб}$	0,8	0,3–2,0	5,5

Гранулометрический состав исходных порошков контролировался методом лазерной дифракции на анализаторе частиц. Для оценки шероховатости применялся комплексный подход:

Контроль параметров Rz и Ra проводился с помощью контактного профилометра. Длина базовой линии — 4,8 мм, скорость сканирования — 0,5 $\text{мм}/\text{с}$. Для каждого образца снималось 5 профилей в различных направлениях.

Так же выполнялся на атомно-силовом микроскопе в полуконтактном режиме. На основе полученных АСМ-изображений определялся ареальный параметр шероховатости Sa (среднее арифметическое отклонение поверхности), а также строились карты распределения высот и 3D-модели поверхности.

Оценка скорости съема материала определялась путем десятикратного взвешивания образцов на аналитических весах до и после полировки с пересчетом на удаленный объем.

Результаты

Результаты измерений параметров шероховатости и скорости съема материала сведены в Таблицу 2. Данные

наглядно демонстрируют наличие выраженного минимума в зависимости качества поверхности от размера частиц абразива.

Выводы

1. Методами профилометрии и АСМ установлена и количественно оценена сильная зависимость шероховатости поверхности оптического стекла K8 от среднего размера частиц полирующего оксида церия. Наилучший результат $Ra=1.0 \pm 0.2 \text{ нм}$, $Sa=1.3 \pm 0.3 \text{ нм}$ достигается при использовании абразива с $d_{50} = 1.5 \text{ мкм}$ и узким фракционным распределением $d_{90}/d_{10} \approx 2.2$.

2. Обнаружен и объяснен отрицательный эффект применения субмикронных порошков $\text{CeO}_2 d_{50} = 0.8 \text{ мкм}$, заключающийся в увеличении шероховатости на 50–80 % относительно оптимального значения из-за явления агломерации частиц в рабочей суспензии.

3. Установлено, что использование абразивов с $d_{50} > 3 \text{ мкм}$ переводит процесс из режима полировки в режим тонкого шлифования, что приводит к формированию дефектного микрорельефа с высокой величиной $Rz > 45 \text{ нм}$, неприемлемого для точной оптики.

Таблица 2. Параметры процесса и результаты полировки

Образец	d50, мкм	Ra, нм	Sa, нм	Скорость съема, мкм/мин
CeO ₂ -Г	5,2	18,5 ± 3,2	21,3 ± 4,1	1,8
CeO ₂ -С	3,0	6,2 ± 1,1	7,8 ± 1,5	1,2
CeO ₂ -2	2,1	2,5 ± 0,4	3,1 ± 0,6	0,8
CeO ₂ -1,5	1,5	1,0 ± 0,2	1,3 ± 0,3	0,5
CeO ₂ -Сб	0,8	1,8 ± 0,5	2,4 ± 0,7	0,1

Полученные результаты носят практико-ориентированный характер и могут служить основой для выбора гранулометрического состава оксида церия на различных стадиях

технологического процесса изготовления оптических деталей из стекла К8, направленного на достижение требуемого качества поверхности при оптимальной производительности.

Литература:

- ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. — М.: Издательство стандартов, 1974.
- Семибраторов М. Н. Технология обработки оптических деталей. — М.: Машиностроение, 1975.
- Ходаков Г. С. Физико-химические процессы полирования оптического стекла. — М.: Машиностроение, 1985.

Влияние химической активности полировального порошка CeO₂ на скорость финишной обработки сферических поверхностей

Погонченков Илья Владимирович, студент
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния химической активности оксида церия CeO₂, определяемой его чистотой и процентным содержанием, на скорость финишного химико-механического полирования сферических поверхностей из оптического стекла К8. Проведено сравнение отечественного порошка «Модипол А» и европейского аналога «Cerox 1663» в идентичных технологических условиях групповой обработки. Установлено, что образец с более высоким содержанием активного CeO₂ 60–70 % демонстрирует на 13 % более высокую скорость съема материала и достижения заданного класса чистоты по сравнению с образцом, содержащим 41–45 % CeO₂. Результаты подтверждают доминирующую роль химической составляющей в механизме полирования и обосновывают выбор абразива на основе комплексного технико-экономического анализа, где более высокая стоимость активного материала компенсируется ростом производительности и выхода годной продукции.

Ключевые слова: химико-механическое полирование, оксид церия, оптическое стекло К8, скорость обработки, химическая активность, шероховатость.

Финишное полирование оптических поверхностей является критически важной и наиболее наукоёмкой операцией в технологической цепочке изготовления высокоточное оптики. Достижение нанометровой шероховатости и точности формы в доли длины волны света требует реализации эффективного химико-механического механизма, в котором химическое модифицирование поверхностного слоя материала предшествует его механическому удалению [1, 2]. Для силикатных стёкол, к которым относится широко применяемое в оптике стекло марки К8, эталонным абразивом для такого процесса является оксид церия CeO₂. Его эффективность традиционно связывают с уникальным сочетанием оптимальной твёрдости и высокой химической активности по отношению к SiO₂, основе стекольной сетки.

Однако на рынке присутствуют различные марки полировального церия, отличающиеся как по цене, так и по ключевым характеристикам: гранулометрическому составу, чистоте и, что наиболее существенно, по процентному содержанию активного материала оксида церия. В условиях импортозамещения актуальной становится задача объективной оценки того, как именно химическая активность, количественно выражаемая в содержании CeO₂, влияет на практическую эффективность обработки, в первую очередь, на скорость достижения заданных параметров качества.

Целью настоящего исследования является экспериментальная оценка влияния химической активности полировальных порошков CeO₂ с разным содержанием основного компонента на скорость финишной обработки

сферических поверхностей оптического стекла K8 в условиях, моделирующих серийное производство.

Для проведения сравнительного анализа были выбраны два абразивных материала:

1. «Cerox 1663» (Solvay, Франция): массовая доля оксида церия в пересчёте на редкоземельные элементы — 60–70 %, общая массовая доля редкоземельные элементы >90 %. Цвет — белый/кремовый.

2. «Модипол А» (Россия): массовая доля оксида церия в пересчёте на редкоземельные элементы — 41–45 %, общая массовая доля редкоземельные элементы — 81 %. Цвет — жёлто-коричневый.

Объектом обработки служили сферические заготовки радиус 70.47 мм из оптического стекла K8, закрепленные на блоке эластичным методом с использованием смоляных подушек. Каждый блок содержал 33 заготовки. Предварительно все поверхности были приведены к идентичному состоянию посредством трёхступенчатого алмазного шлифования M28, M20, M14 до шероховатости $R_a = 0.63 \text{ мкм}$, что гарантировало одинаковые стартовые условия [4].

Для исключения влияния побочных факторов были строго стандартизированы все режимные параметры:

- Давление на блок: 400 Н.
- Частота вращения полировальника: 350 об/мин.
- Частота вращения блока: 80 дв. ход/мин.
- Подача суспензии: 150 мл/мин.

Полировальные суспензии готовились по единому рецепту 4 кг абразивного порошка на 5 л дистиллированной воды соотношение 1.25. Значение pH каждой суспензии доводилось раствором HNO_3 до 6.0 ± 0.5 .

Критерием скорости процесса служило общее время, необходимое для достижения поверхностью заданного финишного качества. Качество определялось комплексно: Визуальный класс чистоты не хуже 1-го класса по ГОСТ 11141–84 (отсутствие видимых под рассеянным светом царапин шириной выше 0.004 мм). Контроль пробными стеклами и интерферометром. Критерием считалось появление устойчивой интерференционной картины с минимальным числом колец 3–4 кольца Ньютона.

Таблица 1. Сравнительные результаты полирования разными марками CeO_2

Параметр	Cerox 1663	Модипол А	Относительное отличие
Содержание активного CeO_2 , %	60–70	41–45	+50 % у Cerox
Время достижения финишного качества, мин	30 / 91 %	24 / 73 %	+13 % (Cerox быстрее)
Финальная шероховатость R_a , мкм	0.007	0.006–0.007	Сопоставимо
Равномерность формы по блоку	3 кольца Ньютона	3–4 кольца Ньютона	Более стабильная у Cerox

Полученные данные однозначно указывают на прямую зависимость между химической активностью абразивного порошка и скоростью технологического процесса. Сокращение времени цикла на 15 минут (13 %) при использовании «Cerox 1663» является прямым следствием более интенсивного протекания химической стадии полирования.

Согласно общепринятой химико-механической модели, процесс полирования стекла включает гидролиз поверхностного слоя кремнезёмной сетки водой из суспензии: $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\equiv\text{Si}-\text{OH}$. Оксид церия выступает катализатором этой реакции [3]. Более высокая концентрация активного церия в суспензии «Cerox 1663» приводит к увеличению скорости образования гидратированного слоя (слоя Бейлига), который имеет пониженную механическую прочность и легко удаляется механическим воздействием абразивных частиц. Таким образом, лимитирующей стадией цикла «реакция–удаление» становится быстрее, что увеличивает суммарную скорость съёма материала.

Важным подтверждением роли химического фактора, а не просто абразивного, служит сопоставимая итоговая шероховатость $R_a \approx 7 \text{ нм}$ при разном времени обработки. Если бы доминировал чисто механический износ, более длительное время полирования «Модиполом А» могло бы привести к меньшей шероховатости, чего не наблюдается.

Это свидетельствует о том, что оба материала способны достичь предельно гладкой поверхности, но для менее активного абразива этот процесс требует большего времени для последовательного удаления более тонких, но менее химически модифицированных слоёв.

Выводы

1. Экспериментально доказано, что химическая активность полировального порошка CeO_2 , напрямую зависящая от процентного содержания активного оксида церия, является ключевым фактором, определяющим скорость финишной обработки оптического стекла K8. Увеличение массовой доли CeO_2 с 41–45 % до 60–70 % позволяет сократить время полировального цикла на 13 %.

2. Более высокая химическая активность абразива обеспечивает не только увеличение скорости съёма материала, но и повышение стабильности технологического процесса, что выражается в увеличении выхода годной продукции на 18 % и лучшей равномерности качества.

3. Для отечественного производства перспективным направлением является разработка и доводка полировальных составов с повышенным содержанием активного CeO_2 и улучшенной гранулометрией, что позволит достичь конкуренции с зарубежными аналогами по технологической эффективности.

Литература:

1. Ходаков Г. С. Физико-химические процессы полирования оптического стекла. — М.: Машиностроение, 1985.
2. Семибраторов М. Н. Технология обработки оптических деталей. — М.: Машиностроение, 1975.
3. Беляков Ю. М., Гайнутдинов И. С., Лукин А. В., Мельников А. Н., Насыров З. А., Павлычева Н. К., Пряхин Ю. А. Оптические материалы и технологии. Учеб. пособие. — Казань.: Казан. гос. техн. ун-та, 2008.
4. Окатова М. А. Справочник технолога-оптика. 2-е изд. — СПб.: Политехника, 2004.
5. ГОСТ 11141-84. Стекло оптическое. Методы контроля качества поверхности. — М.: Издательство стандартов, 1984.

Способ определения координат сопровождаемого объекта при обработке видопоследовательности для задач воздушной разведки

Полухин Эдуард Алексеевич, студент
Воронежский государственный технический университет

Современные алгоритмы фотограмметрической обработки данных воздушной разведки позволяют расчитывать карту высот исследуемого района. Такие данные можно использовать для более точного расчета координат наземных целей. Вследствие этого беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) целесообразно осуществлять предварительный облет местности, на которой планируется производить воздушную разведку объектов и определять их географические координаты. Полученная при таком облете информация должна быть обработана с использованием современных прикладных программ с целью расчета актуальной карты высот и дальнейшей загрузки её в базу данных бортового компьютера БПЛА. В дальнейшем она используется для расчета безопасной высоты полета и корректировки координатометрии, произведенной угломерно-дальномерным способом.

В настоящее время наблюдается тенденция как роста использования беспилотных летательных аппаратов, так и разработки целевого оборудования на них. Появляются гиростабилизированные платформы на базе беспилотных инерциальных систем, в состав которых входят следующие устройства на базе технологии микроэлектромеханических систем — акселерометр, гироскоп, барометр и магнетометр. Учитывая особенности данных устройств, появляются широкие возможности к разработке систем определения географических координат с использованием беспилотного летательного в режиме аппарата реального времени.

Способ определения координат наземных объектов может быть реализован в беспилотном робототехническом комплексе, на котором размещен дополнительный бортовой компьютер, реализующий алгоритмы автоматического обнаружения и распознавания наземных объектов с последующим определением их координат с учетом актуальной карты высот.

Устройство, реализующее способ определения координат наземных объектов представлено на рисунке 1 и включает в себя:

1.Беспилотный летательный аппарат
1.1 Бортовой вычислитель
1.2 Блок видеонаблюдения
1.3 Гиростабилизированная платформа с акселерометром и гироскопом

1.4 Лазерный дальномер
1.5 Приёмно-передающее устройство
1.6 GPS приемник с магнитометром
2.Наземный пункт управления
2.1 Приёмно-передающее устройство
2.2 Устройство отображения координат объектов

Предложенный способ предполагает реализацию на бортовом компьютере беспилотного комплекса трех алгоритмов:

- 1) Алгоритма автоматического обнаружения и распознавания наземных объектов на основе нейронных сетей;
- 2) Алгоритма автоматического сопровождения цели (демонстрация).

3) Алгоритма определения координат целей с учетом актуальной информации о карте высот в районе воздушной разведки, позволяющей повысить точность их определения.

Расчет координат осуществляется на основе данных, собранных с акселерометра, гироскопа, магнитометра, барометра, приемника СНС и лазерного дальномера (показ), установленных на БПЛА.

Выполнение алгоритмов осуществляется непосредственно на борту БПЛА в режиме реального времени, на самостоятельно разработанном программном обеспечении.

В известных угломерных способах расчета координат есть существенный недостаток относительно систем с грубой точностью определения угловых координат. Для таких систем необходим модернизированный подход, учитывающий наличие возможностей современных вычислительных ресурсов и относительной их доступностью. Представленный подход основан на при-

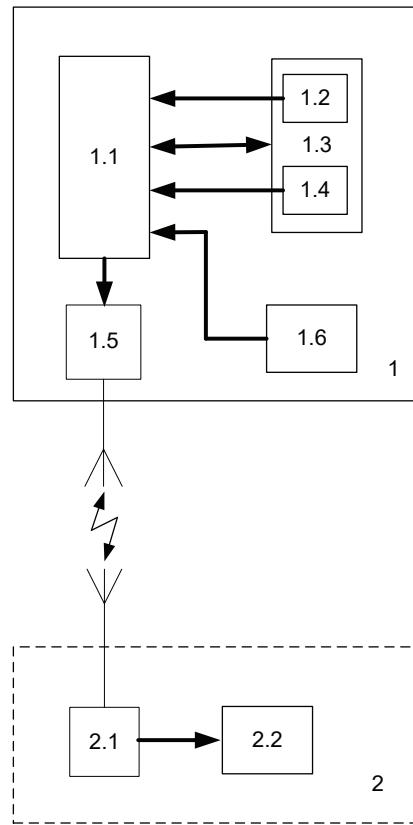


Рис. 1. Устройство для определения координат наземных объектов

менении численных алгоритмов минимизации квадратичной ошибки между рассчитанной высотой и значением на карте высот в рассчитанном местоположении. Такую ошибку будем называть мерой и обозначим за J , которая определяется как

$$J(\alpha_1, \alpha_2) = \{(h - d \cdot \cos \alpha_2) - A[x^*, y^*]\} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где h — абсолютная высота БПЛА; d — наклонная дальность; α_1 — азимут (рыскание);

α_2 — угол наклона камеры (тангаж); $A[x^*, y^*]$ — матрица высот;

$$x^* = x_0 + d \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_1;$$

$$y^* = y_0 + d \cdot \sin \alpha_2 \cdot \sin \alpha_1.$$

В результате, задача поиска минимума сводится к отысканию таких значений углов α_1 , α_2 , при которых функционал J будет минимальный. Для простоты реализации

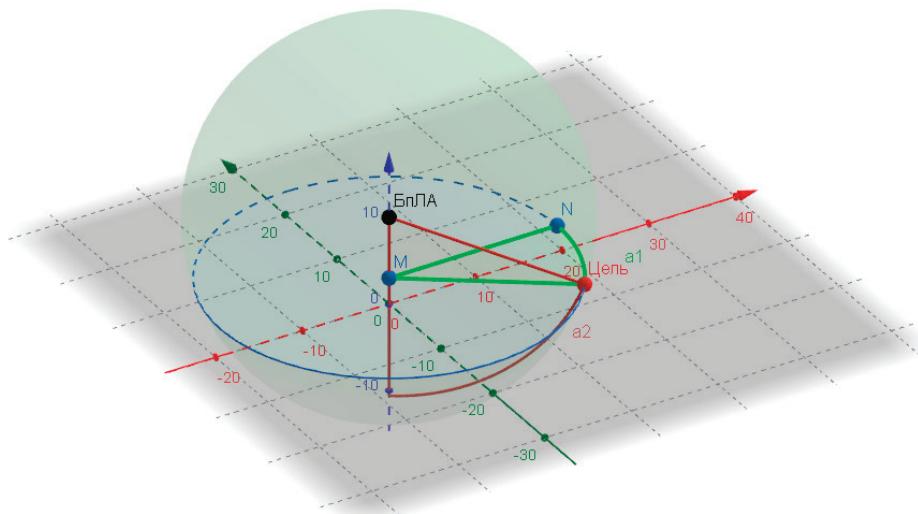


Рис. 2. Принцип определения координат целей с БПЛА

математической модели был применен метод наискорейшего спуска.

Таким образом, представленный способ определения координат наземных объектов позволяет более точное определить координаты выбранных объектов угломерно-дально-

мерным способом. Отличительной особенностью способа является повышение точности определения координат целей с использованием актуальной информации о карте высот, а также возможность выполнения расчетов в режиме реального времени непосредственно на борту БПЛА.

Литература:

1. Тяпкин В. Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС: монография / В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. — 260 с.
2. Сырямкин В. И., Шидловский В. С. Корреляционноэкстремальные навигационные системы. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 2010. 316 с.

Модернизация газоанализатора ДАФ-М-01: переход на цифровую платформу для повышения точности и функциональности

Соленков Павел Николаевич, студент
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

В работе представлена методика модернизации газоанализатора ДАФ-М-01, предназначенного для контроля летучих органических соединений, путём замены устаревшей аналоговой системы обработки сигнала на цифровую платформу на основе микроконтроллера. Разработаны структурная и функциональная схемы модернизированного прибора, обоснован выбор элементной базы (микроконтроллер STM32F4, прецизионный операционный усилитель ADA4530-1, OLED-дисплей, интерфейс RS-485/Modbus). Разработаны алгоритмы цифровой обработки сигнала, включая накопление, каскадную фильтрацию, автоматическую калибровку и линеаризацию. Проведён расчёт ожидаемых метрологических характеристик, показавший снижение основной погрешности с $\pm 2,5\%$ до $\approx 1,1\%$ от ВПИ и значительное повышение помехозащищённости. Результаты работы представляют готовое техническое решение для модернизации серийных приборов с целью продления их жизненного цикла и интеграции в современные системы АСУ ТП.

Ключевые слова: газоанализатор, цифровая обработка сигнала, микроконтроллер, фотоионизационный детектор, точность, интерфейс Modbus, модернизация.

Введение

Газоанализатор ДАФ-М-01 является серийным прибором для непрерывного контроля летучих органических соединений (ЛОС) в промышленных условиях. Несмотря на надёжность и широкое применение, его аналоговая система обработки сигнала обладает рядом недостатков: дрейфом нуля и чувствительности, низкой помехозащищённостью, сложностью линеаризации и отсутствием цифровых интерфейсов связи. Это ограничивает точность, стабильность и интеграционный потенциал прибора. Целью данной работы является разработка методики модернизации ДАФ-М-01 путём перехода на цифровую архитектуру обработки сигнала для существенного повышения его метрологических и эксплуатационных характеристик.

1. Анализ недостатков исходной конструкции

Критический анализ системы обработки сигнала газоанализатора ДАФ-М-01 выявил следующие ключевые проблемы:

— **Дрейф параметров** аналоговых компонентов (операционных усилителей, источников опорного напряжения), приводящий к нестабильности показаний и необходимости частой калибровки.

— **Низкая помехозащищённость** от электромагнитных помех промышленной частоты (50 Гц), вызывающая искажение сигнала и ложные срабатывания.

— **Ограниченные возможности линеаризации** характеристики фотоионизационного датчика в аналоговом тракте.

— **Отсутствие цифровых интерфейсов** в базовой модификации, что затрудняет интеграцию в современные системы АСУ ТП.

2. Разработка цифровой архитектуры

В основу модернизации положен принцип **максимально ранней оцифровки** сигнала. Структурная схема модернизированного прибора включает:

1. **Аналоговый интерфейсный модуль** на базе трансимпедансного усилителя с ОУ ADA4530-1 (входной ток ~ 20 фА) и активного антиалиасингового фильтра.

2. Модуль цифровой обработки на основе 32-битного микроконтроллера STM32F446RET6 (ядро ARM Cortex-M4 с FPU, 16-битный АЦП, ЦАП).

3. Модуль индикации с графическим OLED-дисплеем.

4. Модуль коммуникаций с обязательным интерфейсом RS-485/Modbus RTU, а также аналоговым выходом 4–20 мА и релейными выходами для обратной совместимости.

3. Алгоритмы цифровой обработки сигнала

Программное обеспечение микроконтроллера реализует следующие алгоритмы:

— **Первичная обработка**: накопление и усреднение отсчётов АЦП для повышения эффективной разрядности.

— **Каскадная цифровая фильтрация**: медианный фильтр (подавление импульсных помех), режекторный фильтр 50 Гц, ФНЧ (сглаживание).

— **Автоматическая калибровка** по двум точкам («ноль» и «проба») с сохранением коэффициентов в энергонезависимой памяти.

— **Точная линеаризация** по полиномиальной модели 2-й или 3-й степени.

— **Температурная компенсация** на основе данных встроенного датчика температуры.

4. Оценка эффективности модернизации

Расчёт и моделирование ожидаемых метрологических характеристик показали:

Литература:

- ГОСТ Р ИСО 16000–29–2014. Воздух замкнутых помещений. Часть 29. Методы испытаний на летучие органические соединения с помощью газовой хроматографии.
- Описание типа средства измерений «Датчики-газоанализаторы ДАФ-М» (№ 73327–18) / Росстандарт. — М., 2018.
- Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. — 3-е изд. — СПб.: Питер, 2011. — 768 с.
- Datasheet: STM32F446xx. Advanced ARM-based 32-bit MCUs / STMicroelectronics. — 2022.
- Datasheet: ADA4530–1. 20 fA Bias Current, Electrometer Grade Amplifier / Analog Devices. — 2021.

— **Основная приведённая погрешность** снижается с $\pm 2,5\%$ до $\approx 1,1\%$ от ВПИ.

— **Дрейф нуля** электронного тракта сокращается до $<0,5\%$ от ВПИ за 30 суток.

— **Подавление сетевой помехи** (50 Гц) достигает не менее 40 дБ.

— **Динамический диапазон** расширяется до 80 дБ и более.

— Появляется возможность **удалённого конфигурирования, диагностики и интеграции** в SCADA-системы через интерфейс Modbus.

Заключение

Разработанная методика модернизации газоанализатора ДАФ-М-01 путём перехода на цифровую платформу является технически обоснованной и экономически целесообразной. Реализация предложенных решений позволяет не только устранить ключевые недостатки аналоговой системы, но и существенно повысить точность, стабильность, помехозащищённость и функциональность прибора. Модернизированный газоанализатор соответствует современным требованиям к промышленным средствам измерений и может быть легко интегрирован в цифровые системы контроля и управления. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка аппаратного прототипа и проведение натурных испытаний для экспериментального подтверждения расчётных характеристик.

Разработка цифровой системы обработки сигналов для модернизации газоанализатора ДАФ-М-01

Соленков Павел Николаевич, студент

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

Введение

Современные требования к промышленным средствам измерений диктуют необходимость повышения точности, стабильности и функциональности газоаналитического оборудования. Особую актуальность приобретает модернизация серийных приборов, таких как газоанализатор

ДАФ-М-01, широко применяемого для контроля летучих органических соединений (ЛОС) на промышленных объектах. Основным недостатком данного прибора является аналоговая система обработки сигнала, обладающая такими проблемами, как дрейф параметров электронных компонентов, чувствительность к электромагнитным помехам, сложность точной линеаризации и отсутствие ци-

фровых интерфейсов связи. Эти ограничения снижают метрологические характеристики прибора и затрудняют его интеграцию в современные системы АСУ ТП.

Целью работы является разработка цифровой системы обработки сигналов для модернизации ДАФ-М-01, направленная на устранение указанных недостатков и повышение эксплуатационных характеристик прибора.

1. Анализ существующей системы обработки сигнала

Газоанализатор ДАФ-М-01 построен по гибридной аналого-цифровой схеме, где микроконтроллер выполняет ограниченные функции, а основная обработка сигнала осуществляется в аналоговом тракте. Критический анализ выявил следующие системные недостатки:

1. Дрейф нуля и коэффициента передачи, обусловленный температурной и временной нестабильностью аналоговых компонентов (операционных усилителей, источников опорного напряжения).

2. Высокая чувствительность к электромагнитным помехам промышленной частоты (50 Гц), приводящая к искажению полезного сигнала.

3. Ограниченные возможности линеаризации характеристики фотоионизационного датчика в аналоговом тракте.

4. Использование низкоразрядного АЦП (10–12 бит), ограничивающего динамический диапазон и разрешающую способность системы.

5. Отсутствие цифровых интерфейсов связи в базовой модификации, что затрудняет интеграцию в современные системы контроля.

2. Разработка цифровой архитектуры

Для устранения выявленных недостатков предложена новая архитектура, основанная на принципе максимально ранней оцифровки сигнала. Структура модернизированного прибора включает:

1. Аналоговый интерфейсный модуль на основе трансимпедансного усилителя с операционным усилителем ADA4530-1 (входной ток 20 фА) и антиалиасингового фильтра нижних частот.

2. Модуль цифровой обработки с микроконтроллером STM32F446RET6 (ARM Cortex-M4, 16-битный АЦП, FPU) и энергонезависимой памятью.

3. Модуль индикации с графическим OLED-дисплеем для отображения данных и меню настроек.

4. Модуль интерфейсов с обязательным цифровым выходом RS-485/Modbus RTU, аналоговым выходом 4–20 мА и дискретными релейными выходами.

3. Алгоритмы цифровой обработки сигнала

Программное обеспечение микроконтроллера реализует следующие алгоритмы обработки сигнала в реальном времени:

1. Накопление и усреднение отсчётов АЦП для повышения отношения сигнал/шум и эффективной разрядности.

2. Каскадная цифровая фильтрация, включающая:

- Медианный фильтр для подавления импульсных помех.

- Режекторный фильтр 50 Гц с глубиной подавления не менее 40 дБ.

- ФНЧ Баттерворта для окончательного сглаживания сигнала.

3. Автоматическая калибровка по двум точкам («ноль» и «проба») с сохранением коэффициентов в EEPROM.

4. Линеаризация характеристики датчика с использованием полиномиальной аппроксимации 2-й степени.

5. Температурная компенсация на основе показаний встроенного датчика температуры.

4. Моделирование и оценка характеристик

Для оценки эффективности модернизации выполнено моделирование и расчёт метрологических характеристик. Результаты показали:

1. Основная приведённая погрешность снижается с $\pm 2,5\%$ до $\approx 1,1\%$ от ВПИ за счёт устранения погрешностей аналогового тракта.

2. Дрейф нуля электронного тракта сокращается до уровня менее 0,5 % от ВПИ за 30 суток благодаря применению прецизионных компонентов и алгоритмической компенсации.

3. Помехозащищённость повышается до 40 дБ за счёт эффективных цифровых фильтров.

4. Динамический диапазон расширяется до 80 дБ благодаря использованию 16-битного АЦП и алгоритмов накопления.

5. Появляется возможность интеграции в системы АСУ ТП через интерфейс RS-485/Modbus, что обеспечивает удалённый доступ к данным и управление прибором.

Заключение

Разработанная цифровая система обработки сигналов для газоанализатора ДАФ-М-01 позволяет устранить основные недостатки аналоговой архитектуры и существенно повысить точность, стабильность и функциональность прибора. Ключевыми преимуществами предложенного решения являются:

- Снижение основной погрешности более чем в 2 раза.

- Уменьшение дрейфа нуля на порядок.

- Повышение помехозащищённости до 40 дБ.

- Обеспечение цифрового интерфейса связи для интеграции в современные системы автоматизации.

Предложенная методика модернизации является технически и экономически обоснованной и может быть использована для модернизации существующего парка газоанализаторов ДАФ-М. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку аппаратного прототипа и проведение экспериментальных испытаний.

Литература:

1. ГОСТ Р ИСО 16000–29–2014. Воздух замкнутых помещений. Часть 29. Методы испытаний на летучие органические соединения.
2. Описание типа средства измерений «Датчики-газоанализаторы ДАФ-М» (№ 73327–18) / Росстандарт. — М., 2018.
3. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. — СПб.: Питер, 2011. — 768 с.
4. Datasheet: ADA4530–1. 20 fA Bias Current, Electrometer Grade Amplifier / Analog Devices. — 2021.
5. Datasheet: STM32F446xx. Advanced ARM-based 32-bit MCUs / STMicroelectronics. — 2022.

Конструктивные особенности проектируемого вездеходного транспортного средства

Фокин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор;

Дюнова Елена Алексеевна, студент магистратуры;

Федорова Наталия Геннадьевна, студент магистратуры

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

В статье приводится обоснование конструктивной схемы трицикла-вездехода, предназначенного для реализации модели многоцелевого лесопользования и обеспечения противопожарной безопасности в лесу. Разработанная конструктивная схема машины позволит обеспечить эффективную организацию транспортного обслуживания лесопродукционного производства.

Ключевые слова: лесопродукционное производство, трицикл-вездеход, движитель сверхнизкого давления.

Современная практика использования лесных ресурсов переживает серьезный кризис, вызванный в основном узким, специализированным подходом, сфокусированным преимущественно на добыче древесины. Эта односторонняя модель, преобладающая в большинстве мировых и отечественных регионов, влечет за собой ухудшение состояния лесных экосистем, сокращение биологического разнообразия и снижение экологической устойчивости.

В связи с этим вектор развития лесной отрасли должен претерпеть коренные изменения, сместившись от этой, экологически неэффективной, модели к принципам многоцелевого лесопользования. Данный подход направлен на максимальное увеличение полезных функций леса, рассматривая его не только как источник древесины, но и как сложную, самоподдерживающуюся экосистему, представляющую широкий спектр ресурсов и услуг.

Многоцелевое использование предполагает комплексный подход, учитывающий все аспекты лесного хозяйства, включая сбор разнообразной недревесной продукции: ягод, грибов, орехов, лекарственных растений, живицы и мхов. Кроме того, он учитывает рекреационную ценность леса (туризм, отдых на природе), его роль в сохранении биоразнообразия, охране водосборных территорий, регулировании климата и предотвращении почвенной эрозии.

Эффективная организация транспортировки лесоматериалов имеет решающее значение, что обусловлено особенностями сырья. Транспортные маршруты должны быть максимально оптимизированы для сокращения времени доставки. Выбор транспортных средств напрямую

зависит от типа лесопродукции, расстояния до перерабатывающего предприятия и состояния дорог. Для транспортировки крупных бревен часто используются мощные лесовозы, способные перевозить значительные объемы груза за один рейс.

Однако, в условиях бездорожья или в труднодоступных лесных зонах, использование специальной техники, такой как тракторы или гусеничные транспортеры, может существенно замедлить процесс. В таких ситуациях применение тяжелой техники нецелесообразно. В связи с этим, основные требования к технике для решения подобных задач — это легкость, большой дорожный просвет и широкие колеса с низким и сверхнизким давлением на грунт [1,2].

В процессе создания конструктивного решения трехколесного вездехода был выполнен обзор научных публикаций, целью которого являлось изучение существующих разработок вездеходной и специализированной техники, предназначенной для работы в определенных условиях. В основе исследований лежало детальное изучение особенностей эксплуатации вездеходов, что позволило учесть ключевые требования к их проходимости, управляемости и функциональности [3,4].

Кроме того, осуществлялся анализ и подбор наиболее подходящих материалов и компонентов. При этом принимались во внимание необходимые показатели прочности и массы материалов, используемых при изготовлении вездехода. Итоговая конструктивная схема разработанного вездехода визуально представлена на рис. 1.

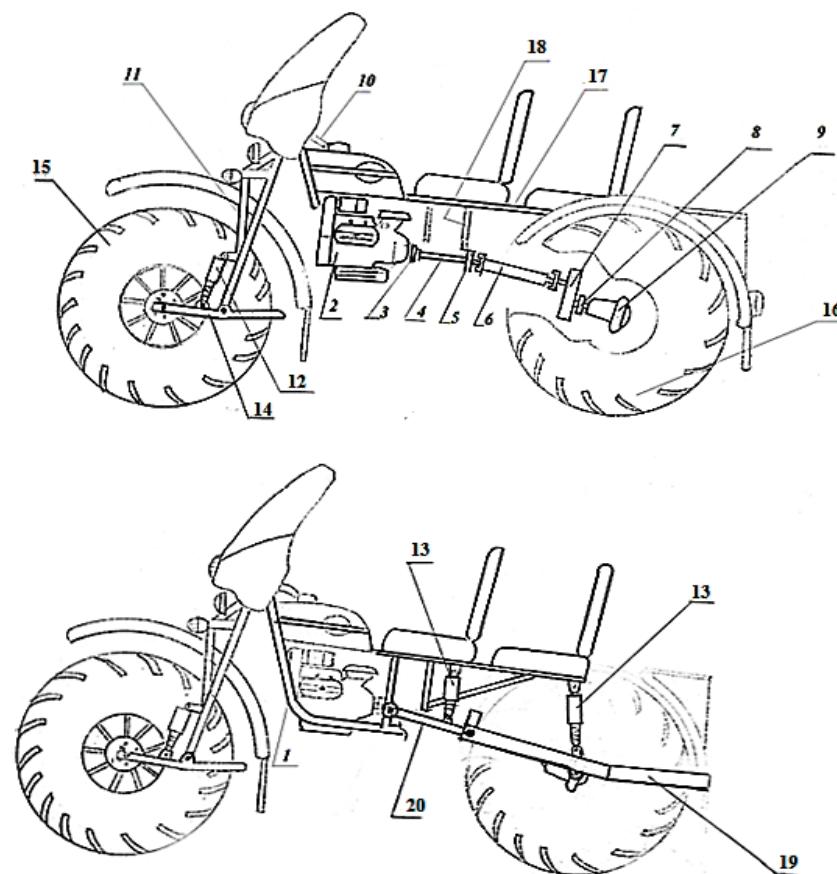


Рис. 1 Предлагаемая схема трицикла-вездехода

Устройство включает в себя следующие компоненты: основание 1, силовой агрегат 2, систему передачи мощности, состоящую из фланца 3 и приводного вала 4, промежуточную опору 5, уменьшенный приводной вал 6, редуктор 7, соединительную муфту 8 и конечную передачу 9, рулевое управление 10, вертикальную опору 11, передние демпферы 12, амортизаторы 13, крепежный элемент вертикальной опоры 14, переднее колесо 15, заднее колесо 16, оболочку 17, поддерживающую ножку 18, подрамник задней подвески 19, маятник 20, резервуар для масла 21, соединенный посредством магистрали высокого давления 22 с гидравлическим насосом 23 и распределителем гидравлической жидкости 24, который, в свою очередь, через дополнительную магистраль 25 связан с гидравлическим цилиндром, обеспечивающим подъем и опускание на-весного оборудования при помощи верхней продольной штанги 27, шарнирно закрепленной на раме 1 и штоке гидравлического цилиндра 26 через подвижный элемент 28, соединенный с нижней продольной штангой 29 с узлом крепления 30, который связан с проушиной гидравлического цилиндра 26.

Принцип функционирования трицикла-пневмохода заключается в следующем. Мощность, генерируемая силовым агрегатом 2, через фланец 3, соединенный с приводным валом 4, передается через промежуточную опору 5, закрепленную на оболочке 17 с помощью поддерживающей ножки 18, через укороченный приводной вал 6 на

редуктор 7, а от него через соединительную муфту 8 на конечную передачу 9.

С корпуса конечной передачи 9 момент передается на задние ведущие колеса 16. В точке контакта задних ведущих колес 16 с поверхностью возникает тангенциальная сила тяги, которая, преодолевая сопротивление, приводит в движение трицикл-пневмоход. Управление вездеходом осуществляется посредством рулевого управления 10, соединенного через вертикальную опору 11 с передним колесом 15.

Во время движения трицикла (рисунок 3) по пересеченной местности сила реакции от взаимодействия переднего колеса 15 с препятствиями передается через вертикальную опору 11 на крепежный элемент вертикальной опоры 14, соединенный через опоры с проушинами передних демпферов 12. При этом упругое шарнирное соединение переднего колеса 15 с вертикальной опорой 11 позволяет уменьшить величину ударной нагрузки.

При столкновении задних ведущих колес 16 с препятствием ударная нагрузка передается на подрамник задней подвески 19, шарнирно соединенной через маятник 20 с рамой 1. Соединение амортизаторов 13 с подрамником задней подвески 19 и маятником 20 позволяет снизить величину сил реакции от воздействия препятствия на неущие элементы конструкции трицикла-пневмохода.

При использовании трицикла-пневмохода с дополнительным оборудованием для его активации приводится

в действие гидравлический насос 23, создающий повышенное давление в магистрали высокого давления 22 за счет подачи масла из резервуара 21. Далее созданное давление по магистрали высокого давления 22 поступает в распределитель 24 и через дополнительную магистраль 25 направляется в гидравлический цилиндр 26.

От воздействия напора масла на шток силового гидроцилиндра 26 он приводит в действие верхнюю продольную тягу 27, которая через подвижный раскос 28 перемещает нижнюю продольную тягу 29 с навесным узлом 30 в рабочее положение навешиваемого оборудования.

В сравнении с другими моделями, уникальная структура этого трехколесного пневмохода на шинах с низким давлением дает возможность присоединять к нему раз-

личное навесное оборудование. Конструкция этого вездеходного трицикла разработана с расчетом на перевозку как грузов, так и людей, что позволяет лесным патрулям использовать его не только для выявления, но и для ликвидации возникающих пожаров [6,7].

Технически, трицикл-вездеход снабжен шинами низкого давления, поскольку этот тип транспортных средств характеризуется повышенной прочностью и безотказностью. Более того, именно такие шины позволяют вездеходу перемещаться по пересеченной местности и преодолевать участки с затрудненным проходом [8]. Для безопасного подъема и предотвращения скатывания на крутых склонах предусмотрены тормозные механизмы, установленные на задней оси.

Литература:

- Фокин, С. В. О технических средствах противопожарного маршрутного патрулирования / С. В. Фокин, А. В. Чугошкина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2015. — Т. 3, № 8–3(19–3). — С. 28–31.
- Есков, Д. В. Ресурсосберегающие технологии при проектировании лесных грунтометательных машин / Д. В. Есков, С. В. Фокин, Д. В. Цыбаев [и др.] // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2014. — Т. 2, № 3–4(8–4). — С. 62–65.
- Фокин, С. В. Технические средства, применяемые при очистке вырубок от отходов лесосечных работ / С. В. Фокин, А. В. Храмченко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2015. — Т. 3, № 9–2(20–2). — С. 280–283.
- Фокин, С. В. О применении малогабаритной техники в лесном хозяйстве / С. В. Фокин, А. В. Чугошкина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2015. — Т. 3, № 9–3(20–3). — С. 235–238.
- Фокин, С. В. Применение малогабаритной техники при сборе и вывозе с вырубок среднего Поволжья отходов лесосечных работ / С. В. Фокин, А. В. Чугошкина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2015. — Т. 3, № 9–2(20–2). — С. 283–287.
- Фокин, С. В. Теоретическое обоснование основных конструктивно-технологических параметров устройства для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин, А. С. Бурлаков // Инновационная деятельность. — 2011. — № 4–1(17). — С. 123–130.
- Фокин, С. В. О перспективных технических средствах для ведения агролесомелиоративных мероприятий / С. В. Фокин, А. Н. Фетяев, О. Н. Шпортько // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 2–1. — С. 158.
- Фокин, С. В. Способы транспортирования щепы из рубительных машин / С. В. Фокин, О. А. Фомина // Научная жизнь. — 2018. — № 2. — С. 10–15.

Определение производительности двигателя измельчителя древесины

Фокин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор;

Дюнова Елена Алексеевна, студент магистратуры;

Федорова Наталия Геннадьевна, студент магистратуры

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

В данной работе представлены итоги численного моделирования, направленные на выявление зависимостей и оптимальных границ конструктивных и технологических характеристик приводного механизма рубильной машины, определяющих его производительность при переработке древесины, полученной в плантационном хозяйстве.

Ключевые слова: плантационное лесовыращивание, рубильная машина, топливная щепа

В современной России твердая биомасса лидирует как источник тепловой энергии в сельских районах. Тем не менее, лесозаготовки губительно сказываются на природе, нарушая баланс в экосистеме. Экологические и экономические

преимущества биомассы как энергоносителя значительно возрастают в регионах, где реализуются программы по организации плантационного выращивания древесины [1, 2].

Применение биотоплива, полученного с энергетических плантаций, может способствовать диверсификации энергетического сектора, уменьшить затраты на энергию в удаленных от транспортных путей населенных пунктах, создать новые рабочие места для местного населения, обеспечить экономию ресурсов и сократить выбросы парниковых газов и других загрязняющих веществ в атмосферу [3, 4].

В научных работах недостаточно освещен вопрос разработки высокопроизводительного оборудования для изготовления щепы в рамках комплексных систем топливоснабжения с использованием энергетических плантаций. Решение этой важной производственной задачи требует проведения научных изысканий с целью усовершенствования конструкций дробильного оборудования.

Основной задачей данного исследования являлось выявление закономерностей влияния и определение оптимальных значений конструктивных и технологических параметров привода рубильной машины на ее производительность.

Оценка результативности работы приводного механизма осуществлялась по следующей схеме. Выходная мощность P дробильной установки (количество щепы в килограммах, производимое машиной за минуту) рассчитывается следующим образом.

$$P = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} Q_{\text{вых}} \quad (1)$$

В моделировании, индекс τ обозначает текущий временной шаг. Анализируемый период определяется границами τ_1 и τ_2 , которые соответствуют начальному и конечному временным шагам интегрирования. $Q_{\text{вых}}$ представляет собой поток щепы, произведенный рубильным диском, рассчитанный квазигидравлической моделью на каждом временном шаге τ .

Определим мощность N , потребляемую рубильной машиной от вала отбора мощности, как среднее значение мгновенной мощности за период наблюдения:

$$N = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} M_{01\tau} \omega_0, \quad (2)$$

где $M_{01\tau}$ — это вращающий момент, передающийся от вала отбора мощности трактора (тело 0) к нижнему шкиву (тело 1) на шаге τ , а ω_0 — угловая скорость вала отбора мощности.

Наибольшее значение момента M_m , действующего на оси любого из подающих вальцов (максимум, зафиксированный в ходе всего компьютерного моделирования), находится по формуле:

$$M_m = \max_i(M_{pi}^{max}) = \max_i \left[\max_t(M_{pi}(t)) \right], \quad (3)$$

где i — номер подающего вальца, M_{pi}^{max} — максимальный момент, переданный ременной передачей вальцу i , за все время моделирования, а t — текущее время.

Коэффициент k_{np} , характеризующий проскальзывание нижнего подающего вальца (барабана) относительно выходного шкива редуктора, определяется как:

$$k_{np} = \frac{\varphi_3 - \varphi_8}{\varphi_3}, \quad (4)$$

где φ_3 и φ_8 — углы поворота выходного шкива редуктора и подающего барабана соответственно.

Максимальная радиальная сила F_{ni}^{max} , действующая на подшипники тел вращения i , вычисляется по формуле:

$$F_{ni}^{max} = \sqrt{\left(\frac{M_{pi}^{max}}{R_{wi} + \frac{B_{pi}}{2}} (1 + k_h) \right)^2 + \left((m_i + m_{noi}^{max})g \right)^2}, \quad (5)$$

где R_{wi} — радиус шкива, B_{pi} — толщина ремня, k_h — коэффициент натяжения ремня (соотношение сил натяжения на разных сторонах шкива), m_i и m_{noi_max} — масса тела вращения i и максимальная масса контактирующих с ним порубочных остатков за время моделирования, g — ускорение свободного падения.

Разработанная модель позволяет оценивать эффективность механизма привода рубильной машины с точки зрения производительности, энергозатрат и силовых нагрузок на компоненты привода [5,6].

Для анализа эффективности механизма привода разработана специализированная программа для ЭВМ под названием «Программа для моделирования механизма привода рубильной машины для измельчения древесного сырья». Программное обеспечение было создано на языке Object Pascal с использованием среды разработки Borland Delphi 7.

Программа предназначена для моделирования различных рабочих режимов привода рубильной машины и изучения характеристик его эффективности. В программе решается задача динамического анализа вращательного движения 13 тел вращения, составляющих механизм привода с учетом упруго-вязкого взаимодействия между ними.

Входными параметрами программы являются геометрические, конструктивные, кинематические, динамические характеристики компонентов механизма привода и параметры силового воздействия, оказываемого перерабатываемым сырьем. В процессе имитационного моделирования программа визуализирует схематическое представление тел вращения и отображает графики изменения угловых скоростей и моментов, действующих на эти тела, во времени (рис. 1).

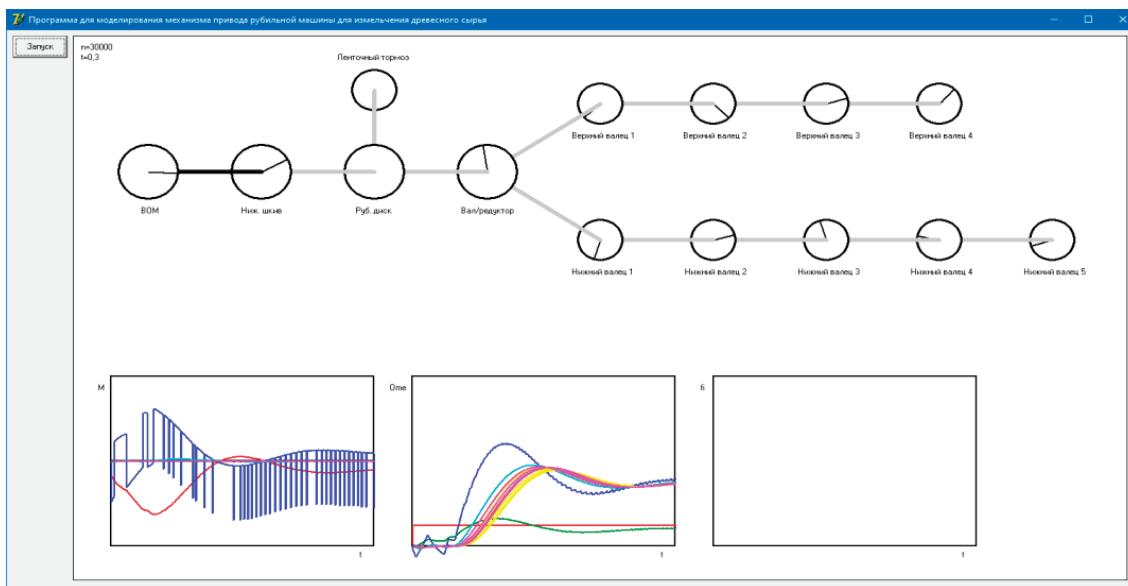


Рис. 1. Вывод результатов компьютерного эксперимента в программе «Программа для моделирования механизма привода рубильной машины для измельчения древесного сырья»

В разработанной программе существуют следующие лимитирующие факторы технического характера:

- 1) минимальный интервал интегрирования дифференциальных уравнений — 0,0001 секунды;
- 2) верхний предел скорости вращения измельчающего диска — 50 оборотов в секунду.

Для функционирования программы требуется компьютерная система с тактовой частотой центрального процессора не менее 2,0 ГГц и объемом оперативной памяти от 2 Гбайт. Размер исходного кода составляет 9 кбайт. Программа может быть использована в широком диапазоне значений параметров конструкции и технологии механизма привода рубильной машины. В результате, был создан программный инструмент, позволяющий анализировать влияние конструктивных особенностей и выбранных технологических режимов привода на его эффективность [7,8].

Одним из ключевых параметров привода является передаточное число k_{34} , представляющее собой соотношение между скоростью вращения вальцов и скоростью вращения рубильного диска. Созданная модель дала возможность изучить влияние данного параметра как на динамические характеристики привода, так и на характер перемещения и дробления древесного сырья [9,10]. В ходе 11 компьютерных экспериментов значение k_{34} изменялось в диапазоне 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2,0.

Каждый эксперимент начинался с имитации разгона рубильного диска, за которой следовало моделирование нагрузки на вальцы и диск от древесного материала. После достижения динамического равновесия в моделируемой системе производилась оценка таких показателей эффективности, как P , N , M_m и k_{np} .

При низких значениях передаточного числа (0,5 ... 0,8) вальцы подают сырье недостаточно быстро, что приводит к недозагрузке рубильного диска. В результате производительность по щепе является невысокой (50 ... 70 кг/мин), как и общая потребляемая мощность (4,8 ... 6,0 кВт). Момент сопротивления вращению вальцов не превышает 20 Н·м, и проскальзывание ременной передачи незначительно ($k_{np} = 0,78 \dots 0,84$).

При высоких значениях передаточного числа (1,6...2,0) вальцы подают сырье слишком быстро, не позволяя рубильному диску эффективно перерабатывать его в щепу. При этом производительность практически не увеличивается (выше 91 кг/мин при $k_{34} > 1,6$), потребляемая мощность находится в пределах 5,0 ... 5,9 кВт, момент сопротивления вра-

щению вальцов превышает 49 Н·м, и наблюдается значительное проскальзывание ременной передачи между вальцами ($k_{\text{пп}} = 0,70 \dots 0,71$).

Следовательно, оптимальное передаточное число находится в диапазоне 1,0…1,4. Это обеспечивает достаточно высокую производительность (75…80 кг/мин), приемлемое энергопотребление (5,7 … 6,2 кВт), относительно низкий момент сопротивления вращению вальцов (26 … 40 Н·м) и небольшое проскальзывание ременной передачи (0,73 … 0,76).

Литература:

1. Фетяев, А. Н. Об имитационной модели процесса измельчения порубочных остатков / А. Н. Фетяев, С. В. Фокин // Научно-технический вестник Поволжья. — 2012. — № 2. — С. 291–294.
2. Фокин, С. В. К обоснованию параметров и режимов работы устройства для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. — 2011. — № 3. — С. 36–44.
3. Фокин, С. В. О конструктивных особенностях дисковой рубительной машины для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин, О. А. Фомина // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 17–19 марта 2020 года. — Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2020. — С. 390–393.
4. Фокин, С. В. Технические средства, применяемые при очистке вырубок от отходов лесосечных работ / С. В. Фокин, А. В. Храмченко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2015. — Т. 3, № 9–2(20–2). — С. 280–283. 2. Цыплаков, В. В. О создании комплекса машин для расчистки нераскорчеванных вырубок / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. — 2008. — № 1. — С. 60–62.
5. Саввин, Е. В. О проблемах измельчения порубочных остатков на лесосеке / Е. В. Саввин, С. В. Фокин // Лесотехнический журнал. — 2011. — № 2(2). — С. 30–31.
6. Фокин, С. В. Экологосберегающие технологии при ведении современных агролесомелиоративных мероприятий / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько, А. С. Бурлаков // Научная жизнь. — 2017. — № 7. — С. 78–91.
7. Фокин, С. В. Совершенствование технических средств переработки отходов лесосечных работ на топливную щепу в условиях вырубки / С. В. Фокин. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2018. — 187 с.
8. Цыплаков, В. В. О применении устройства для измельчения порубочных остатков при реконструкции защитных лесонасаждений / В. В. Цыплаков, С. В. Фокин // Научное обозрение. — 2011. — № 5. — С. 253–257.

Современные методы предотвращения образования асфальтомолопарафиновых отложений

Фокин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова

Тугушев Марат Якупович, студент магистратуры

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.

В статье приводится описание новой технологии борьбы с АСПО в скважинах при добывче нефти с применением ГРП. Для создания модифицированного пористого проптанта применяется технология насыщения его пор твердым сополимером этилена и винилацетата. Этот способ включает в себя пропитывание частиц проптанта раствором сополимера в ксиоле с дальнейшим удалением растворителя путем испарения.

Ключевые слова: асфальтомолопарафиновые отложения, гидроразрыв пласта, борьба с АСПО, ингибиторы.

Существует множество подходов к контролю и устранению органических отложений, включая механические, термические, физические, химические и биологические методы, а также нестандартные и комбинированные решения. Широкий выбор обусловлен необходимостью учитывать технико-экономические, геологические и про-

изводственные параметры при выборе оптимальной стратегии борьбы с АСПО [1].

Правильный выбор метода также определяется составом и характеристиками отложений, которые, в свою очередь, зависят от процесса их образования. В настоящее время основным механизмом формирования от-

ложений считается молекулярная диффузия, однако исследования указывают на важность изучения роли других механизмов и факторов интенсивности [2].

Удаление налета механическим путем и предотвращение его дальнейшего появления с помощью ингибиторов АСПО — самые применяемые методы. При огромном выборе и значительной цене химических веществ, главная сложность заключается не в их доступности, а в оптимизации их применения для достижения максимальной экономической выгоды и результативности [3].

Следовательно, важнейшей целью становится улучшение методов доставки ингибиторов АСПО в скважину или к продуктивному горизонту. Изучение современных способов доставки ингибиторов подтвердило продуктивность и потенциал совершенствования технологии борьбы с отложениями путем добавления в проппант твердых частиц с ингибирующими компонентами.

Результаты проведенных исследований показывают, что введение в состав проппантной смеси твердых пористых элементов, насыщенных твердым ингибитором, выделяющимся в нефтяной поток при контакте, может рассматриваться как действенный метод ингибирирования и защиты от отложений АСПО (см. рис. 1).

Для успешного внедрения метода ингибирирования требуется проанализировать ряд ключевых аспектов:

- 1) выбор подходящего твердого носителя для пропитки ингибитором;
- 2) определение оптимального ингибирующего соединения;
- 3) разработка методики пропитки пористых частиц ингибирующим составом;
- 4) анализ влияния гидроразрыва пласта на эффективность ингибирирования;
- 5) измерение скорости выделения ингибитора.

Экспериментальные данные показали, что введение сополимера этилена с винилацетатом (содержание винил-

ацетата в пределах 26–30 мас. %) в количестве 0,01 мас. % приводит к уменьшению температуры начала выпадения парафинов из нефти на 1 °C, снижению температуры потери текучести нефтью на 6 °C, сокращению объема отложений, формирующихся на охлаждаемой поверхности, на 30 %, а также к падению вязкости парафинистой нефти в температурном диапазоне 16–26 °C на 10–72 %.

Предложенный метод пропитки пористого проппанта твердым сополимером этилена и винилацетата, основан на обработке материала раствором полимера в о-ксилоле (концентрация полимера 10 мас. %) с последующим удалением растворителя.

Сконструированное устройство для насыщения пористых частиц [4], имитирующих проппант, твердым сополимером этилена с винилацетатом (с долей винилацетата 26–30 мас. %), позволяющее производить модифицированный проппант, содержащий твердый реагент как внутри пор, так и на поверхности частиц представлено на рисунке 2.

Оно работает следующим образом. В металлическую сетчатую корзину засыпают подготовленный пористый проппант и помещают в резервуар для пропитки. Затем посредством вакуумного насоса в емкости создается вакуум, достигающий минус 99 кПа, что контролируется вакуумметром. Вакуумным насосом поддерживается указанное разряжение на протяжении четверти часа, после чего вакуумная линия перекрывается.

Далее проверяют стабильность давления внутри резервуара с образцом пористого материала. Если показания вакуумметра изменяются, насосное устройство возобновляет откачу воздуха до тех пор, пока при закрытом вакуумном кране не будет достигнуто постоянное давление.

Приготовленный раствор сэвилена в о-ксилоле заливают в емкость для пропитки так, чтобы уровень этого раствора возвышался над слоем пористого проппанта по крайней мере на два сантиметра. После этого в пространстве над жидкостью кратковременно вакуумным насосом

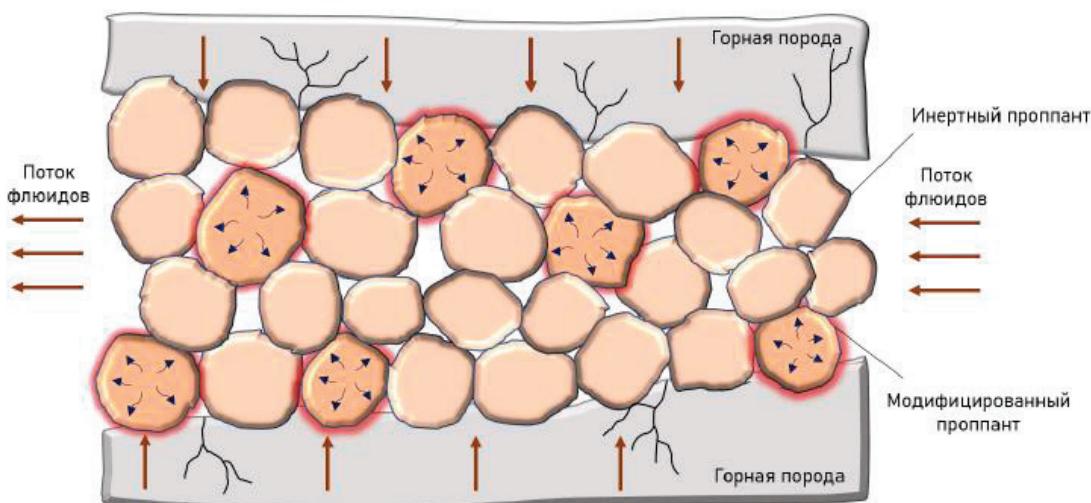


Рис. 1. Принцип предлагаемой системы ингибирирования

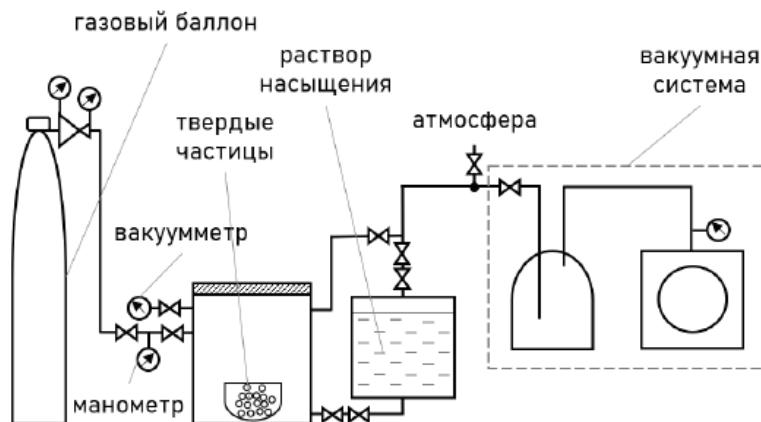


Рис. 2. Оборудование для насыщения частиц пористого проппанта

создают пониженное давление, а затем вакуумная линия отключается.

Для подачи раствора открывают краны на магистрали, соединяющей емкость с образцом и емкость с пропитывающей жидкостью. Используя вакуумный насос, возвращают систему к исходному разрежению на короткий период времени.

Затем вакуумный кран переводят в положение сброса в атмосферу, выравнивая, давление в системе. Для более глубокой пропитки пропанта, через воздушную линию создается избыточное давление в 10 МПа, которое поддерживается в течение 480 минут.

После завершения процесса пропитки давление внутри системы доводят до атмосферного, и корзина с сеткой извлекается из установки. Для удаления растворителя и формирования модифицированного пропанта, содержащего в порах и на поверхности твердую фазу сополимера этилена и винилацетата, используется ротационный испаритель.

Для определения уровня заполненности пор получена объемная концентрация ингибитора, принимая во внимание плотность сэвилена ($\rho_{\text{сэв}} = 950 \text{ кг}/\text{м}^3$) и действительную плотность пористых частиц ($\rho_{\text{ист}} = 2100 \text{ кг}/\text{м}^3$). Сравнение итоговых данных с величиной открытой пористости частиц, равной 12,96 %, демонстрирует не полное проникновение твердого сэвилена во все пустоты. Данный эффект обусловлен более высокой густотой ингибирующего раствора, в отличие от густоты дистиллированной воды, применявшейся для вычисления открытой пористости частиц [5,6].

Исследования показали, что введение этиленвинилацетатного сополимера (с долей винилацетата от 26 до 30 % по массе) в количестве 0,01 % масс. приводит к уменьшению температуры, при которой нефть насыщается парафином, на 1 градус Цельсия. Также наблюдается снижение тем-

пературы застывания нефти на 6 °C, уменьшение количества отложений, сформировавшихся на поверхности охлаждаемого элемента, на 30 %, и снижение вязкости высоковязкой парафинистой нефти в температурном диапазоне от 16 до 26 °C на величину от 10 до 72 % [7].

Предложен метод пропитки пористого пропанта твердым сополимером этилена с винилацетатом, который подразумевает обработку частиц раствором сополимера в ксиоле с последующим испарением растворяющей жидкости. В итоге формируются модифицированные частицы пропанта, включающие в себя твердый сополимер этилена и винилацетата, размещенный внутри пор и в форме внешнего покрытия.

Предложенная методика борьбы с отложениями АСПО в нефтяных скважинах, разрабатываемых с использованием гидроразрыва пласта показала свою эффективность за счет использования специализированного оборудования и проведения дополнительных технологических мероприятий — подача реагента осуществляется при проведении гидравлического разрыва пласта в трещину ГРП в составе модифицированного пропанта [7].

Ускорение фильтрационного потока влечет за собой более интенсивное растворение и извлечение сополимера. Снижение содержания модифицированного расклинивающего агента обуславливает уменьшение количества высвобождаемого реагента, а наличие пластовой воды в смеси нефти и воды сокращает период эффективной работы ингибитора.

Таким образом, актуальная проблема повышения результативности методов предотвращения отложений асфальтосмолопарафинов в нефтяных скважинах, использующих гидроразрыв пласта, решается путем закачки твердого ингибитора в трещину ГРП в составе измененного пропанта.

Литература:

- Светлицкий, В. М. Особенности процессов отложения асфальтосмолопарафиновых веществ в пористой среде / В. М. Светлицкий, Е. А. Малицкий, О. В. Фещук, В. В. Краснов, М. И. Москалюк // Нефтяное хозяйство. — 1983. — № 11.

2. Устькачкинцев, Е. Н. Определение эффективности методов предупреждения асфальтеносмолопарафиновых отложений / Е. Н. Устькачкинцев, С. В. Мелехин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2016. — Т. 15, № 18. — С. 61–70.
3. Ле, В. З. Совершенствование технологии предотвращения и удаления асфальтосмолопарафиновых отложений при эксплуатации газлифтных скважин (на примере месторождения «Белый тигр»): специальность 25.00.17 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ле Вьет Зунг. — Уфа, 2015. — 121 с..
4. Патент 2818386 Российской Федерации, МПК: C09K 8/80 (2006.01), G01N 15/08 (2006.01); СПК C09K 8/80 (2024.01), G01N 15/08 (2024.01). Устройство для насыщения пористого проппанта ингибирующим веществом. Заявка № 2023130237: заявл. 21.11.2023; опубл. 02.05.2024 / Г. Ю. Коробов, В. Т. Нгуен, Д. В. Парфенов, Д. Г. Подопригора; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». — 13 с.
5. Литвинец, И. В. Влияние ингибирующих присадок на процесс образования асфальтосмолопарафиновых отложений нефтяных дисперсных систем: специальность 02.00.13 «Нефтехимия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Литвинец Ирина Валерьевна, 2016. — 181 с.
6. Устькачкинцев, Е. Н. Определение эффективности методов предупреждения асфальтеносмолопарафиновых отложений / Е. Н. Устькачкинцев, С. В. Мелехин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2016. — Т. 15, № 18. — С. 61–70.
7. Парфенов Д. В. Обоснование технологии предотвращения асфальтосмолопарафиновых отложений при эксплуатации нефтяных скважин с гидравлическим разрывом пласта: диссертация... кандидата технических наук: 2.8.4. / Парфенов Дмитрий Викторович; [Место защиты: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II; Диссовет ГУ 2025.2]. — Санкт-Петербург, 2025. — 127 с.

Изменение интенсивности излучения светодиода в зависимости от освещения окружающей среды

Цемин Владимир Сергеевич, студент;

Сафонов Владислав Сергеевич, студент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Представляется программный, компонентный макет разработки датчика для регулирования мощности светового потока на базе аппаратной платформы *Arduino Uno*.

Ключевые слова: светодиоды, характеристики, полупроводниковые устройства.

Снижение или увеличение уровня светового излучения уменьшит нагрузку на органы зрения, повысит эффективность рабочего процесса и снизит напряженность трудового процесса, этим обусловлена актуальность создания умного светодиодного макета.

Целью данной работы является создание программы проектной модели, позволяющей изменять излучение светодиода в зависимости от уровня освещенности окружающей среды.

Данный проект может применяться в качестве дополнительного или замещающего освещения на различных рабочих местах.

Выводные светодиоды — это полупроводниковые приборы, которые преобразуют электрическую энергию в световое излучение. Они имеют компактную конструкцию с выводами, которые используются для подключения к электрической цепи. Светодиоды обладают высокой энергоэффективностью, низким энергопотреб-

лением и длительным сроком службы, что делает их популярными для использования в различных электронных устройствах, включая индикаторы, освещение и декоративные элементы.

Основные характеристики выводных светодиодов включают их яркость, выраженную в канделях (cd) или люменах (lm), рабочее напряжение ток и угол рассеивания света. Светодиоды выпускаются в разных цветах, которые зависят от длины волны излучаемого света: от инфракрасного до ультрафиолетового. Также существуют RGB-светодиоды, которые могут излучать свет разного цвета благодаря комбинации трёх кристаллов: красного, зелёного и синего.

Особенностью выводных светодиодов является их простота в использовании. Они часто используются в качестве индикаторов, поскольку легко интегрируются в схемы с низким напряжением. Благодаря высокой механической прочности и устойчивости к вибрациям, све-

тодиоды подходят для эксплуатации в сложных условиях [1]. Однако при их применении важно учитывать правильное подключение через резисторы для ограничения тока, чтобы избежать повреждения кристалла. Программный код писался в программной среде Arduino IDE показанный на рис. 1. С помощью программной среды возможно составлять программы и компилировать их в машинный код, в последующем возможно интерпретировать созданную концепцию на любые версии платы Arduino [2]. Необходимо создать и протестировать конечный скетч для Arduino IDE, который объединит все модули: инициализацию портов, чтение датчика, алгоритм регулировки, вывод управляющего сигнала и обработку внешних команд. Обеспечить его совместимость с аппаратной платформой Arduino Uno и ее аналогами.

SMD-Светодиоды

Выводные SMD-светодиоды (Surface-Mount Device) представляют собой компактные полупроводниковые приборы, предназначенные для поверхностного монтажа на печатную плату. В отличие от традиционных светодиодов с длинными выводами, SMD-светодиоды имеют более плоскую конструкцию и короткие контактные площадки, что делает их удобными для массового автоматизированного производства. Они отличаются высокой яркостью и долговечностью, что делает их востребованными в современной электронике, включая подсветку дисплеев, декоративное освещение и индикаторные схемы.

Особенностью выводных SMD-светодиодов является их высокая эффективность при минимальных габаритах. Они обеспечивают равномерное распределение света и обладают низким тепловыделением. Однако для их уста-

новки требуется специальное оборудование, так как поверхностный монтаж сложнее, чем традиционный [3].

COB-Светодиоды

Выводные COB-светодиоды (Chip-on-Board) представляют собой полупроводниковые устройства, в которых множество кристаллов светодиодов размещены на одной подложке и соединены в единую световую матрицу. Такая конструкция обеспечивает высокую плотность свечения и равномерное распределение света, что делает COB-светодиоды популярными в мощных осветительных системах, таких как прожекторы, уличное освещение и светильники общего назначения. Благодаря своему дизайну, они обладают улучшенной теплоотдачей, что способствует их долговечности.

Основные характеристики COB-светодиодов включают высокую световую эффективность, низкое энергопотребление и широкий диапазон цветовых. Они работают при напряжении от 12 до 36 В в зависимости от мощности, а ток через них может достигать нескольких ампер. COB-светодиоды обеспечивают мягкое, равномерное освещение, отличающееся от других типов светодиодов [3]. Однако для их работы требуется использование драйверов, поддерживающих стабильный ток.

Особенностью COB-светодиодов является их высокая светоотдача при компактных размерах, что делает их идеальными для создания мощных и эффективных осветительных приборов. Однако они требуют качественного теплоотвода, так как плотность размещения кристаллов приводит к значительному выделению тепла. Для монтажа часто используются алюминиевые подложки или радиаторы. COB-светодиоды подходят для применения в си-

```

1 void setup() {
2     // put your setup code here, to run once:
3     // Пины
4     const int ledPin = 9; // Пин для подключения светодиода (PWM)
5     const int potPin = A0; // Пин для подключения потенциометра (аналоговый)
6
7     void setup() {
8         pinMode(ledPin, OUTPUT); // Устанавливаем пин светодиода как выход
9     }
10
11    void loop() {
12        // Считываем значение с потенциометра (от 0 до 1023)
13        int potValue = analogRead(potPin);
14
15        // Преобразуем значение потенциометра в диапазон для PWM (от 0 до 255)
16        int pwmValue = map(potValue, 0, 1023, 0, 255);
17
18        // Управляем яркостью светодиода
19        analogWrite(ledPin, pwmValue);
20
21        // Небольшая задержка для стабильности
22        delay(10);
23    }

```

Рис. 1. Программный код управления светодиодом

стемах как с направленным, так и с рассеянным светом, обеспечивая высокий уровень комфорта освещения [4].

Данные типы светодиодов возможно использовать для создания прототипа.

Литература:

1. Чулакова А. А., Андреева Е. В. Исследование ранка светодиодов в РФ как базы для внедрения светодиодов повышенной светимости [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru> (дата обращения: 07.12.25)
2. Arduino IDE — описание [Электронный ресурс]. URL: <https://blog-programmista.ru/post/80-arduino-ide-cto-eto-za-programma.html>.
3. Виды светодиодов, маркировка и параметры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.svetstk.ru> (дата обращения: 07.12.2025)
4. COB LED: что это такое, характеристики и параметры светодиодной лампы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://emitter.pro> (дата обращения: 09.12.25).

Эффективность использования современных электронных навигационных систем (ECDIS, AIS, ARPA) в предотвращении столкновений на море

Цзи Денис, студент;

Семенюта Егор Дмитриевич, студент

Научный руководитель: Аносов Алексей Николаевич, старший преподаватель

Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского (г. Владивосток)

Статья посвящена оценке эффективности применения ECDIS, AIS и ARPA в предотвращении столкновений на море с учётом требований COLREG и СОЛАС. На основе анализа международных норм и руководящих документов IMO обосновывается процедурно-измеримый подход к оценке качества использования электронных навигационных средств. Научная новизна заключается во введении индикатора «уровня перекрёстного подтверждения целей», предполагающего верификацию параметров сближения по независимым каналам наблюдения (радиолокация/ARPA, визуальный контроль) и кооперативным данным AIS. Практическая значимость связана с формализацией мостиковых процедур и требований к подготовке судоводителей, направленных на снижение риска столкновений.

Ключевые слова: предотвращение столкновений, радиолокационное сопровождение, ситуационная осведомлённость, человеческий фактор.

Современная практика предотвращения столкновений на море всё в большей степени опирается на интегрированное применение электронных навигационных средств, прежде всего ECDIS, AIS и радиолокационного комплекса с ARPA. Однако принципиально важно подчеркнуть: цифровая «насыщенность» мостика не отменяет требований международных правил расхождения и не снижает ответственности судоводителя за правильную оценку обстановки и своевременный манёвр. Так, COLREG прямо закрепляет необходимость постоянного надлежащего наблюдения «зрением и слухом, а также всеми доступными средствами» и предписывает «надлежащее использование радиолокационного оборудования, если оно установлено и находится в рабочем состоянии», включая дальний обзор и радиолокационную прокладку либо эквивалентные систематические наблюдения.

Регуляторная логика, лежащая в основе обязательного оснащения судов перечисленными системами, исходит из модели «многослойных барьеров»: потенциальная опасность столкновения должна быть выявлена как можно

раньше, оценена несколькими независимыми источниками информации и нейтрализована корректным манёвром в соответствии с COLREG. AIS в этом контуре выступает кооперативным источником данных «судно-судно/берег» и в соответствии с требованиями СОЛАС должен быть установлен на судах установленной категории; при этом IMO фиксирует, что требование по AIS стало полностью действующим для всех судов, подпадающих под правило, к 31 декабря 2004 года, а также предписывает поддерживать AIS во включённом состоянии за исключением случаев, когда международные нормы допускают защиту навигационной информации. Важнейшее методическое следствие — AIS не может считаться исчерпывающей «картиной трафика»: IMO прямо предупреждает, что «не все суда несут AIS», а также допускается его выключение по профессиональному суждению капитана; следовательно, информация AIS потенциально может быть неполной или некорректной для задач предотвращения столкновений и подлежит обязательной проверке другими средствами. Дополнительный риск усиливается

ется особенностями формирования данных AIS: профиль IALA подчёркивает, что часть сведений вводится или обновляется вручную, поэтому возможны ошибки ввода и «устаревание» введённых параметров (включая статические и рейсовые данные).

ECDIS, в свою очередь, выполняет роль «геопространственного ядра» мостика: согласно пересмотренным стандартам IMO ECDIS — это навигационная информационная система, которая при наличии адекватного резервирования может быть принята как соответствующая требованиям СОЛАС по актуальным картам, отображая данные официальных электронных навигационных карт и позиционные данные датчиков для планирования и контроля маршрута. Практически критичным является то, что обязательность оснащения ECDIS вводилась поэтапно: ИМО в разъяснительном документе по официальным электронным картам фиксирует, что обязательное ношение ECDIS по СОЛАС (V/19.2.10) вводилось ступенчато в период с 1 июля 2012 года по 1 июля 2018 года. Это означает, что сегодня ECDIS де-факто является базовой системой маршрутного и навигационного контроля на значительной части флота, и эффективность предотвращения столкновений во многих районах судоходства напрямую связана не столько с « наличием ECDIS », сколько с качеством её эксплуатации: корректностью настроек безопасности, актуальностью программного обеспечения и стандартов, дисциплиной процедур.

ARPA занимает особое место, поскольку опирается на независимую физическую основу (радиолокационное обнаружение отражений) и тем самым служит инструментом верификации кооперативных источников (AIS) и контроля целей, которые AIS не передают. В стандартах IMO для ARPA цель сформулирована предельно практически: система должна снижать нагрузку наблюдателя, обеспечивая автоматическое получение информации о целях и «непрерывную, точную и быструю оценку ситуации» для улучшения предотвращения столкновений. Одновременно IMO задаёт функциональную рамку радиолокационного оборудования: радар (в сочетании с другими датчиками или сообщаемой информацией, например AIS) должен поддерживать формирование «усиленного образа трафика» и использоваться в режиме «судно–судно» для предотвращения столкновений обнаруженных и «сообщённых» опасностей. Здесь проявляется ключевой принцип эффективного применения комплекса ECDIS–AIS–ARPA: не «дублирование» одинаковых данных, а взаимная калибровка и независимая проверка по разным каналам наблюдения.

С научно-прикладной точки зрения эффективность использования ECDIS, AIS и ARPA в предотвращении столкновений целесообразно трактовать как измеримую способность мостика проходить четыре последовательные стадии управления риском столкновения: (1) раннее обнаружение потенциально опасной цели; (2) корректная оценка риска (включая CPA/TCPA, тенденции сближения, контекст района и ограничений маневрирования); (3)

выбор решения, совместимого с COLREG и текущими условиями; (4) своевременное выполнение манёвра и контроль результата. Такой подход позволяет формализовать вклад каждой системы и одновременно выявлять типовые «провалы» на стыке человек–машина.

Новизна предлагаемой постановки заключается в том, что оценка эффективности переносится с «факта наличия электронных систем» на качество их совместного применения через показатель подтверждённости навигационной картины (уровень перекрёстного подтверждения). На практическом уровне этот показатель может описываться матрицей согласованности источников: цель считается подтверждённой для маневрирования, когда её параметры (пеленг/дальность/относительное движение) согласуются между ARPA-отслеживанием и визуальным/оптическим наблюдением, а идентификационные сведения (тип, название, намерения при радиосвязи) согласуются с данными AIS; при расхождении приоритет отдается независимому обнаружению (радар/наблюдение) и требованиям COLREG о недопустимости выводов на «скучной информации», особенно «скучной радиолокационной информации». Такой критерий позволяет переводить обсуждение «доверия к электронике» в процедуру: не верить/не верить, а проверять и документировать.

Нормативно-методическая база IMO поддерживает именно процедурный подход. В актуализированном руководстве IMO по хорошей практике ECDIS (MSC.1/Circ.1503/Rev.2) отдельно подчёркнута необходимость прояснения принципов, процедур и документирования бортовых обновлений ECDIS для демонстрации постоянного соответствия требованиям, а также описаны вопросы обучения и безопасного использования, включая акцент на повышении осведомлённости о рисках неправильной эксплуатации. Документ содержит прикладные ориентиры, напрямую влияющие на риск столкновения: например, в части подготовки отдельно выделяется правильный ввод «safety data», включая контур безопасности, безопасную глубину и связанные события. Иными словами, даже при технически исправном оборудовании ошибка в базовых настройках безопасности или неверная интерпретация слоёв/масштабов на ECDIS способна привести к запаздыванию распознавания опасного сближения либо к ложной уверенности в «безопасности» ситуации.

Актуальность темы подтверждается тем, что столкновения остаются значимой составляющей морской аварийности в современных статистиках. В данных Eurostat по смертельным исходам в морских авариях с участием судов ЕС зафиксировано, что в 2024 году погибло 13 человек (рост относительно 2023 года), причём источником данных выступают сообщения в систему EMSA/EMCIP. В аналитических материалах по сводной аварийности за 2014–2023 годы (на основе EMCIP) среди основных причин смертельных исходов в происшествиях с судами отдельно выделяются столкновения. Для исследуемой проблемы это означает: «цифровизация мостика» сама по

себе не является гарантией, а потому критической становится управляемость человеческого фактора и устойчивость процедур применения ECDIS/AIS/ARPA.

В качестве итогового научно-практического результата целесообразно формировать «профиль эффективности» мостика для предотвращения столкновений — не в виде декларации, а как совокупность проверяемых индикаторов: доля целей, подтверждённых независимыми источниками (радар/ARPA + AIS + визуально); доля манёвров, выполненных при достоверной оценке риска и без опоры на один канал данных; соответствие фактических на-

строек ECDIS параметрам безопасности судна и района; наличие и корректность документации по обновлениям ECDIS и совместимости стандартов; устойчивость на выков экипажа на тренажёрах в типовых сценариях (ограниченная видимость, плотный трафик, пересечения курсов, навигационные ограничения). При таком подходе эффективность современных электронных навигационных систем становится измеримой характеристикой качества мостиковых процессов, а предотвращение столкновений — управляемым результатом совместной работы технологий, норм COLREG и подготовки судоводителя.

Литература:

1. Российский морской регистр судоходства. Правила по оборудованию морских судов. Часть V. Навигационное оборудование. НД № 2-020101-096. — Санкт-Петербург: РМРС, 2017. — 162 с.
2. Международные правила предупреждения столкновений судов в море, 1972 (МППСС-72): [на рус. и англ. яз.] — 5-е изд., испр. — М.: Моркнига, 2011. — 156 с.
3. International Maritime Organization. Resolution MSC.232(82) (adopted on 5 December 2006). Adoption of the Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). — London: IMO, 2006.
4. International Maritime Organization. MSC.1/Circ.1503/Rev.2. ECDIS — Guidance for Good Practice (28 November 2022). — London: IMO, 2022.
5. International Maritime Organization. Resolution A.1106(29) (Adopted on 2 December 2015). Revised guidelines for the onboard operational use of shipborne automatic identification systems (AIS). — London: IMO, 2015.

Управление рисками при буксировке и таранно-ремонтных операциях в сложных погодных условиях

Цзи Денис, студент;

Семенюта Егор Дмитриевич, студент

Научный руководитель: Лесогор Ольга Константиновна, старший преподаватель
Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского (г. Владивосток)

В статье рассматривается риск-ориентированное управление буксировкой и таранно-ремонтными операциями при неблагоприятных гидрометеорологических факторах (волнение, ветер, ограниченная видимость, обледенение) как задача динамического принятия решений в условиях дефицита времени. На основе актуальных требований и рекомендаций IMO по аварийному буксированию предложена модель «погодного окна безопасности», в которой допустимость продолжения работ определяется не только порогами внешней среды, но и измеримыми параметрами готовности: временем развертывания средств аварийного буксирования, доступностью/маркировкой элементов, надежностью процедур и безопасностью палубных работ. Научная новизна заключается в формализации критерия go/no-go через вероятность превышения операционных ограничений внутри времени выполнения ключевого действия (соединение, выборка/сдача линии, удержание положения для ремонта), что повышает воспроизводимость управленческих решений в SMS и снижает риск вторичных повреждений и травматизма.

Ключевые слова: буксировка, аварийное буксирование, таранно-ремонтные операции, сложные погодные условия, погодное окно, управление рисками, критерии go/no-go, безопасность палубных работ, морские порты.

Вопрос управления рисками при буксировке и конструктивно-ремонтных (в т. ч. выполняемых после ударных контактов типа «навал/таран» и при удержании/перемещении повреждённого судна буксирами) операций в сложных погодных условиях в последние годы приобрёл прикладную остроту по двум причинам. Во-первых, за-

метно усиливается нормативная «оцифровка» требований к аварийному буксирному обеспечению судов: с 1 января 2024 г. для новых водоизмещающих судов (кроме НСК и оффшорных единиц) в рамках SOLAS регл. II-1/3-8 закреплена обязанность иметь буксирно-швартовые устройства и конструкции с достаточной безопасной ра-

бочей нагрузкой (SWL) для безопасного выполнения операций буксировки и швартовки при нормальной эксплуатации; при этом руководство IMO MSC.1/Circ.1175/Rev.1 определяет область применения и вводит единый подход к проектированию соответствующих устройств и опорных конструкций, а также оговаривает применимость к судам, построенным с 1 января 2024 г. Во-вторых, SOLAS регл. II-1/3-4 в редакции поправок MSC.549(108) расширяет требования по аварийным буксирующим устройствам на новые суда, отличные от танкеров, валовой вместимостью не менее 20 000 (ожидаемая дата вступления в силу — 1 января 2028 г.), что прямо связано с целью облегчить аварийную помощь и буксировку и тем самым снизить риск крушений и загрязнения.

На уровне системы управления безопасностью риск-ориентированный подход уже давно закреплён в Международном кодексе по управлению безопасной эксплуатацией судов (ISM Code): компания должна идентифицировать потенциальные аварийные ситуации на судне, установить процедуры реагирования и обеспечить программы учений и тренировок. Существенно, что обновлённые «Revised Guidelines... on preparing emergency towing procedures» IMO (MSC.1/Circ.1255/Rev.1, утверждены MSC на 110-й сессии в июне 2025 г.) прямо связывают аварийные буксирующие процедуры с готовностью к аварийным ситуациям по ISM Code и подчёркивают: аварийная ситуация не оставляет времени на длительные обсуждения, поэтому процедуры должны быть заранее отработаны; дополнительно выделяются практические аспекты работы в условиях плохой/низкой видимости и ночью (включая готовность по питанию лебёдок/инструмента и палубному освещению). Это важно для «сложной погоды» не только как ветро-волнового воздействия, но и как сочетания факторов (видимость, обледенение, осадки, темнота, порывистый ветер), которые резко увеличивают вероятность ошибочных действий на палубе и задержек при развертывании средств буксировки/ремонта.

Методологически в статье принимается рамка управления рисками как управленческого процесса «идентификация → анализ → оценка → обработка → мониторинг и коммуникации», допускающего адаптацию под конкретную организацию и операцию. Однако для морских операций в плохую погоду ключевым ограничением становится динамичность риска: параметры окружающей среды меняются в масштабе минут и часов, а «контуры управления» (принятие решения, подготовка палубы, развертывание аварийной буксировки, выполнение временного ремонта) имеют конечную длительность и зависят от человеческого фактора. Поэтому статическая матрица риска, составленная «на берегу», часто оказывается недостаточной: она фиксирует опасности, но плохо описывает, как быстро операция переходит из контролируемого состояния в неконтролируемое при ухудшении погоды, отказе оборудования или задержке действий экипажа.

Научная новизна предлагаемого подхода заключается в формализации динамического «погодно-операционного окна безопасности» для буксировки и контактно-ремонтных операций как функции не только предельных метеоусловий, но и трёх дополнительных групп переменных: (1) готовности судна к аварийному буксированию, (2) ресурсной обеспеченности буксировочного ордера, (3) времени развертывания и выполнения критических действий. В отличие от традиционного описания «допустимой погоды» как единственного порога (например, «работать до ...»), вводится понятие вероятностного превышения операционных ограничений внутри времени выполнения критического шага (соединение буксирующей линии, постановка чокера/снабжения, установка пластира/временной герметизации, безопасное отведение от опасной акватории). Такой переход позволяет согласовать управление рисками с логикой ISM Code (процедуры + тренировки) и с нормативными требованиями IMO к быстрому развертыванию аварийных средств.

Для операционализации указанного окна предлагаются разложение риска на три взаимосвязанных «слоя». Первый слой — нормативно-конструктивная готовность судна к буксировке в аварии. С 2028 года для новых судов, отличных от танкеров, $\geq 20\ 000$ GT предполагается наличие Emergency Towing Arrangement (ETA), спроектированного для облегчения аварийной буксировки и рассчитанного на требуемую буксирующую нагрузку, зависящую от Equipment Number (EN). В MSC.1/Circ.1691 приведены конкретные значения требуемой буксирующей нагрузки (kН) и условия прочности: например, для $EN < 3000-1000$ кН; для $3000 \leq EN < 10\ 000-2000$ кН; для $EN \geq 10\ 000$ — $EN \cdot 0,2$ или больше по решению администрации, а также требование обеспечить достаточную прочность для углов буксирующей линии до 90° по горизонту от ДП и 30° вниз по вертикали. Там же закреплены критически важные для плохой погоды свойства «доступности»: ETA должна обеспечивать быстрое развертывание при отсутствии главной энергии на буксируемом судне, быть удобной для соединения с буксиром, иметь ясную маркировку для использования в темноте и плохой видимости и (в портовых условиях) развертываться «не более чем за один час». Эти параметры становятся измеримыми индикаторами риска: если фактическое время подготовки превышает нормативно ожидаемое, «операционное окно» по погоде сужается даже при неизменных ветро-волновых условиях.

Второй слой — процедурная готовность экипажа и качество аварийных буксирующих процедур. Обновлённые рекомендации MSC.1/Circ.1255/Rev.1 фиксируют, что буксирующие процедуры должны быть на борту для немедленного применения, экипаж должен знать места хранения и доступность оборудования, а сами процедуры должны практиковаться заранее, поскольку в реальной аварии времени на «размышления» нет. Для сложной погоды это означает, что риск определяется не только вероятностью внешнего воздействия, но и вероятностью задержек/ошибок в условиях ограниченной видимости,

обледенения и сниженной работоспособности персонала. В предлагаемой модели это выражается через коэффициент процедурной надёжности, калибруемый по данным учений и реальных тревог: доля успешных развертываний без критических замечаний, фактическое время выполнения ключевых шагов, число «почти-ошибок» (near miss) на палубе. Такая калибровка соответствует духу ISM Code (идентификация аварийных ситуаций, процедуры и тренировки) и позволяет переводить «человеческий фактор» из декларативного в измеримый.

Третий слой — динамика внешней среды и взаимодействие «буксир-буксируемое судно-линия» при плохой погоде. Здесь научно-прикладной вклад состоит в увязке прогноза и фактического мониторинга с управлениемскими порогами. Сама по себе неблагоприятная погода не является бинарным запретом; ключевой вопрос — превышает ли комбинация факторов вероятность перехода в опасное состояние в течение времени, необходимого для критического действия. Поэтому предлагается использовать не точечный прогноз, а «вероятностный коридор» (например, по ансамблевым/многомодельным прогнозам и nowcasting), и оценивать вероятность превышения операционных ограничений на горизонте Δt , равном длительности критического шага (например, «передача мессенджера и выборка снабжения», «закрепление на strongpoint», «создание безопасной конфигурации для временного ремонта»). Формально критерий «go/no-go» может задаваться как: вероятность превышения хотя бы одного предела (ветер/волнение/видимость/обледенение/дрейф) в интервале Δt должна быть ниже заданного организацией допуска; этот допуск выбирается с учётом тяжести последствий и требований администрации/класса. Важный момент: такая постановка не требует «выдуманных» универсальных порогов — она предлагает перенос центра тяжести на управляемую величину (вероятность в заданном временном окне), которую организация может обосновать и задокументировать в SMS.

Отдельного рассмотрения требуют контактно-ремонтные операции, которые по природе сочетают буксирное воздействие и элементы ремонта/восстановления

(герметизация повреждений, удержание на месте для работ водолазов/ремонтной партии, отвод от опасного района, обеспечение швартовых/буксирных перемещений при ограниченной управляемости судна). В таких операциях риск часто задаётся не длительным «равномерным» буксированием, а короткими, но критичными переходами режимов: приближение и безопасный контакт буксира, удержание с минимизацией ударных нагрузок, манёвры при порывах ветра и изменении волнения, предотвращение навала на сооружения/суда. Для них предлагаются расширить реестр опасностей по сравнению с «обычной буксировкой»: добавляются (а) риск вторичного повреждения корпуса/надстроек из-за ударных контактов, (б) риск травматизма палубной команды из-за работ в зоне контакта и на мокрой/обледенелой палубе, (в) риск потери контроля положения судна при ухудшении видимости и связи, (г) риск отказа критических энергетических потребителей (лебёдки, освещение, связь), прямо выделяемый в буксирных руководствах как фактор эффективности действий в тёмное время и при плохой видимости.

Практическая импликация предложенной модели — построение единого «контрольного листа решений» для капитана, старшего помощника и буксирного руководителя операции, который связывает: (1) текущую и прогнозную обстановку, (2) готовность аварийных средств (ETA/буксирно-швартовное оборудование, доступность strongpoint/закрытых клюзов, маркировка, освещение), (3) фактическое время выполнения процедур и (4) сценарии эскалации (прекращение попыток соединения, уход на безопасную дистанцию, смена района, ожидание улучшения в рамках «окна», запрос дополнительных буксиров/поддержки). При этом нормативные требования IMO могут использоваться как опорные «контрольные числа» для планирования: способность ETA развернуться в портовых условиях в пределах часа и быть пригодной к применению даже при отсутствии главной энергии, а также требования к маркировке для темноты/плохой видимости и к регулярным осмотрам и поддержанию в работоспособном состоянии.

Литература:

1. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 12.11.2021 № 395 (ред. от 04.12.2023) «Об утверждении Общих правил плавания и стоянки судов в морских портах Российской Федерации и на подходах к ним» (зарегистрирован в Минюсте России 01.06.2022 № 68677).
2. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 11.12.2020 № 886н (ред. от 29.04.2025) «Об утверждении Правил по охране труда на морских судах и судах внутреннего водного транспорта» (зарегистрирован в Минюсте России 30.12.2020 № 61969).
3. International Maritime Organization. MSC.1/Circ.1255/Rev.1. Revised Guidelines for owners/operators on preparing emergency towing procedures. London, 28.08.2025.
4. International Maritime Organization. MSC.1/Circ.1691. Interim Guidelines for emergency towing arrangements on ships other than tankers. London, 28.08.2025.
5. ISO 31000:2018. Risk management — Guidelines. Geneva: International Organization for Standardization, 2018.

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Технологии подачи бетонной смеси при строительстве небоскребов

Дунаева Вероника Павловна, студент магистратуры

Научный руководитель: Давиденко Анна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент
Самарский государственный технический университет

В статье рассмотрены методы подачи бетонной смеси при производстве монолитных работ при строительстве высотных зданий. На основании анализа проведена оценка преимуществ использованных технологий и проблем при возведении высотных зданий в монолитном исполнении.

Ключевые слова: монолитное строительство, высотные здания, небоскребы, Бурдж-Халифа, бетононасос, автоматизация строительных процессов.

Строительство многоэтажных жилых и коммерческих зданий требует решения сложнейших технических задач, в том числе подачи бетонной смеси на этажи, расположенные на значительных высотах. Традиционные методы — подача с использованием стрел кранов или механизированной транспортировки вручную — на современных объектах оказываются неэффективными или вовсе непригодными из-за ограничений по скорости, безопасности и качеству выполнения работ [9]. С развитием техники и материалов, подача бетонной смеси стала опираться на высокоэффективные насосы, специализированные системы бетонопроводов и методы оптимизации реологии смеси. Это обусловлено тем, что от эффективности подачи напрямую зависит качество структуры конструкции, темпы возведения здания, а также безопасность настройплощадке.

Согласно СП267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные» здание, имеющее высоту более 75 м считается высотным, в градостроительном кодексе РФ закреплено понятие уникального объекта — объект высотой более 100 м, а в международной практике «небоскребом» принято считать здания, имеющие высоту более 150 м, однако стандарты различных стран могут отличаться друг от друга.

Целью данной статьи является анализ метода подачи бетонной смеси при строительстве монолитных зданий выше 150 м на примере самого высотного монолитного здания — Бурдж-Халифа и выявление преимуществ и недостатков данного метода. Для достижения этой цели необходимо рассмотреть методологию производства монолитных высот данного здания.

Небоскреб Бурдж-Халифа в Дубае (ОАЭ), высотой 828 м состоит из 163 этажей и является примером одного из самого быстрозвездимого высотного строитель-

ства. При строительстве скорость возведения составляла 1–2 этажа в неделю, что позволило реализовать сложный проект в достаточно короткий срок [7]. На скорость возведения повлияли следующие факторы:

- разработка специальных видов бетона;
- применение скользящей самоподъемной опалубки;
- применение специального высоконапорного насосного оборудования для подачи бетонной смеси;
- круглосуточная работа строительной площадки.

Ввиду особо жаркого и сухого климата, для строительства башни были разработаны особые виды бетона: для устройства фундамента и свай — самоконсолидирующийся бетон (SCC), который заполняет форму опалубки без вибрации, что крайне важно при сваях глубокого заложения; для устройства несущих конструкций небоскреба — высокопрочный и высокомобильный бетон (HSC) с низкой проницаемостью и высокой плотностью для обеспечения долговечности и устойчивости к агрессивным условиям окружающей среды, сейсмическим нагрузкам до 6 баллов и ветровым нагрузкам [5]. Несмотря на использование специальных добавок в бетоне для замедления его схватывания, а также добавления льда для охлаждения бетонной смеси, работы велись исключительно в ночное время из-за жаркого климата. [6]

Подача бетонной смеси производилась до высоты 601 м специальным высоконапорным насосным оборудованием Putzmeister BSA 14000 SHPD с усиленными элементами для обеспечения давления выше 200 бар при вертикальной транспортировке бетонной смеси, не допуская ее расслаивания. Для доставки бетона на такую высоту использовались несколько насосных агрегатов и трубопровод для подачи смеси с усиленными стальными трубами, обеспечивающие высокую прочность и герметичность системы. [8]

При разработке концепции бетонирования для осуществления подачи бетонной смеси использовался стационарный бетононасос с бетоноводом DN150мм с толщиной стенки 11 мм, что позволило снизить давление на 25 % и, соответственно, уменьшить износ от трения по сравнению с меньшими диаметрами. [8]

В ходе выполнения монолитных работ линии подачи бетона были соединены с четырьмя стационарными стрелами Putzmeister. Три из них были соединены со стрелами типа MX28–4T, которые осуществляли укладку бетона в боковых частях здания. Стрелы MX28–4T были закреплены на платформах и установлены на трубчатых колоннах высотой 16 м, закрепленных между собой муфтами. Три стрелы были демонтированы одна за другой после завершения возведения стен. [8]

Укладка бетона в центральном ядре здания осуществлялась четвертой стрелой MX32–4T с вылетом 32 м, которая была установлена в трубчатой колонне (высотой 20 м каждая, закрепленных между собой муфтами) и смонтирована в шахте с устройством опор для поддержки конструкции и движущейся бетонной смеси. Подъем бетона осуществлялся гидравлическим способом, все четыре подъемные стрелы MX были установлены без балласта. Для резервного использования был предусмотрен еще один, пятый трубопровод. [8]

Вершина несущего ядра здания (выше 601 м) представляет собой стальную конструкцию, поэтому бетонирование плит перекрытий с уровня 156 этажа осуществлялось с использованием горизонтально проложенных бетоноводов.

Таблица 1. Преимущества использованных технологий и сложности, с которыми столкнулись при производстве монолитных работ при строительстве здания

№ п/п	Преимущества	Сложности
1	Использование специально разработанных видов бетона позволило замедлить время схватывания, воспринимать экстремальные вертикальные и горизонтальные нагрузки, обеспечить долговечность конструкций и их устойчивость к агрессивным условиям и сейсмическим нагрузкам	Разработка специальных видов бетона привела к необходимости дополнительного контроля качества на строительной площадке, так как высокопрочный бетон требует высокой точности к водоцементному отношению, температуре и времени его транспортировки. Также необходимость осуществлять работы в ночное время из-за экстремальных климатических условий
2	Применение скользящей и самоподъёмной опалубки обеспечило высокую скорость строительства и минимизацию монтажных операций по сравнению со сборными конструкциями	Для исключения образования холодных швов и дефектов производство монолитных работ должно вестись непрерывно. Также данный вид опалубки требует больших затрат на ремонт оборудования
3	Применение специального высоконапорного насосного оборудования с усиленными элементами для обеспечения необходимого давления для подачи бетонной смеси позволило транспортировать бетон на экстремальную высоту	Любая авария при подаче бетона на большую высоту могла привести к простою и браку значительных объёмов. Требования к исключительной надёжности оборудования и высокой квалификации персонала, что приводит к увеличению затрат

Таким образом, при строительстве небоскреба Бурдж-Халифа использовались не только традиционные методы бетонирования, но и совокупность инженернотехнологических инноваций, включая специально адаптированные бетонные смеси, высоконапорную подачу бетона на рекордные высоты, интегрированные насосные станции, оп-

тимизированные линии подачи бетона и современные подходы к контролю качества и логистике на стройплощадке, которые позволили реализовать уникальный объект с объемом затраченного бетона при производстве монолитных работ 250 тыс. м³ [5] и несмотря на трудности, с которыми столкнулись при производстве монолитных работ.

Литература:

- Myoungsung Choi, Chiara F. Ferraris, Nicos S. Martys, Van K Bui, H. R. Trey Hamilton, Didier Lootens // NIST Technical Note 1866 / — 2015. / P. — 1–24.
- Ling Zhen Ba, Yi Bo Yang, Song Liang, Hai Hong Mo, Hong Cao, Ting Jin Liu, Jun Sheng Chen // Key Engineering Materials / — 2009. — Vols. 405–406/ P. — 110–116.
- Голубев Н. М. Себестоимость и трудоемкость работ при возведении монолитных конструкций в зависимости от применяемых средств механизации.
- Кузнецова Е. В. Эффективные технологии возведения многоэтажных зданий // Оренбургский государственный университет.

5. Structural Details of Burj Khalifa [Электронный ресурс] // Build-Construct.com. — Режим доступа: <https://build-construct.com/structures/burj-khalifa-structural-details>
6. Pumps & Systems. Concrete Pumps Reach Record-Breaking Heights at Burj Khalifa [Электронный ресурс] // Pumps & Systems. — Режим доступа: <https://www.pumpsandsystems.com/concrete-pumps-reach-record-breaking-heights-burj-khalifa>
7. The Constructor. Structural details, concrete grades and foundations of Burj Khalifa [Электронный ресурс] // The Constructor. — Режим доступа: <https://test.theconstructor.org/structures/structural-details-burj-khalifa-concrete-grade-foundations/20512/>
8. Putzmeister. Burj Khalifa, Dubai — Success Story [Электронный ресурс] // Putzmeister. — Режим доступа: https://www.putzmeister.com/ja/web/european-union/success-story-detail/-/asset_publisher/burj-khalifa-dubai-united-arab-emirates
9. Dr. Manjunatha LR // High-rise concrete pumping for skyscraper construction [Электронный ресурс] // Academia.edu. — Режим доступа: https://www.academia.edu/144830191/High_rise_concrete_pumping_for_skyscraper_construction?utm_source

Технология реконструкции подземного железобетонного резервуара

Жердева Анна Сергеевна, студент

Научный руководитель: Юдина Антонина Фёдоровна, доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье автор описывает особенности технологической последовательности при реконструкции подземного железобетонного резервуара для хранения нефтепродуктов.

Ключевые слова: железобетонный резервуар, реконструкция подземных сооружений, усиление конструкций подземного железобетонного резервуара.

Подземные железобетонные резервуары, проекты и строительство которых было выполнено в 60–70-х годах прошлого столетия эксплуатируются до настоящего момента. Данная технология реконструкции применяется для подземного железобетонного резервуара объемом 10 000 м³ для хранения мазута. Фундаменты под колонны столбчатые, колонны сечение 400×400 мм, шаг колонн 6×6, стенные панели сборные железобетонные с 2-х ярусной разрезкой и ребристые плиты покрытия. В связи с наличием дефектов железобетонных конструкций, таких как трещины в бетоне, коррозия арматуры, отсутствие защитного слоя бетона, фильтрация мазута через трещины в грунте, подъем уровня грунтовых вод требуется восстановление конструкций подземного резервуара.

До начала реконструкции объекта должны быть выполнены работы по организационно-технической подготовке, подготовке к выполнению строительно-монтажных работ [1]. Производство работ по реконструкции железобетонного подземного резервуара поделено на этапы. В состав работ входят подготовительный, семь этапов основных работ и завершающий этап.

Подготовительный этап. Устройство 2-х скважин диаметром 700 мм с автоматическим режимом работы для понижения уровня подземных вод во время производства работ по усилению резервуара, с дальнейшей эксплуатацией их в качестве наблюдательно-эксплуатационных.

Наблюдение за режимом уровня подземных вод по наблюдательной скважине с корректировкой порядка производства работ при отметке уровня вод от люка наблюдательной скважины менее 8 метров.

Устройство 3-х проёмов в покрытии резервуара для освещения и вентиляции внутреннего пространства резервуара, для подачи строительных материалов. Устройство ходовых настилов по покрытию резервуаров.

Первый этап. Очистка резервуаров от донных остатков. Устройство 2-х дренажных приямков в существующем днище резервуара для сбора и откачки в период производства работ, просачивающихся через днище и стены нефтепродуктов и подземных вод.

Установка насосов и организация откачки воды из дренажных приямков погружными насосами.

Выполнением первой очереди бетонирования днища толщиной 200 мм бетоном В 12,5 и плотностью бетона $\geq 2200 \text{ кг}/\text{м}^3$ с формированием рёбер плиты 2-го этапа и отбором образцов (кубиков) бетона для лабораторных испытаний.

Второй этап. Обработка поверхности бетона 1-й очереди 5 % дисперсией ГКЖ 94.

Выполнение 2-й очереди бетонирования днища из бетона класса В20П с маркой водонепроницаемости W6 по захваткам (всего 56 захваток) с последовательностью бетонирования — от периферийных зон — к дренажному приямку. Фрагмент разреза резервуара представлен на рисунке 1.

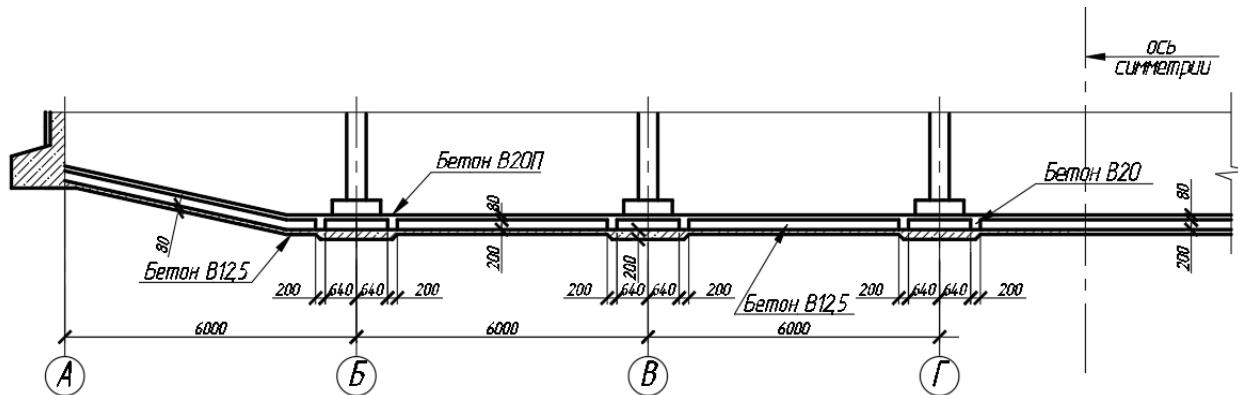


Рис. 1. Фрагмент разреза днища резервуара

До бетонирования произвести подбор состава исходных материалов бетона в строительной лаборатории с изготовлением 6 кубиков и провести их испытание.

В пределах выбранной захватки бетонирования поверхности бетона пропарить ветошью с удалением просочившихся нефтепродуктов в рёбрах бетонного днища 1-й очереди бетонирования. Очистка, монтаж арматуры и бетонирование в пределах каждой захватки должны быть выполнены в течение одной рабочей смены. В пределах захватки бетонирование выполняется литьевой бетонной смесью непрерывно.

Для укладки и уплотнения бетона над бетонируемой поверхностью укладывать переносные ходовые настилы. Не допускается хождение по арматурным сеткам и каркасам.

Из бетона каждой захватки отбирается один кубик (всего 56) для лабораторного контроля.

Третий этап. Снятие опалубки, ограничивающей контуры бетонирования захваток 2-го этапа, очистка поверхностей предшествующих этапов от мусора и наплывов, установка сеток 3-го этапа со сваркой их с выпусками сеток 2-го этапа и с анкерами, установленными в стены резервуара, разрешается по истечении 48 часов после завершения 2-го этапа работ по данной захватке.

Четвертый этап. Усиление низа колонн выполняется в процессе 2 этапа работ бетонирования днища резервуара. Требования к составу бетона и уходу за ним те же, что и для бетона днища.

Пятый этап. Ликвидация дренажных приямков выполняется путем устройства днища над ними после завершения работ 3-го этапа по бетонированию днища резервуара, усиления низа колонн и набора прочности бетоном

днища не менее 200 кг/см². Для этого: — откачать воду из стакана приямка; — заполнить стакан гидротехническим бетоном М 200 на быстротвердеющих цементах; — уложить арматурную сетку; — уложить бетон днища до отметки поверхности днища.

Шестой этап. Выполняются ходовые настилы вдоль стен и стойки для крепления наборной опалубки. Выполняется разметка отверстий с последующим продувом сжатым воздухом. В отверстия непосредственно перед установкой анкеров инъектируется эпоксидный состав (эпоксидный клей) для химических анкеров. Сразу после инъектирования клея в отверстие устанавливается анкер. После 48 часов отвердения разрешаются работы по приварке арматуры усиления стен к анкерам. Бетонирование стены в пределах захватки вести без перерывов в бетонировании.

Седьмой этап. Устройство вертикальных связей для повышения сейсмостойкости сооружения. Усиление плит покрытия.

Завершающий этап. На завершающем этапе восстанавливаются участки плит покрытия в местах устройства световых проёмов и кровельное покрытие.

Процесс выполнения работ по реконструкции подземного железобетонного резервуара требует соблюдения технологической последовательности при выполнении работ и своевременного оформления технической документации. Составляются акты на скрытые работы на устройство арматурных каркасов и на бетонные работы, акт по укладке бетона 1-й очереди с подтверждением актами лабораторных испытаний. По окончанию работ восстановления работоспособности резервуара скважины эксплуатируются в качестве наблюдательных за уровнем подземных вод.

Литература:

1. Реконструкция и техническая реставрация зданий и сооружений: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / А. Ф. Юдина. — 2-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 320 с. ISBN 978-5-7695-9091-7
2. СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (с Изменениями N 1-5).
3. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2).

Конструктивные особенности постройки юрты

Золотых Злата Андреевна, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье автор отмечает, что юрта является традиционным переносным жилищем кочевых народов Центральной Азии, Сибири и Южной России. Уникальность данной конструкции заключается в её простоте, мобильности, высокой энергоэффективности и адаптации к суровым природно-климатическим условиям. В статье рассматриваются конструктивные особенности постройки юрты, анализируются основные элементы её каркаса, применяемые материалы и инженерные принципы, обеспечивающие устойчивость, теплоизоляцию и долговечность сооружения. Особое внимание уделяется функциональности конструкции и её актуальности в современных условиях, включая экологическое и временное строительство.

Ключевые слова: юрта, традиционное жилище, каркасные конструкции, кочевая архитектура, экологичное строительство, теплоизоляция.

Введение

Юрта — одно из древнейших типов жилищ, сохранившихся до наших дней практически в неизменном виде. Она широко использовалась кочевыми народами, такими как казахи, киргизы, калмыки, буряты, монголы и тюркские племена. Основным назначением юрты было обеспечение комфорtnого проживания в условиях постоянных перемещений, резких перепадов температур, сильных ветров и ограниченных природных ресурсов [1].

Несмотря на простоту внешнего вида, конструкция юрты является результатом многовекового опыта и глубокого понимания законов механики, теплотехники и эргономики. Она сочетает в себе мобильность, устойчивость и энергоэффективность, что делает юрту актуальной не только в историческом, но и в современном контексте — например, в сфере экотуризма, временного жилья и экспериментального строительства [2].

Целью данной статьи является анализ конструктивных особенностей постройки юрты, а также выявление инженерных принципов, лежащих в основе её надёжности и функциональности.

Материал и методы исследования

Конструктивные особенности постройки юрты в данной работе исследуются на основе комплексного теоретического анализа. В качестве материалов исследования использовались научные труды, монографии и статьи, посвящённые традиционной архитектуре кочевых народов Центральной Азии, Сибири и южных регионов России, а также этнографические описания, содержащие сведения о технологии изготовления и сборки юрты [3].

Методологической основой исследования послужили аналитический и обобщающий подходы, позволившие систематизировать существующие знания о конструкции юрты и выявить основные принципы её формирования. В процессе работы применялся сравнительный анализ, с помощью которого конструкция юрты сопоставлялась с другими типами традиционных и современных кар-

касных сооружений, что дало возможность определить преимущества купольной формы, гибких соединений и разборного каркаса. Также использовался структурно-конструктивный анализ, направленный на рассмотрение отдельных элементов юрты — стеновых решёток, кровельных жердей, верхнего кольца и ограждающих конструкций — и их роли в обеспечении устойчивости, прочности и энергоэффективности жилища [4].

Для оценки эксплуатационных характеристик юрты применялся функциональный метод, позволяющий проанализировать условия формирования внутреннего микроклимата, особенности естественной вентиляции, теплоизоляционные свойства и устойчивость сооружения к воздействию ветровых и сугробных нагрузок. Историко-логический подход был использован для прослеживания эволюции конструкции юрты и выявления причин сохранения её основных конструктивных решений на протяжении длительного периода времени.

Рассмотрим подробнее конструкцию юрты. Юрта — это удивительно гармоничное и продуманное жилище, где каждый элемент выполняет свою функцию, создавая комфорт и устойчивость. Центральным элементом всей конструкции является шанырак — круглый купол вверху, который не только держит крышу, но и служит окном и вентиляцией. Через него проникает дневной свет, а дым от очага легко выходит наружу. Шанырак словно сердце юрты, вокруг которого выстраивается весь дом. Под шаныраком располагаются уконы, или радиальные балки крыши, которые расходятся, как лучи солнца, соединяя верхнюю часть стен с куполом. Эти балки придают юрте прочность и устойчивость, позволяя крыше выдерживать ветер и снег. Они обеспечивают правильный наклон крыши, благодаря чему вода легко стекает вниз. Сами стены юрты образуют гибкий, но крепкий каркас, называемый хан. Он состоит из деревянных решёток, которые соединяются в круг и создают основу всего жилища. Такая конструкция не только прочна, но и лёгка, что делает юрту удобной для сборки, разборки и транспортировки. Все эти элементы обшиваются войлоком, который издавна изготавливают из овечьей шерсти. Войлок защищает от хо-

лода и ветра, удерживает тепло зимой и сохраняет прохладу летом. Иногда сверху добавляют дополнительное покрытие из ткани или брезента для защиты от дождя.

Таким образом, юрта — это единая система, где каждая деталь органично вписывается в целое: шанырак регулирует свет и воздух, уконы поддерживают крышу, хан формирует каркас, а войлок создаёт комфортный микроклимат. Вся конструкция проста, но одновременно гениальна своей функциональностью и адаптивностью к условиям природы.

Результаты исследования

В результате проведённого исследования было установлено, что конструкция юрты представляет собой целостную и рационально организованную систему, сформированную с учётом природно-климатических, социально-бытовых и технологических условий жизни кочевых народов. Анализ конструктивных элементов показал, что каждый компонент юрты выполняет строго определённую функцию и находится в тесной взаимосвязи с остальными частями сооружения, обеспечивая его устойчивость, мобильность и комфортность эксплуатации [5].

В ходе структурно-конструктивного анализа выявлено, что основой прочности юрты является её каркас, состоящий из решётчатых стеновых элементов и радиально расположенных кровельных жердей, объединённых верхним кольцом. Купольная форма конструкции способствует равномерному распределению вертикальных и горизонтальных нагрузок, что повышает устойчивость сооружения к ветровым воздействиям и предотвращает накопление значительных снежных масс на кровле [6]. Отсутствие жёстких соединений и использование гибких креплений обеспечивают адаптивность конструкции к деформациям и подвижкам основания без потери целостности.

Результаты функционального анализа показали, что юрта обладает высокими теплоизоляционными характеристиками, достижимыми за счёт применения многослойных ограждающих конструкций из войлока и компактной формы объёма. Круглая планировка внутреннего пространства способствует равномерному распределению

тепла и снижению теплопотерь, а регулируемое отверстие в верхней части конструкции обеспечивает эффективную естественную вентиляцию и поддержание благоприятного микроклимата внутри жилища в различные сезоны года.

Сравнительный анализ с другими типами традиционных и современных каркасных сооружений позволил установить, что юрта отличается высокой скоростью сборки и разборки, минимальным количеством строительных материалов и отсутствием необходимости в капитальном фундаменте [7]. Эти особенности делают её особенно эффективной в условиях временного проживания и ограниченных ресурсов. Также было выявлено, что конструктивные принципы юрты во многом соответствуют современным требованиям устойчивого и экологичного строительства.

Историко-логический анализ подтвердил, что основные конструктивные решения юрты сохраняются на протяжении длительного времени без существенных изменений, что свидетельствует об их высокой эффективности и адаптивности [8]. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что юрта является не только важным объектом традиционной культуры, но и ценным источником инженерных решений, применимых в современных архитектурно-строительных практиках.

Выходы

Юрта представляет собой уникальный пример рационального и эффективного строительного решения, сформированного в результате многовекового взаимодействия человека с природой. Её конструктивные особенности — купольная форма, разборный каркас, гибкие соединения и натуральные материалы — обеспечивают высокую устойчивость, энергоэффективность и адаптивность к различным климатическим условиям.

В современных условиях юрта сохраняет свою актуальность, находя применение в экотуризме, временном жилье, культурных и образовательных проектах. Изучение конструктивных особенностей юрты позволяет не только лучше понять традиционную архитектуру, но и использовать её принципы при разработке современных экологичных и мобильных сооружений.

Литература:

1. Мамытова, А. Б. Технология изготовления и конструкции кыргызской юрты: традиции и материалы / А. Б. Мамытова // Вестник Жалал-Абадского государственного университета. — 2024. — № 3-1(61). — С. 142–152.
2. Кубанычбеков, Б. К. «Номадс юрта» (разработка умной юрты) / Б. К. Кубанычбеков // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. — 2023. — № 1(64). — С. 168–174.
3. Ургамал, Р. Развитие межкультурных лексических навыков у монгольских студентов-филологов при обучении чтению (по теме «Юрта») / Р. Ургамал, Ц. Сэрээнэн // Global and Regional Research. — 2021. — Т. 3, № 4. — С. 262–267.
4. Амиргазин, К. Ж. Казахская традиционная юрта -шедевр кочевой цивилизации / К. Ж. Амиргазин, Е. К. Амиргазин // Мир науки, культуры, образования. — 2019. — № 6(79). — С. 228–231. — DOI 10.24411/1991-5497-2019-10098.

5. Османалиева, Р. О. Юрта — как архитектурный объект в искусстве и моде / Р. О. Османалиева, А. О. Кармышакова // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. — 2014. — № 1. — С. 52–55.
6. Мишина, А. В. Конструктивное обеспечение мобильности древнейших кочевых жилищ (юрта) / А. В. Мишина // Вестник научных конференций. — 2017. — № 10–3(26). — С. 95–96.
7. Хачатрян, Н. А. Архитектурная идентичность: юрта как символ культуры / Н. А. Хачатрян // Актуальные проблемы гуманитарных и общественных наук: сборник статей XI Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 18–19 сентября 2025 года. — Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. — С. 398–402.
8. Мамытова, А. Б. Технология изготовления и конструкции кыргызской юрты: традиции и материалы / А. Б. Мамытова // Вестник Жалал-Абадского государственного университета. — 2024. — № 3–1(61). — С. 142–152.

Совершенствование технологии реконструкции промышленного здания

Исправников Сергей Борисович, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье автор исследует различные варианты усиления колонн при реконструкции промышленных зданий, приводятся примеры от типовых, широко известных технологий до современной технологии усиления, менее известной в строительных профессиональных кругах.

Ключевые слова: простенки, колонны, усиление, физический износ, обойма стальная, обойма железобетонная, оклейка, композит, углеволокно, инъектирование.

В современном мире с уверенностью можно предположить, что перепрофилирование морально устаревших производств будет подвержено реконструкции. Реконструкция строительных объектов — это переустройство зданий, установки современного оборудования и создание дизайнерского ландшафта. Под усилением строительной конструкции принимается совокупность действий, которые положительно влияют на улучшение ее несущей способности, жесткости, трещиностойкости, то есть всех тех факторов, которые необходимы для безопасной эксплуатации зданий и сооружений.

Как правило усиление железобетонных конструкций необходимо применять в следующих случаях:

— Изменение технологии производства, изменения функционала здания может привести к увеличению расчетных нагрузок на колонны и перекрытия;

— В процессе эксплуатации здания или сооружения происходит физический износ конструкций;

— Глубокая реконструкция, подразумевающая изменение пролетов, высот, шага колонн.

Новейшие разработки в технологии строительных работ позволяют наиболее эффективно проводить перепланировку, увеличение высоты помещений, усиление и замену конструкций. Хорошо обосновываются сроки на строительство — временные затраты на реконструкцию в 1,5–2 раза меньше, чем на новое строительство, в основном благодаря введению новых технологий и материалов. В статье предлагаются три основных метода усиления колонн, в третьем варианте предлагается рассмотреть технологию усиления из композитных мате-

риалов. Последнюю технологию можно по праву считать самым современным методом усиления конструкции. Данная технология по сравнению с иными повышает трудоемкость и скорость производства работ.

1. Усиление железобетонными обоймами

По праву можно считать самым проверенным методом для ремонта и увеличения несущей способности колон и стен. По своей сути, он очень схож с другим методом — торкретирования. Отличие лишь в том, что торкретирование — это нанесение слоя бетона из аппарата под давлением на стену, а железобетонная обойма подразумевает еще армирование по всей площади стены. Физический смысл заключается в том, что вокруг существующей стены выполняется армирование (поперечное и продольное), а затем наносится бетонный раствор тем самым повышая площадь поперечного сечения будущей стены, а также автоматически повышается ее теплоизоляция. Существуют определенные принципы данной технологии, они основываются на толщине обоймы и влияют на производство работ.

Важно учитывать, что если обойма толщиной до 5 см, тогда используют метод нанесения торкретированием, если толщина доходит до 14 см тогда устанавливают щитовую опалубку по всей площади стен. В данном случае подача бетона будет осуществляться через инъекционные трубы под давлением. По завершению набора прочности бетона, опалубку демонтируют и допускается проведении работ по оштукатуриванию стены.

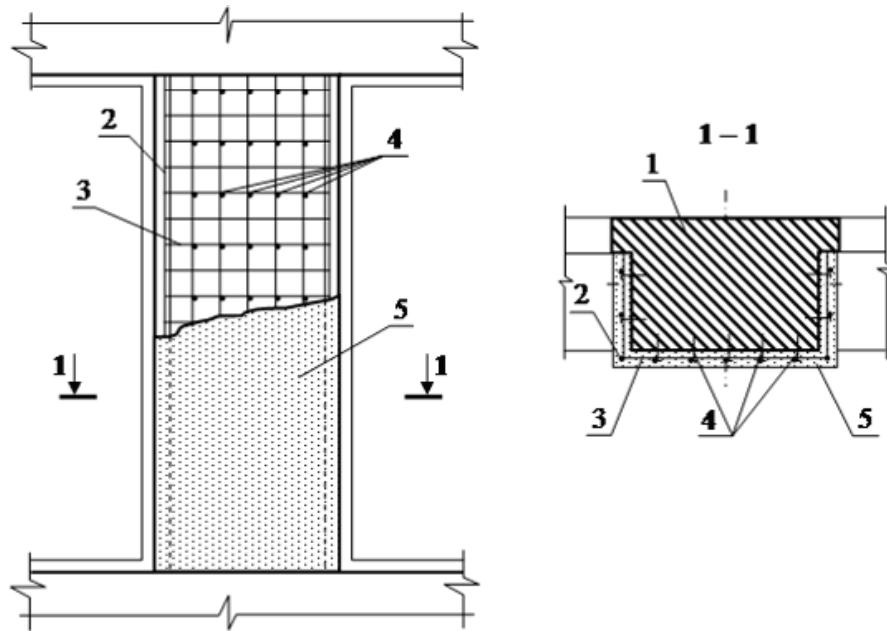


Рис. 1. Метод усиление железобетонными обоями

1 — Усиливаляемая стена, 2 — продольная арматура, 3 — поперечная арматура, 4 — металлические штыри, 5 — рубашка из цементно-песчаного раствора

2. Усиление металлическими обоями

Для усиления вертикальных строительных конструкций применяется метод стальных обояй, согласно статистике также популярен среди инженеров-строителей и проектировщиков как зарекомендовавший себя метод. Здесь применяются стальные уголки, установленные в углах стен или колонн и соединительных планок. Соединительные планки являются стягивающим статическим элементом, так как полный эффект усиления начинает создаваться после их приварки к уголкам. Ввиду того, что поперечные планки сначала нагревают до температуры 120 градусов Цельсия, а после монтажа они остывают и стягивают стальные уголки создавая напряженную металлическую обойму. Это получается за счет того, что металл при нагревании расширяется, а при остывании сжимается. На данном физическом факте и основывается вся технология металлических обояй. Данный способ позволяет незначительно или вовсе не увеличивать поперечное сечение конструкции. В ряде случаев, когда соотношение сторон сечения больше 1:2 применяется дополнительная вертикальная планка, закрепленная насеквоздь через стену стягивающими болтами. В данной технологии нанесение бетонного раствора под давлением не подразумевается обязательным, но допустимо.

3. Усиление композитными материалами

Композитный материал — это гибкая ткань с одно или двунаправленным расположением волокон, применяемый в технологии усиления строительных конструкций. Технология усиления с данным материалом яв-

ляется на сегодняшний день наиболее современным и высокотехнологичным методом. Существует три основных типа волокна

1. КМФУ на основе Углерода
2. КМФА на основе Арамида
3. КМФС на основе Стекловолокна

Выбор композитного материала для различных систем усиления является одним из наиболее важных вопросов, решаемых при проектировании усиления строительных конструкций.

При утверждении рабочего проекта с правильно расчетными характеристиками приступают к монтажу, который не является сильно трудоемким по отношению к другим технологиям усиления. Он представляет из себя несколько этапов:

1. Удаление разрушенного бетона, обеспыливание конструкции
2. Нанесение/восстановление защитного слоя
3. Установка холстов с нанесенным клеевым составом
4. Пропитка материала усиления. Защитный слой

Композитный материал является долговечным и обладает высокой надежностью. Не требует дополнительных мероприятий по защите от агрессивной среды, а также легко ремонтопригоден — дополнительно усиливается при нанесении дополнительного слоя композитного материала. Усиление конструкций композитными материалами является менее трудоемким и энергозатратным процессом по сравнению с другими аналогичными способами. Всем этим можно объяснить увеличивающийся объем применения усиления строительных конструкций композитными материалами в мире.

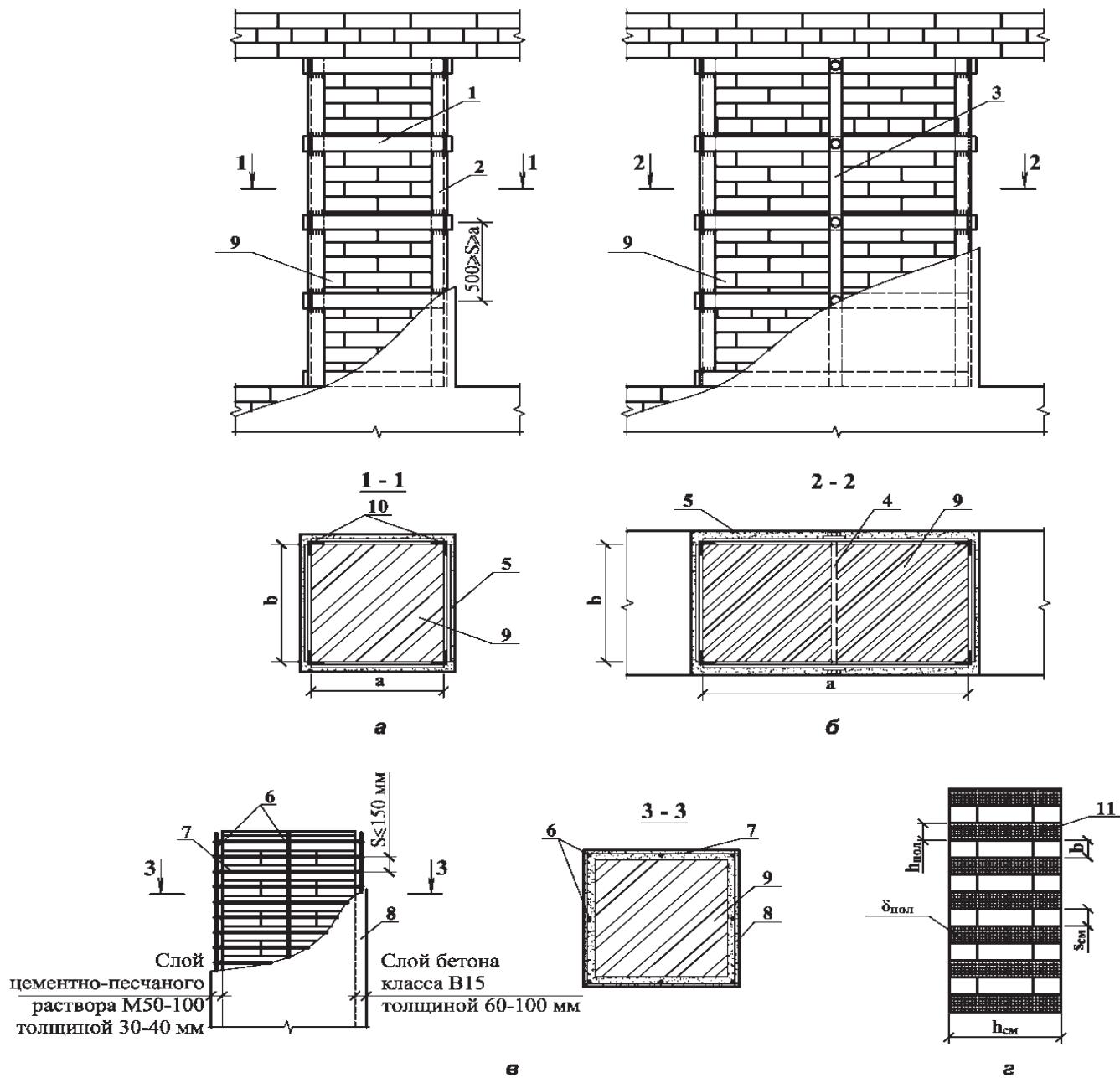


Рис. 2. Усиление каменных конструкций устройством обоймы:

а — стальной, при соотношении сторон сечения меньше 1:2; б — то же, при соотношении сторон сечения больше 1:2;
 в — железобетонной и растворной; г — бандажами из углеволокна; 1 — хомуты (планки) из круглой или полосовой стали;
 2 — уголки; 3 — промежуточные вертикальные планки из полосовой стали; 4 — стяжные болты;
 5 — слой цементно-песчаного раствора; 6 — вертикальная арматура обоймы; 7 — сварные хомуты обоймы;
 8 — растворная или железобетонная обойма; 9 — усиливаемый каменный элемент; 10 — слой цементно-песчаного раствора

Таблица 1. Типичные свойства применяемой фибры

Тип фибры	Прочность на растяжение, Мпа	Модуль упругости, ГПА	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м ³
Углерод	740–5490	294–329	0,7–1,9	1,78–1,81
Арамид	3200–3600	124–130	2,4	1,44
Стекло	2400–3500	70–85	3,25–4,7	2,6



Рис. 3. Композитная обойма



Рис. 4. Лента КМФ

Литература:

1. Тилинин Ю. И. Рациональное применение домостроительных технологий//Дьячкова О. Н., Тилинин Ю. И., Ратушин В. А. Жилищное строительство. 2020. № 1–2. С. 11–15.
2. Тилинин Ю. И. Кладочные технологии при возведении наружных ограждающих конструкций //Тилинин Ю. И., Хуссейн С. Г. Н.Д., Тилинин В. Ю. Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № S3 (15). С. 228–238.
3. Юдина А. Ф., Евтуков С. А., Тилинин Ю. И. Развитие технологий жилищного строительства в Санкт-Петербурге// Вестник гражданских инженеров. — 2019 — № 1 (72). — с. 110–119 СПб.: СПбГАСУ, 2019.
4. Тилинин Ю. И. Домостроительные технологии в системе сохранения и развития архитектурно-планировочной структуры исторических российских городов: монография / Ю. И. Тилинин, О. А. Пастух (принадлежит авторство первой главы), Д. А. Животов, А. Н. Панин; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2022. — 239 с.
5. Тилинин Ю. И. Совершенствование технологии усиления бетонных колонн при реконструкции каркасных зданий//Юдина А. Ф., Тилинин Ю. И., Животов Д. А. Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2 (73). С. 104–111.
6. Бирюков Ю. А. Оценка экономической эффективности при обосновании варианта и планирования реконструкции зданий (на примере Северо-Западного федерального округа)//Бирюков Ю. А., Макаров Р. В. Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 12. С. 30–33.

Технологии переноса зданий как технологическая основа градостроительного развития исторических районов

Шестакова Ирина Сергеевна, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье рассматривается применение технологии переноса зданий на современном уровне для обеспечения развития градостроительных территорий, применительно к случаям исторической застройки. Перенос зданий, представляющих историко-культурную ценность, позволяет разрешить противоречия между градозащитниками и девелоперами. Существенную роль в этом играют технологии переноса капитальных объектов, которые продолжают свое развитие, в том числе и за счет возможностей информационных технологий.

Ключевые слова: технологии переноса зданий, историческая застройка, информационные технологии, градостроительство.

Особенностью существующей ситуации при градостроительном развитии территорий, насыщенных исторической застройкой, является наличие конфликта между объективными требованиями к необходимости освоения территории и сохранением исторического архитектурного наследия. Как известно, сложившийся исторический ландшафт представляет собой не только материальную, но и нематериальную ценность и играет ключевую роль в формировании городского облика. Замена его, к примеру, современной застройкой, ведет к потере градостроительной идентичности [1].

В то же время, современный город нуждается в пространствах не только для застройки, но и для обеспечения необходимых коммуникаций, как инженерных, так и транспортных. И, зачастую, в насыщенных исторической архитектурой районах наблюдается технологический коллапс, связанный с невозможностью развития данных территорий, вследствие отсутствия свободных пространств.

Таким образом, историческая архитектура, обеспечивая культурные запросы общества, вместе с тем служит препятствием для создания комфортного и безопасного городского

пространства. В свою очередь, это создает существенные препятствия на пути реализации целей устойчивого развития, которые заключаются в согласованном изменении окружающей среды, научно-техническом и экономическом развитии, социальном и личностном росте как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе [1].

В то же время, из опыта прошлого можно привести примеры трансформаций городских пространств, связанных с осуществлением переноса капитальных сооружений с целью расширения доступного пространства. К примеру, в 1935–40 гг. в г. Москве с принятием генерального плана развития города было проведено успешное расширение уличных территорий за счет перемещения капитальных объектов. Более того, в ходе осуществления переноса зданий они продолжали функционировать в прежнем режиме и сохраняли все необходимые эксплуатационные качества [2]. Таким образом, можно заключить, что имеется позитивных опыт развития городских пространств за счет переноса зданий.

С тех пор на территории Российской Федерации по ряду причин технологии перемещения зданий не по-

лучили широкого распространения. Однако необходимость сохранения архитектурно-культурного наследия в последнее время привели к повышению актуальности данной технологии. Уже имеются примеры успешной реализации подобных операций. Например, в г. Санкт-Петербург в 2024 году знаковым событием стал перенос здания Воспитательного корпуса на Черной речке с целью освобождения пространства для строительства нового жилого дома. Проведенная работа продемонстрировала не только технические возможности проведения подобных операций, но и явилась успешным примером сотрудничества городских властей и девелоперов в части сохранения историко-культурных объектов и развития города. После переноса историческое здание снова было введено в режим эксплуатации и стало знаковым объектом, формирующим историко-культурный ландшафт территории.

Если рассматривать саму технологию проведения работ, то ее принципы мало изменились с прошедшего времени. Ее основные этапы включают создание временного основания, которое располагается на раме, под которую подводятся транспортные тележки; перенос веса здания на раму; транспортировка объекта до места назначения; установка на новую локацию [3]. Однако, развитие технологий, в том числе и информационных, существенно повлияло на осуществление процесса зданий, особенно исторических.

В первую очередь, необходимо отметить, что историческая архитектура имеет свои особенности, связанные с плотностью застройки и ее состоянием, вследствие износа, что требует особого внимания при планировании и организации перемещения объектов. Это обуславливает широкое использование информационных технологий с целью оптимизации и контроля процессов переноса. Можно выделить следующие сферы, в которых их применение максимально эффективно:

— создание расчетной модели здания. В процессе перемещения здания с целью исключения его обрушения или потери целостности необходимо обеспечить жесткость конструкции. Одним из наиболее эффективных способов сделать это оптимальным способом является создание расчетной модели объекта (например, в программе «Лира_САПР» [4]). Расчетная модель позволяет смоделировать усилия и напряжения в конструкции здания, как в статике, так и в процессе перемещения, что позволяет рассчитать оптимальную конструкцию каркаса объекта;

— создание геомеханической модели грунтов в зоне проведения работ по перемещению исторических объектов. Как было отмечено, историческая застройка может отличаться высокой плотностью и проведение работ по перемещению объектов может отразиться на близлежащих зданиях. В первую очередь, влияние может выражаться через повышение напряжений в грунтовом основании, что отражается на его несущей способности в непосредственной близости к месту проведения работ. Вследствие этого возможны осадки зданий, находящихся в непосредственной близости к месту проведения работ,

что может привести к изменению их конструкционной целостности или потере, что в случае с историческими зданиями представляет серьезную опасность. Моделирование поведения грунта (например, в программе Sofistik) позволяет точно оценить влияние процессов переноса объекта на состояние грунтов в районе проведения работ и на их основе рассчитать возможную осадку зданий, находящихся в опасной зоне.

Помимо информационных технологий можно отметить и некоторые изменения, связанные с технологическими аспектами перемещения зданий.

Одним из таких аспектов является усовершенствование транспортных механизмов, использующихся при перемещении объектов. Ранее наиболее отработанной схемой считалось устройство рельсовых путей и тележек на железных колесах, которые были транспортной основой для перемещения объекта. В последнее время можно отметить две тенденции: одна связана с более широким распространением самоходных модульных транспортеров на пневматическом ходу [5]. Особенностью самоходных модульных транспортеров при перемещении объектов является их способность точно изменять в определенных пределах высоту подъема, что позволяет осуществлять процессы подъемы и опускания груза. Модульная конструкция позволяет создавать транспортные группы с единым контролем параметров и выдерживания необходимых условий при перемещении зданий.

Другая технология связана с изменением конструкции механизмов перемещения — разработкой новых конструктивных схем, таких как «walking machine» [6]. Принцип ее работы заключается в совместной попарной работе вертикальных и горизонтальных домкратов, которые под компьютерным управлением позволяют реализовать цикл, состоящий из восприятия вертикальной нагрузки, горизонтального перемещения, переноса нагрузки на временную опору, перемещения вперед и повторения процесса. Наличие датчиков, определяющих положение механизмов, нагрузку на них позволяет обеспечить высокую точность и синхронность их работы.

Имеющееся информационное и технологическое обеспечение процесса перемещения объектов позволяет на новом уровне реализовать подобные проекты. Такая ситуация подводит к переосмыслинию использования технологий перемещения исторических зданий для градостроительного развития территорий. На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

— дальнейшее развитие информационного моделирования зданий и грунтов в районе проведения работ позволяет рассчитать оптимальные технологии перемещения исторических объектов, находящихся в плотном историческом архитектурном окружении;

— с учетом новых возможностей появляется возможность переосмыслиния градостроительной политики в городах с обширной исторической застройкой, что может выражаться как в развитии нормативно-правовой базы, связанной с охраной памятников историко-культурного

наследия, так и в государственно-частном партнерстве в сфере строительства и архитектуры;

— перенос исторических зданий с целью расширения и развития городского пространства позволяет обеспе-

чить цели устойчивого развития, связанного с созданием комфортной и безопасной городской среды без ущерба для будущих поколений и с сохранением историко-культурного наследия.

Литература:

1. Щербина (Плотникова) Е. В., Салмо А. М. Градостроительные риски утраты культурного наследия // Строительство: Наука И Образование. 2022. Т. 12, № 4. С. 46–63.
2. Токарева С. Е. Перенос дома — дело непростое // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России. 2024. № 1. С. 1078–1082.
3. Вадатурский Д. В. технология переноса зданий и сооружений от истоков до наших дней. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. С. 55–68.
4. Перминов Д. А. Расчетный анализ несущей способности элементов каменного здания // Строительство И Техногенная Безопасность. 2025. № 37 (89). С. 17–24.
5. Самоходные модули с электронным управлением [Электронный ресурс] // Официальный эксклюзивный дистрибутор COMETTO SPA в РФ. URL: <https://cometto.ru/tehnika-cometto/samohodnye-moduli-s-elektronnym-upravleniem/> (дата обращения: 16.01.2026).
6. CN110158989 Building walking type transverse moving method [Электронный ресурс]. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN251345088> (дата обращения: 14.01.2026).

Молодой ученый

Международный научный журнал
№ 3 (606) / 2026

Выпускающий редактор Г. А. Письменная

Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова

Художник Е. А. Шишков

Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый». 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

Номер подписан в печать 28.01.2026. Дата выхода в свет: 04.02.2026.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.