НОВГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ЯРОСЛАВА МУДРОГО

ДНИ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ НовГУ:

Материалы XXVII научной конференции преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ. Великий Новгород, 6–11 апреля 2020 г.

Часть 3

ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД
2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ЯРОСЛАВА МУДРОГО»

ДНИ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ НовГУ:

Материалы XXVII научной конференции преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ. Великий Новгород, 6–11 апреля 2020 г.

Часть 3

ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД
2020

УДК 001(08)
Д54

Печатается по решению
РИС НовГУ

Оргкомитет:

Ефременков А. Б.	– председатель, проректор по научной работе и инновациям НовГУ
Донина И. А.	– начальник Управления аспирантуры и ординатуры
Пчелина Е. А.	– учёный секретарь Совета по молодёжной науке
Андреева Ю. А.	– директор Центра развития талантов
Фихтнер О. А.	– директор ЦРПА
Волошина Г. В.	– начальник отдела по МН
Елкин С. М.	– зам. директора ИНПО
Тошкина Е. А.	– профессор кафедры технологии производства и переработки с.-х. продукции ИСХПР
Новикова Я. В.	– доцент кафедры дизайна ИПТ
Иванова Л. А.	– зам. директора ИГУМ
Сулиманов Р. А.	– зам. директора ИМО
Ариас Е. А.	– зам. директора ИЭИС
Окомина Е. А.	– зав. отделением экономики ИЭУП

Рецензенты:

канд. пед. наук, доцент **Е. А. Пчелина**

канд. техн. наук, доцент **Ю. Н. Власов**
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Дни науки и инноваций НовГУ: материалы XXVII научной
Д54 конференции преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ. Великий Новгород, 6–11 апреля 2020 г.: в 3 ч. / сост. Г. В. Волошина, О. И. Тетерина; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2020. – Ч. 3. – 351 с.
ISBN 978-5-89896-668-3

Часть 3 сборника включает в себя 44 статьи по проблематике сельскохозяйственных наук, биологии, экологии, а также новейшим исследованиям и достижениям в области электроники и техники.

Издание предназначено для студентов, аспирантов, молодых исследователей и всех интересующихся актуальными достижениями в области науки и техники, экологии и природопользования, биологии и биоинженерии.

УДК 001(08)

ISBN 978-5-89896-668-3

© Новгородский государственный университет, 2020
© Авторы статей, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 6

ИСХПР – ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Афанасьева Е.А., *Ефимова Д.В.* Цифровизация технологических процессов в управлении производством молока 8

Балацкий Д.С. Изменение местных климатов Новгородской области в период 1960–2020 гг. 14

Вимба В.О. Использование электронно-ионной обработки в технологическом процессе производства желе из облепихи 20

Вишнякова Т.А. Разработка рецептуры и технологии приготовления пельменей с различными видами грибов 26

Командрина Е.Н. Определение способа обогащения *витамином С* сиропа из листьев чёрной смородины 34

Кудрявцева В.С. Сравнительная продуктивность вики посевной при разных способах посева в условия СПК «Левочский» Новгородской области 40

Курудимова Д.С., *Миртова И.Д.* Цифровизация в молочном скотоводстве: программное обеспечение «SMARTBOW» 47

Наседкина Е.А. Влияние условий местопроизрастания на величину годичного прироста сосны в Боровичском лесничестве 53

Пестовская Е.А. Оценка состояния широколиственных лесов в Шимском лесничестве 62

Порошина И.В. Ильменский глинт как потенциальный геопарк девонского периода 70

Сусанин Д.А. Утилизация отработанных элементов питания в Великом Новгороде 76

Холматова Л.Х. Проблемы и перспективы развития спортивного туризма в России 82

Шевцова А.Н. Разработка нового вида функционального печенья с добавлением тыквенного пюре 88

ИЭИС – ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Бурцева Д.Я. Разработка магнитоэлектрического датчика положения 94

Боченков Г.М., *Фёдоров Д.Г.* Формирование ионно-легированных слоёв GaN, легированных кремнием и магнием 103

Бурбах А.В. Обработка амплитудно-фазоманипулированных сигналов с взвешиванием сжатых сегментов 112

Борисов Д.И. Оптико-электронное устройство для оценки характеристик бумажной основы документов 120

Иванов А.Д. Макетирование источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением 127

Васильев А.А., Логинов А.С., Воропаев К.О. PIN-фотодиод ИК-диапазона на основе гетероэпитаксиальной структуры InP/InGaAs .. 137

Герасимов Н.В. Расчёт диаграмм состояния бинарных растворов As-Te и As-Tb в рамках обобщённой решёточной модели 145

Ильин А.Ю. Разработка контроллера канала МКИО протокола..... 153

Родченко Д.Д. О программной реализации методов поиска экстремумов функции многих переменных..... 162

Мизева Д.М. Разработка семейства кремниевых СВЧ биполярных транзисторов с рабочей частотой 3–7 ГГц..... 169

Лукин В.А. Формирование сквозных металлизированных отверстий в арсенид-галлиевых СВЧ монолитных интегральных схемах 179

Кононов С.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для автосопровождения движущейся цели в видеопотоке 188

Семёнова А.А. Конструктивные особенности защитного устройства на GaAs для частот 9,5–10,5 ГГц..... 203

Стуколкин К.К., Метелкин Д.Э., Фёдоров Д.Г. Подгонка удельного сопротивления плёнок с помощью ионного травления 210

Филипченко Н.В. Исследование информативности параметров контроля качества тепловых труб 219

Шевелёв Н.В. Поиск точек экстремума методом квази-Монте-Карло..... 228

Шкуропата Е.А. Анализ комплекса экспериментальных данных, необходимых для синтеза компактной модели PIN-диода..... 235

ИПТ – ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Алексеев С.А. Возведение зданий методом подъёма перекрытий и этажей 244

Белевцев Д.В., Зехов Д.А. Виброакустический метод контроля давления..... 252

Бучацкий С.И. Исследование эволюции кровельных материалов в XX–XXI вв. 261

Гуляев В.И., Кузьменко С.Н. Сольцы: градостроительная стратегия – шанс на выживание 268

Егорова И.В. Суперграфика как средство формирования городских пространств 274

Зеленина А.Г., Кузьменко С.Н. Новая жизнь промышленной территории завода «Автоспецоборудование» в Великом Новгороде как научно-познавательного кластера 280

Ибрагимова Ю.В., Иванов Д.А. Влияние коагуляции на процессы роста и изменения численной концентрации кристаллов диоксида углерода..... 289

Михеева Ю.В., Никитин Д.Г. Влияние микро- и нанодоз СОТС на процесс лезвийного резания материалов 297

Орлов А.В. Архитектурное пространство как элемент эстетики видеоигры..... 306

Паршутин А.А., Петров А.Э. Использование сбросного тепла для теплоснабжения и создание единой сети пара с выработкой электроэнергии за счёт перепадов давления 312

Петров Н.В. Разработка автоматической системы парковки для автопоезда 320

Розова Т.М., Тихонов А.А. Применение 3D-принтера для гальванопластики 327

Савин А.К., Семёнов Н.С. Методика расчёта энергетических показателей объекта термостатирования при случайном характере тепловых нагрузок 335

Смирнов С.В., Уксусов Т.Л. Особенности работы холодильного винтового компрессора при регулировании производительности..... 344

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник «Дни науки и инноваций НовГУ» посвящён научной конференции, ежегодно проводимой в Новгородском государственном университете имени Ярослава Мудрого уже более 25 лет и ставшей прочной научной традицией. В 2020 году конференция проводилась в рамках Всероссийского фестиваля науки с 6 по 11 апреля.

В работе «Дней науки и инноваций НовГУ» приняли участие преподаватели, молодые учёные, аспиранты и студенты всех структурных подразделений университета. В соответствии с дополнительными мерами по предупреждению распространения коронавирусной инфекции в целях защиты здоровья обучаемых и работников НовГУ все мероприятия проходили в дистанционном режиме.

Формат онлайн-конференции позволил создать пространство коммуникации для представления результатов научных достижений молодых исследователей и обучаемых НовГУ, обмена научными идеями и тезисами по актуальным вопросам естественных, технических, социальных и гуманитарных наук, формирования и развития умения логично формулировать и аргументировать собственную мировоззренческую позицию по поставленной научной проблеме и способу её разрешения.

В рамках XXVII научной конференции НовГУ удалось организовать и успешно провести 100 секционных заседаний, заслушать 1300 докладов, среди которых 1226 – доклады студентов, 13 – доклады аспирантов, 61 – преподавателей и сотрудников университета.

Тематика докладов, активное обсуждение основных тезисов, провокационные вопросы и совместные поиски ответов на них позволяют говорить не только о вовлечённости участников конференции в научно-исследовательский и коммуникативный процесс, но также и о сформированности у ряда участников системного видения изучаемых проблем, способности использовать знания для выявления возможностей диалога науки и инноваций в условиях современности.

По итогам конференции оргкомитет отобрал ряд статей, выполненных на материалах лучших докладов и прошедших процедуру рецензирования для публикации в этом выпуске сборника.

Редакция может не разделять точку зрения авторов статей и считает себя не вправе отвергать материалы, содержание которых расходится с мнением большинства членов редколлегии. Мы полагаем, что полемика и дискуссия по проблемным вопросам будут только способствовать активизации научной мысли, а также приведут к выработке междисциплинарных подходов.

Сборник «Дни науки и инноваций НовГУ» состоит из трёх частей. Часть 3 сборника включает в себя 44 статьи по проблематике сельскохозяйственных наук, биологии, экологии, а также новейшим исследованиям и достижениям в области электроники и техники.

Заместитель начальника отдела
аспирантуры и молодёжной науки
Труфанова О. В.

ИСХПР – ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 637.1+681.3:62-52
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.01

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ МОЛОКА

Афанасьева Е.А., Ефимова Д.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: afanaseva.evgenia99@gmail.com, pitchysky@yandex.ru

DIGITALIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MILK PRODUCTION MANAGEMENT

Afanasieva E.A., Efimova D.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: afanaseva.evgenia99@gmail.com, pitchysky@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время многие производители молока и молочной продукции всё более широко применяют современные автоматизированные и роботизированные технические средства выполнения технологических процессов.
Ключевые слова: *автоматизация, доение, роботизированная система, интеллектуальные технологии.*

Abstract. Currently, many manufacturers of milk and dairy products are increasingly using modern automated and robotic technical means of performing technological processes.
Keyword: *Automation, milking, robotic system, intelligent technologies.*

Введение. Инновации, или нововведения, – это внедрённые новшества, обеспечивающие качественный рост эффективности процессов производства и (или) ценность и новизну произведённого продукта, востребованные рынком. Инновации в производстве молочной продукции должны стать ориентиром для производителей на пути повышения их конкурентоспособности, что является сегодня особенно актуальным на рынке молока и молочной продукции. Возможности цифровизации животноводства в значительной степени зависит от животных и формы содержания. В молочном скотоводстве роль «передовиков» играют сенсоры и индивидуальные системы-ассистенты, помогающие принимать решение. Цифровые технологии позволяют осуществлять оперативную передачу, обработку и хранение больших массивов данных, формировать интегрированные информационно-аналитические системы управления производством [1].

Эффективность цифровизации животноводства заключается в первую очередь в создании опытных цифровых предприятий в животноводстве (умная молочная ферма, свиноферма-автомат и др.) на основе интеллектуальных автоматизированных и роботизированных биомашинных комплексов нового поколения [2]. В России начато производство доильных роботов и их внедрение в производство. Однако производство и применение роботов сдерживается их высокой стоимостью и необходимостью тщательного отбора коров при формировании стада. Таким образом, в соответствии со стратегией развития механизации и автоматизации животноводства до 2030 года повышение эффективности производства молока будет осуществляться за счёт применения прогрессивных инновационных и ресурсосберегающих направлений [3]. В настоящее время многие производители молока и молочной продукции всё более широко применяют современные автоматизированные и роботизированные технические средства выполнения технологических процессов. Поэтому для обеспечения рентабельности производства высокотехнологичной молочной фермы с применением дорогостоящих интеллектуальных систем управления необходимо обеспечить более высокую продуктивность животных [4].

Особую актуальность в настоящее время как в целом по стране, так и в отдельно взятом регионе среди городского и сельского населения приобретает покупка натуральных молочных продуктов. Аналитические исследования подтверждают: главной особенностью текущей ситуации на российском рынке молока и молочной продукции является существенный рост спроса. Однако спрос на молоко и молочную продукцию для отдельных рыночных сегментов (сегмент малоимущих, детский сегмент) характеризуется как неудовлетворённый [1].

Цель исследования – изучить инновационные системы, которые используются на молочных фермах. Выявить их влияние на производство и качество молока.

Инновации в доении объединяют в себя систему доения и технику доения. Существуют множество вариантов в системе доения – это молокопроводы и доильные залы (Елочка, Параллель, Тандем, Карусель).

Принципиально новым направлением в технологии машинного доения является автоматизированная система свободного доения коров роботами, в которой все операции:

– подготовка коров к доению, эвакуация молока из вымени, его массаж, отключение аппаратов, санитарная обработка вымени и молочного оборудования – осуществляются в автоматически управляемом режиме. Установлено, что доение коров роботами повышает качество молока, молочную продуктивность (до 15%); практически полностью устраняется ручной труд на выполнение технологических операций доения. Применение роботизированных систем полностью исключает

использование ручного труда, повышает интенсивность использования оборудования, создаёт более физиологически благоприятные условия для молочного скота, обеспечивают комфортное размещение животных в доильном боксе, быстро и надёжно определяют расположение сосков вымени и подключение к ним доильных стаканов, сохраняя здоровье вымени коров, высокие гигиенические стандарты доения, контроль качества молока (на предмет содержания соматических клеток и антибиотиков), энергосбережение, снижение затрат труда на монтажные работы, увеличение пропускной способности [5].

Доильные роботы представлены роботами-доярами, интегрированными роботизированными системами доения и управления стадом. На отечественном рынке оборудование представлено продукцией импортного производства фирм «DeLaval», «Gea Farm Technologies», «Full-wood», «Lely» и др. Применение роботизированных систем полностью исключает использование ручного труда, повышает интенсивность использования оборудования, создаёт более физиологически благоприятные условия для молочного скота; обеспечивают комфортное размещение животных в доильном боксе, быстро и надёжно определяют расположение сосков вымени и подключение к ним доильных стаканов, сохраняя здоровье вымени коров, высокие гигиенические стандарты доения, контроль качества молока (на предмет содержания соматических клеток и антибиотиков), энергосбережение, снижение затрат труда на монтажные работы, увеличение пропускной способности. Животные сами выбирают частоту доения, главным образом, в зависимости от продуктивности. Увеличение частоты доения благотворно сказывается на здоровье вымени животного и способствует повышению продуктивности животных до 15% [6].

Система Dairy Plan является одним из самых популярных во всем мире помощников для руководителей молочных хозяйств, зоотехников, ветеринарных врачей, осеменаторов и доярок. Dairy Plan объединяет в себя целый комплекс программ различного направления. Программа позволяет точно измерить количество полученного молока, выявить коров в охоте для своевременного осеменения, что позволяет снизить межотельный период и затраты на осеменение. По результатам анализа электропроводности молока можно определить потенциально больных маститом животных.

Незаменима аналитическая функция программы, которая позволяет сравнить производительность различных смен доярок, эффективности осеменаторов и семени, составить календарь воспроизводства, отчётность по расходованию кормов и медикаментов, осуществлять сортировку животных после доения по любым заданным пользователем критериям и много других возможностей [7]. Анализ роботизированных систем для молочного скотоводства показал, что практически они предназначены для

выполнения трёх основных операций: кормления, доения и уборки навоза. Системы кормления животных представлены автоматизированными пастбищными системами, дозаторами-смесителями, смесителями-кормораздатчиками, подравнивателями кормов и интегрированными роботизированными системами кормления.

Например, роботизированная система «LelyVector» имеет свои преимущества. Во-первых, гибкий график работы – система предоставляет корма 24 часа в день 7 дней в неделю. Во-вторых, она обеспечивает непрерывную подачу всегда свежих кормов, которые коровы получают в нужном количестве. Дозатор концентратов точно определяет и контролирует количество кормов и добавок. Для этого роботы дополнительно оснащаются электронными взвешивающими устройствами, механизмами для саморазгрузки, смешивания и дозированной раздачи кормосмесей. С помощью компьютера составляется план кормления, объём кормов на складе, совершенствуется рацион кормления и составляются необходимые отчёты. Сенсорный датчик определяет уровень кормов на кормовом столе и потребность в нём без участия персонала. В-третьих, роботизированная система позволяет экономить до десяти тысяч литров дизельного топлива в год и до 6 тысяч рабочих часов по сравнению с привычным способом кормораздачи. Скармливание сбалансированных полноценных кормосмесей позволяет повысить продуктивность животных на 15–20%, снизить расход кормов на 10–15% за счёт хорошей их поедаемости, повысить производительность труда до 25%, увеличить срок хозяйственного использования коров до 4–6 лактаций вместо 2–2,5 [6].

Молоко – основное сырьё, которое получают на фермах от коров. Его нормализуют или пропускают через сепаратор и получают еще один продукт – сливки. Молоко и сливки доставляют на производство для изготовления молочной продукции. Далее молоко очищают и охлаждают. Для этого используются сепараторные и фильтрующие машины. В качестве фильтров используется марля или полиэтиленовая ткань, которую периодически меняют. Охлаждается продукт с помощью льда или воды. Одновременно в молоко добавляют сливки, чтобы привести процент жира к нужному значению.

Процесс пастеризации – важный этап производства, так как он позволяет обезопасить потребителей от инфекций и бактерий. Для этого жидкость нагревают до температуры 65–90 градусов. Чем выше температура, тем меньше времени нужно на пастеризацию. Важно, чтобы в процессе молоко не изменило цвет, вкус, запах и консистенцию. В России сырьё чаще всего пастеризуют 30 минут при 65 градусах в ваннах объёмом 300–600 л. Между нагретых пластин тонкой струей подаётся молоко, так оно быстро нагревается. После этого его сразу охлаждают между пластинами с холодной водой.

Последний этап – фасовка в полиэтиленовые пакеты, бутылки или картонные коробки. Автомат проставляет дату производства и срок

годности на упаковке. За упаковку отвечают фасовочно-упаковочные машины. Молочная продукция отправляется в магазины [8].

Вывод. Таким образом, применение современных цифровых интеллектуальных технологий в молочном скотоводстве минимизирует отрицательное влияние «человеческого фактора» в процессе доения, повышает эффективность содержания молочного стада и срока продуктивного хозяйственного использования коров, поддерживает высокую технологическую дисциплину, эффективную организацию работ и мотивацию персонала, снижает затраты труда при организации производства молока.

Использование цифровых технологий для организации производства молока на новой технической основе позволит перейти на более высокий уровень качества за счёт внедрения на фермах современных автоматизированных технических средств, позволяющих вести учёт продуктивности, планировать процессы воспроизводства стада. В результате повысится экономическая эффективность используемых на предприятии ресурсов, увеличится эффективность и устойчивость производства за счёт повышения производительности труда и продуктивности животных, сокращения потерь произведённой продукции. Развитие автоматизированных систем управления в молочном скотоводстве позволит повысить интенсивность использования оборудования, добиться сокращения трудовых и материальных затрат, а также технологического эффекта, который заключается в создании наиболее благоприятных условий для животных. В результате удой увеличивается на 25%, на 20% воспроизводство, снижается уровень заболеваемости животных. Благодаря оперативному отслеживанию уровня молочной продуктивности и своевременному проведению ветеринарных мероприятий можно продлить срок продуктивного использования коров, повысить показатели воспроизводства стада. Снижение транзакционных издержек и уменьшение числа посредников при реализации готовой продукции позволит повысить эффективность реализации молока.

Создание цифровых молочных ферм обеспечит переход от тяжёлого полуручного труда к комплексной автоматизации производства и позволит максимально сократить участие человека в сложных технологических процессах, исключить его влияние на выполнение производственных процессов. Интеллектуальная система управления производством позволит повысить продуктивность животных на 14–18%, увеличить их хозяйственное долголетие до 4–5 отелов, рентабельность производства – до 45–50%.

Литература

1. Пять гигабайт на каждый бидон // НСХ журнал агроменеджера. 2019. № 5. С. 60–61.
2. Белая, А. Конец ручному труду // Агроинвестор. 2020. № 3. С. 3–7.

3. Стратегия развития механизации и автоматизации животноводства на период до 2030 года: монография. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. 152 с.
4. Суровцев, В.Н. Повышение конкурентоспособности производства молока на основе синергии цифровизации и биотехнологии // Молочное и мясное скотоводство. 2019. № 4. С. 7–11.
5. Скоркин, В.К. Инновационные технологии и технические средства для производства конкурентоспособной продукции // Вестник ВНИИМЖ. 2016. № 2.
6. Скоркин, В.К. Стратегия развития механизации и автоматизации при производстве молока // Journal of VNIIMZH. № 2 (18), 2015. С. 13–21.
7. Цифровые технологии в животноводстве. [Электронный ресурс]. URL: https://foodindustry.kz/tsifrovye-tehnologii-v-zhivotnovodstve/ (дата обращения: 18.02.2020).
8. Технология производства молочной продукции [Электронный ресурс]. URL: https://revolution.allbest.ru/manufacture/00565873_0.html (дата обращения: 19.02.2020).
9. Потенциальные возможности и перспективы развития рынка молока и молочных продуктов в России // Молочная промышленность. 2010. № 7. С. 6–8.

Статья рекомендована к печати
канд. с.-х. наук, доцентом Семкив Л.П.

УДК 551.583(470.24)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.02

ИЗМЕНЕНИЕ МЕСТНЫХ КЛИМАТОВ НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРИОД 1960–2020 гг.

Балацкий Д.С.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: mitya.balatscky@yandex.com

CHANGE OF LOCAL CLIMATES OF THE NOVGOROD REGION IN THE PERIOD 1960–2020

Balatsky D.S.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: mitya.balatscky@yandex.com

Аннотация. В статье рассмотрены изменения местных климатов Новгородской области в период с 1960–2020 гг. В данной работе используется метод математической обработки статистических данных. Целью данной статьи является определение климатических трендов местных климатов Новгородской области. После обработки данных за выбранный период на территории области прослеживается повышение среднемесячных температур, возросло среднегодовое количество осадков, сократилась средняя мощность снежного покрова и увеличилось число малоснежных зим.
Ключевые слова: *изменение, местный климат, период, потепление.*

Abstract. The article discusses the changes in the local climates of the Novgorod Region in the period from 1960–2020. In this paper, we use the method of mathematical processing of statistical data. The purpose of this article is to determine the climatic trends of local climates in the Novgorod region. After processing the data for the selected period, the average annual temperature rises in the region, the average annual rainfall decreases, the average thickness of the snow cover decreases, and the number of winters with little snow increases.
Keywords: *change, local climate, period, thaw.*

Изучение климатических особенностей регионов – необходимое условие развития хозяйства территорий. Потому что без них нельзя определить сроки обработки почвы, посева, уборки и других сельскохозяйственных работ.

Современная климатическая ситуация, определяющаяся многолетним режимом погод, требует особого внимания в связи с меняющимися атмосферными процессами и, как следствие, климатическими показателями. В многочисленных публикациях, в информационных сообщениях часто идёт речь о глобальном потеплении климата. В Новгородской области долгое время осуществляются метеонаблюдения, проведены исследования, посвящённые характеристике

местных климатов (Барышева А.А. Местные климаты и ландшафты Новгородской области. В. Новгород 2008). Поэтому актуальной задачей является сравнение усреднённых климатических показателей и выяснение степени их изменения в пределах местных климатов.

В пределах общего типа климата различия топографии, рельефа и даже ландшафта влияют на его характерные особенности. Эти различия могут быть сравнительно крупного масштаба, но даже мелкие особенности местности создают сравнительно мелкие климатические различия – местный климат.

Процессы, формирующие местный климат, протекают в пограничном слое воздуха до 800–1000 м и более под влиянием неоднородного характера подстилающей поверхности. Эти неоднородности разного масштаба вызывают местные изменения метеорологических условий и циркуляции, не нарушая основных закономерностей циркуляции, свойственных макроклиматическому региону.

Территория Новгородской области имеет большую протяжённость с запада на восток и с севера на юг, разнообразный рельеф (Приильменская низменность, Валдайская возвышенность, Мстинская впадина и др.), наличие таких озер, как Ильмень, крупных болот, таких как Рдейское, Должинское, Бор, Спасские мхи. Обуславливают изменение климатических процессов: циркуляции воздуха (бризы, ветры вдоль долин и др.), теплообмена и влагообмена. Наличие этих факторов позволяет выделить в области 11 местных климатов. Влияние крупных озёр заключается в том, что крупный объём воды воздействует на метеорологические элементы климата. Воздушные массы, проходя над озером, успевают немного прогреться или охладиться. В тёплый период разница в тепловом режиме воды и земной поверхности вызывает возникновение местных ветров – бризов и усиление скорости преобладающих ветров западных и северных румбов. Расчленённый возвышенный рельеф Валдайской возвышенности оказывает влияние на направление и скорость ветра. Скорость ветра возрастает на наветренных склонах, на вершинах холмов, разделённых котловинами и долинами, возникают ветры, способствующие холодному стоку холодного воздуха в понижения, где возникает инверсия температур. Наличие сквозной долины-впадины сказываются на ветровом режиме, зимой возрастает повторяемость юго-восточных ветров вдоль долины.

Для практических рекомендаций местные климаты объединяют в три группы – полосы, отличающиеся по теплообеспеченности и срокам сезонных явлений природы.

Первая полоса теплых климатов состоит из Приозёрного, Южно-Приильменского, Южно-Предвалдайского и Южно-Валдайского климатов. Вторая полоса умеренных климатов – Северо-Приильменский, Средне-Предвалдайский, Средне-Валдайский и Мстинский климаты. Третья

полоса холодных климатов – Северо-Предвалайский, Северо-Валдайский и Восточный климаты. Вторая полоса представляет собой территорию, где происходит постепенный переход от климата тайги с холодными зимами к смешанным лесам с более тёплыми зимами. Названия – тёплые, умеренные, холодные климаты, применительно к нашему климату – относительны [1].

Данные климаты выделены и описаны А.А. Барышевой в её работе «Местные климаты и ландшафты Новгородской области» на основе метеорологических данных за 1960–2008 гг.



Рисунок 1. Местные климаты Новгородской области

Климаты: I – Приозёрный, II – Южно-Приильменский, III – Северо-Приильменский, IV – Южно Предвалдайский, V – Средне-Предвалдайский, VI – Северо-Предвалдайский, VII – Южно-Валдайский, VIII – Средне-Валдайский, IX – Мстинский, X – Северо-Валдайский, XI – Восточный

Поскольку данных за 2009–2020 гг. не имеется по Северо-Приильменоскму, Северо-Предвалдайскому, Южно-Валдайскому и Северо-Валдайскому климату, проследить динамику всех климатов не представляется возможным.

Приильменская низменность отличается более тёплыми вариантами климата. Формирование их происходит в условиях низкой равнины, где воздушная циркуляция протекает без значительных изменений со стороны подстилающей поверхности. Местная циркуляция возникает в центральной части низменности под воздействием озера, что является фактором

выделения здесь Приозёрного климата. К северу и югу от него располагаются Северо-Приильменский и Южно-Приильменский климаты, отличающиеся по теплообеспеченности и находящиеся в разных зонах – тайги и смешанных лесов. На востоке низменности выделяют Предвалайские климаты, которые находятся под влиянием наветренных склонов Валдайской возвышенности – климаты «барьерного подножия».

1. Приозёрный климат.

При сопоставлении данных за выбранные промежутки времени прослеживается повышение средней температуры января с –8,5 °С до –7,1 °С, что составляет 1,4 °С. Температура июля также возросла на 1,2 °С с +18 °С до +19,2 °С. Годовое количество осадков в период 1960–2008 гг. в среднем составляло 550–600 мм, за промежуток наблюдений в 11 лет это значение возросло на 77 мм и составило 677 мм. Средняя мощность снежного покрова составляла 20–30 см, за последнее время этот показатель составил 17 см. Также увеличилось количество малоснежных зим с трёх до четырёх.

2. Южно-Приильменский климат.

В этом климате также наблюдется потепление, средняя температура января повысилась на 1 °С с –8 °С до –7 °С, июля – на 0,9 °С с +17,5–18 °С до +18,9 °С. Годовое количество осадков также возросло, с 600–650 мм, в среднем, до 723 мм. Средняя мощность снежного покрова с 25–30 см сократилась на 10 см, в среднем это значение теперь 15 см. При общем сокращении средней мощности количество малоснежных зим не изменилось.

Предвалдайская группа климатов вытянута полосой с севера на юг вдоль Валдайской возвышенности. Хоть рельеф всё еще низменный, климат здесь имеет ряд особенностей. Располагаясь у подножия возвышенности, Предвалдайские климаты находятся под влиянием этого барьера. Восходящие движения воздушных масс, захватывающие эту переходную полосу, способствуют увеличению облачности и осадков. Эта проходящая через всю область полоса различается по термическому режиму, что позволяет выделить здесь Северо-Предвалдайский, Средне-Предвалдайский и Южно-Предвалдайский климаты.

3. Южно-Предвалдайский климат.

В этом климате средние температуры также возросли, января на 1,1 °С, с –8,5 °С до –7,4 °С, июля с +17–17,5 °С до +18,4 °С. Годовое количество осадков в период 1960–2008 гг., в среднем, являлось 700–750 мм, с 2009–2020 это значение составляет 780 мм. Мощность снежного покрова также сократилась с 30–40 см до 18 см. Увеличилось количество снежных зим, с трёх до четырёх.

4. Средне-Предвалдайский климат.

Средняя температура января в период 1960–2008 гг. составляла –9–9,5 °С, июля +17 °С, в период с 2009–2020 гг. января –7 °С, июля +18,6 °С. Годовое количество осадков за первый период 750–800, за второй

наблюдения перестали вести с 2010 года, возобновили наблюдения к 2018 году. Мощность снежного покрова в среднем составляла 33–45 см. За второй период также наблюдения не велись. Валдайская возвышенность представляет собой более высокую ступень расчленённого рельефа, она способствует формированию более прохладных климатов. Несмотря на то, что возвышенность достигает небольших высот, она несколько видоизменяет синоптическую ситуацию. Количество осадков достигает здесь наибольших величин, а облачность способствует сокращению часов солнечного сияния, увеличивает долю рассеянной солнечной радиации. Всё это влияет на температурный режим. Расчленённый рельеф влияет на направление и скорость ветра. Теплообеспеченность здесь меньше, чем в Приильменских климатах и значительно варьирует в зависимости от широты, форм рельефа, экспозиции склонов и т.д. В возвышенной восточной части выделяются климаты: Южно-Валдайский, Средне-Валдайский, Мстинский, Северо-Валдайский и Восточный.

5. Средне-Валдайский климат.

При сравнении данных за выбранные промежутки наблюдается повышение средних температур января на 1,5 °С с 9–10 °С до –7,5 °С, июля – на 1,6 °С с +16,5–17 °С до +18,6 °С. Годовое количество осадков также возросло с 700–800 мм до 841 мм. Средняя мощность снежного покрова уменьшилась на 6 см, в первом промежутке времени она составляла 40–50 см, во втором 34 см. Среднее количество малоснежных зим не было установлено с 1960–2008 гг. С 2009–2020 гг., было две малоснежные зимы.

6. Мстинский климат.

Средняя температура января за период 1960–2008 гг. составляла –9,5 °С, в связи с потеплением климата это значение возросло на 1,4 °С и составило –7,1 °С на промежуток 2009–2020 гг., июля – на 1,2 °С, с +17,5 °С до +18,7 °С соответственно. Годовое количество осадков с 550–600 мм увеличилось на 165 мм и составляет 765 мм. Мощность снежного покрова составляла 30–35 см, в период с 2009–2020 гг. наблюдения не велись. Количество малоснежных зим также не выявлено.

7. Восточный климат.

В этом климате также наблюдется потепление, средняя температура января повысилась на 0,7 °С с –10–10,5 °С до –9,3 °С, июля – на 1,2 °С с +17 °С и составляет +18,2 °С. Годовое количество осадков находится в пределах нормы (650–700 мм): 687 мм. Средняя мощность снежного покрова с 45–50 см сократилась на 19 см, в среднем это значение теперь 26 см. При сокращении средней мощности количество малоснежных зим не изменилось.

Современное глобальное потепление происходит на фоне естественной межгодовой изменчивости климата, которое ощутимо и на территории Новгородской области. В ходе анализа климатических данных за 1960–2020 гг. возникли трудности с тем, что в некоторых пунктах

наблюдения велись не постоянно. В итоге на территории области средние температуры постепенно возрастают, это приводит к увеличению количества малоснежных зим и уменьшению средней мощности снежного покрова, также приближаясь к современности, постепенно увеличивается годовое количество осадков.

Сравнивая климатические показатели, характерные для местных ландшафтов за 1960–2008 и 2009–2020 гг., получилось установить, что изменение климата в сторону потепления с 1960–2020 гг. чётко прослеживается, основываясь на данных полученных с метеорологических станций, в среднем, температура по области возросла: в январе на 1,3 °С, июля – на 1,2 °С. Также в области увеличилось годовое количество осадков на 49 мм, при этом средняя мощность снежного покрова уменьшилось на 12 см. Это свидетельствует о том, что количество жидких осадков увеличилось, а твёрдых сократилось.

Характеризуя состояние местных климатов на данный момент, можно сказать, что они испытывают потепление, следствием чего может оказаться изменение толщины льда на водных объектах и сокращение продолжительности ледостава. Также не исключено, что промерзание почвы изменится в меньшую сторону, как и её глубина промерзания. Также с потеплением почвы может измениться водный режим почв. Увеличится изменчивость температуры воздуха, повторяемость таких явлений, как оттепели зимой и заморозки весной. Летом возрастёт пожароопасность в лесах. Увеличение годовой суммы осадков и изменение внутригодового распределения осадков, а также изменение соотношения твёрдых/жидких/смешанных видов осадков. Увеличатся атмосферные нагрузки на здания и сооружения (снеговые, ветровые и гололёдные), что приведёт к возможному увеличению числа аварий, если не будут приняты адаптационные меры, организован мониторинг состояния покрытий зданий, обледенения ЛЭП и автомобильных дорог. Увеличение повторяемости оттепелей приведёт к сокращению срока службы блочных и панельных зданий. Ожидается уменьшение повторяемости весенних наводнений, вызванных снеготаянием.

Рост теплообеспеченности и удлинение вегетационного периода, возможно, приведут к сбалансированности ресурсов тепла и влаги, что существенно расширит возможности для развития высокоинтенсивного сельского хозяйства.

Литература

1. Барышева, А.А. Местные климаты и ландшафты Новгородской области // Великий Новгород: НРЦРО, 2008. С. 56–80.

Статья рекомендована к печати
канд. пед. наук, доцентом Дмитрук Н.Г.

УДК 664.858
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.03

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ИОННОЙ ОБРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕ ИЗ ОБЛЕПИХИ

Вимба В.О.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: vita.vimba@mail.ru

USE OF ELECTRON-ION PROCESSING IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF PRODUCTION OF SEA BUCKTHORN JELLY

Vimba V.O.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: vita.vimba@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена актуальность производства нового вида желе из облепихи с возможностью применения электронно-ионной обработки для увеличения сроков хранения и сохранения полезных свойств готового продукта, также представлены результаты физико-химического анализа сырья и его микробиологические показатели после обработки.
Ключевые слова: *обработка продуктов, желе, технологический процесс, электронно-ионная обработка.*

Abstract. This article discusses the relevance of the production of a new type of sea buckthorn jelly with the possibility of using electron-ion processing to increase the shelf life and preserve the useful properties of the finished product, and presents the results of physical and chemical analysis of raw materials and its microbiological indicators after processing.
Keywords: *processing food, jelly, technological process, electron-ion processing.*

Желе относится к сахаристым кондитерским изделиям, а именно фруктово-ягодным. В отличие от большинства продуктов кондитерского производства они обладают более высокой биологической ценностью, так как для их производства используется сырьё, которое достаточно богато витаминами, минеральными веществами. В натуральном желе присутствует два ингредиента – это плодовый сок и студнеобразователь.

В качестве студнеобразователя используются такие ингредиенты, как агар-агар, желатин, пектин, каррагинан [1].

Сиропы для фруктово-ягодных желе приготавливают из мезги. Из ягод, подвергнутых первичной обработке, отжимают сок, а из мезги

приготавливают отвар. В горячий отвар после процеживания вводят сахар, растворяют его и получают сироп [2]. Проводя маркетинговое исследование, было отмечено, что актуальной тенденцией на данный момент является создание экологически чистых и качественных продуктов питания, произведённых из натуральных ингредиентов, соответствующих международным стандартам и требованиям качества, без использования заменителей, консервантов и других добавок. Также отмечен интерес потребителей к продукции, относящейся к традиционным сладостям местного производства, обусловленный желанием покупателей знать место происхождения основного сырья.

Сегмент сахаристых кондитерских изделий является вторым по величине на кондитерском рынке и считается разноплановым и неоднородным по отношению к представленной в нём продукции.

Промышленным производством данного продукта занимаются предприятия, которые осуществляют переработку уже произведённого первичного сырья, а также полного цикла. Среди ассортимента наблюдается большой спектр вкусов от экзотических до наиболее традиционных. По итогам 2019 года структура рынка представляет следующие показатели: сахаристые изделия проявляют рост производства, и на их долю приходится 48,5% от общего объёма производства кондитерских изделий; печенье, вафли и другие продукты с длительным сроком хранения составляют 42%; и всего лишь 8,4% составляют торты и другие десерты с коротким сроком хранения. Также в статистике отмечен наибольший рост у Северо-Западного федерального округа.

В данный момент на рынке кондитерских изделий наблюдается наращивание объёмов производства во всех имеющихся направлениях. Жёсткая конкуренция между производителями создаёт новые вкусовые виды изделий, новые решения в оформлении своего товара, которые смогут как-то выделить их в сравнении с конкурентами. Особо актуальна в данный период времени разработка новых видов сахаристых кондитерских изделий, поскольку из статистики видно, что они обладают наиболее высокой востребованностью у потребителей.

Проанализировав ассортимент ягодных желе, можно сказать, что популярностью пользуются со вкусом клубники, смородины, вишни и малины, то есть традиционных ягод, вкус которых понятен потребителю и расположение которых свойственно регионам нашей страны. Исходя из этого, можно предложить новый вкус, а именно желе из облепихи, которое разнообразит ассортимент и в то же время дополнит ряд традиционных вкусов.

На данный момент идут поиски новых перспективных видов сырья, которые будут способствовать укреплению здоровья человека. Так, известно исследование по изучению химического состава плодов облепихи

крушиновидной различных сибирских регионов. Оно показало, что плоды облепихи являются ценным сырьём для обогащения продуктов питания биологически активными веществами, что делает их использование в переработке пищевых производств перспективным [3].

Облепиха считается одной из немногих растительных культур, которую можно отнести к поливитаминным. Витаминный состав плодов весьма разнообразен. Исследование выявило водорастворимые (витамины С, РР) и жирорастворимые витамины (провитамин А, Е). Состав золы также разнообразен, были определены в значительных количествах такие макроэлементы, как железо, магний, калий, кальций и микроэлементы – медь и цинк. Углеводный комплекс ягод состоит из глюкозы, фруктозы, сахарозы, ксилозы и др. Из насыщенных жирных кислот отмечено высокое содержание миристиновой, пальмитиновой кислот, из полиненасыщенных – линолевая, линоленовая и олеиновая. Также характерный вкус плодам облепихи придают такие кислоты, как яблочная, лимонная, фитиновая и др. Роль перечисленных веществ, входящих в состав плодов, в питании глубоко изучена, что придает расширению ассортимента данным видом сырья большое значение [3].

Облепиха имеет широкое распространение в Новгородской области, неприхотлива, хорошо переносит неблагоприятные климатические условия. Известно, что плоды этой культуры достаточно морозоустойчивы, что делает их пригодными для культивирования в Северо-Западном регионе нашей страны. Одним из главных качеств растительного сырья Северо-Западной части России является возможность длительное время не получать в необходимых количествах солнечный свет без вреда для роста и развития. Для этой части нашей страны подходящими являются такие сорта облепихи, как «Ботаническая любительская», «Чуйская», «Московская ананасная», «Нивелена», «Алей», «Трофимовская», «Масличная» и др.

Таким образом, изучив полезные свойства ягод данной культуры, была поставлена задача произвести новый продукт сначала в лабораторных условиях, а затем проработать вопрос возможности внедрения нового продукта в производство на территории Новгородской области. В лабораторных условиях были проведены опытные варки с целью определения пригодности сока для выработки желе и установления количества кислоты, которая должна быть добавлена для достижения оптимального pH. Так, были проведены анализы для определения показателя pH согласно ГОСТ 26188, для определения содержания растворимых сухих веществ рефрактометром согласно методике, описанной в ГОСТ Р 51433-99, и также для определения титруемой кислотности. Данные результатов физико-химического анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты физико-химического анализа сока из ягод облепихи

Показатель	Результат	Методика определения
pH	3,11	ГОСТ 26188
Брикс, %	17,5	ГОСТ Р 51433-99
Титруемая кислотность, м/моль на 100 $см^3$ продукта	6,8	ГОСТ ISO 750-2013

Отфильтрованный сок ягод облепихи загружали в варочный аппарат, добавляли к нему сахар. Смесь нагревали до кипения, удаляли пену и начинали уваривать до 65% сухих веществ. Перед окончанием уваривания добавляли раствор лимонной кислоты в виде 50%-го раствора. По окончании варки массу в горячем состоянии фильтровали через сетчатый фильтр. Фасовали желе в банки с температурой 75 °С. Далее оставляли в покое для охлаждения и желирования [4].

Дальнейшим этапом нашего исследования было провести обработку и сделать микробиологические анализы, тем самым подтвердить или опровергнуть возможность использования электронно-ионной обработки (ЭИО) в производственном процессе. Электронно-ионная обработка насчитывает целый большой набор достоинств в сравнении с другими факторами воздействия. Так, например, данный способ имеет меньшее энергопотребление, отличается своей дешевизной и экологичностью. В работах ряда авторов приводятся сведения по исследованию влияния электронно-ионной обработки на жизнедеятельность микроорганизмов, показывающие только положительные эффекты использования в области как активации, так и инактивации микроорганизмов [5].

ЭИО – это обработка материалов энергетическими потоками электронов, ионов, плазмы, нейтральных атомов с целью ингибирования обрабатываемых микроорганизмов. В результате воздействия таких потоков можно оказать влияние на физико-химические, механические, свойства обрабатываемых объектов исследования, а также контролировать параметры исходных и модифицированных веществ. Принцип ее работы следующий: при подаче высокого напряжения отрицательной полярности на коронирующей электрод в межэлектродном пространстве образуется неоднородное электрическое поле, обеспечивающее образование электроактивированного воздуха, насыщенного отрицательно заряженными ионами газов воздуха, что в совокупности с неоднородным электрическим полем оказывает воздействие на обрабатываемые микроорганизмы. Применение ЭИО способно качественно очистить исследуемый продукт от бактерий и микроорганизмов. У микроорганизмов положительный заряд, поэтому, сталкиваясь с отрицательными ионами, они погибают [5].

Было принято решение провести исследование, в котором объектом обработки будет непосредственно приготовленный сок из ягод облепихи,

поскольку мы не можем его подвергать высоким температурам, т.е. сильной тепловой обработке, так как при этом снижается содержание витаминов, и, следовательно, происходит утрата всех полезных свойств продукта. Также в технологическом отношении может произойти нежелательное изменение цвета в сторону потемнения. Это обусловлено процессом карамелизации, реакцией меланоидинообразования.

Карамелизация – это процесс перехода сахара под влиянием высокой температуры в аморфную массу, имеющую окраску от желтого до коричневого цвета в зависимости от интенсивности процесса.

Меланоидинообразование – это реакция взаимодействия сахара с аминокислотами, белками или полипептидами, в результате чего образуются соединения темной окраски – меланоидины. Данная реакция часто наблюдается при обработке продуктов животного и растительного происхождения высокими температурами, так как они имеют в составе определённое количество редуцирующих сахаров и свободных аминокислот. Именно образование данных соединений влияет на изменение окраски продуктов и формирование иных вкусовых и ароматических веществ, которые в нашем случае не нужны.

Микробиологические исследования сока проводились при помощи опытной установки для управления жизнедеятельностью микроорганизмов «УАМ-1» в условиях лаборатории. Перед проведением экспериментов были проведены следующие настройки установки: отрегулировано расстояние между коронирующими и заземлёнными электродами, выставлено напряжение для создания напряжённости 8 кВт/см. Затем она прошла санитарную обработку, а именно – протиралась спиртом и находилась под ультрафиолетовым излучением в течение 2 часов. Перед электронно-ионной обработкой проводилось взвешивание исследуемых образцов. Было приготовлено 4 образца по 10 г в каждой чашке Петри. Один из образцов являлся контрольным и воздействию не подвергался, остальные три проводились с разным интервалом времени. Экспозиция ЭИО – 1 опытный образец 30 с, 2 опытный образец 2 мин, 3 опытный образец 5 мин. После ЭИО каждого образца на заземлённом электроде установки «УАМ-1» возникало статическое электричество, которое снималось с помощью медного провода-заземления, установленного на ней.

Результаты экспериментов по воздействию ЭИО на сок из облепихи представлены в таблице 2.

Производили рассев каждого образца на чашки Петри с соответствующими питательными средами для каждой группы микроорганизмов, отправляли в термостат для выращивания и в конце производили подсчёт выросших колоний. Затем по формулам вычисляли результат микробиологических испытаний на содержание: КМАФАнМ, БГКП (колиформы), сальмонеллы, дрожжи и плесени.

Таблица 2. Микробиологические испытания сока из ягод облепихи, подвергнутого воздействию ЭИО

Наименование пробы	Результаты испытаний			
	КМАФАнМ, КОЕ/100 $см^3$ не более 30	БГКП (колиформы), не допускаются в массе продукта ($г/см^3$) 333	Патогенные, в т.ч. сальмонеллы, г	Дрожжи и плесени (в сумме), КОЕ/100 $см^3$, не более 15
Контроль	$5 \cdot 10^5$	Не обнаружены	Не обнаружены	$9{,}0 \cdot 10^3$
Сок из ягод облепихи: Воздействие ЭИО 30 с	$2{,}8 \cdot 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены	$8{,}2 \cdot 10^1$
Сок из ягод облепихи: Воздействие ЭИО 2 мин	$1{,}9 \cdot 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены	$8{,}2 \cdot 10^1$
Сок из ягод облепихи: Воздействие ЭИО 5 мин	$1{,}5 \cdot 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены	$4{,}0 \cdot 10^1$

Таким образом, нами было приготовлено желе из ягод облепихи, выращенной в Новгородской области, предложена технология для промышленного производства данного продукта для предприятий г. Великий Новгород и Новгородкой области. Проведённый нами опрос потенциальных потребителей, показал, что продукт будет пользоваться спросом. Исходя из результатов исследования, мы предполагаем, что электронно-ионная обработка воздействует не только на микроорганизмы, но и на их споры. Поэтому можно предположить, что срок хранения желе из облепихи будет иметь тенденцию увеличения.

Литература

1. Шепелев, А.Ф. Товароведение и экспертиза кондитерских товаров. Ростов н/Д: Феникс, 2014. С. 330–335.
2. Апет, Т. Справочник технолога кондитерского производства. СПб.: ГИОРД, 2004. С. 440–446.
3. Гуленкова, Г. Особенности биохимического состава плодов облепихи // Вестник КрасГАУ. 2013. № 11. С. 262–265.
4. Лурье, И. Технология кондитерского производства: учебник. М.: Агропроиздат, 1992. С. 226–230.
5. Глущенко, Н., Глущенко, Л.Ф. Новые методы обработки в перерабатывающих производствах: лабораторный практикум. В. Новгород: ООО «Позитив», 2013. С. 95.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, доцентом Осиповой М.В.

УДК 664.699:658.8
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.04

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЕЛЬМЕНЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ГРИБОВ

Вишнякова Т.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: vischnyackova.tatyana2017@yandex.ru

DEVELOPMENT OF RECIPES AND TECHNOLOGIES FOR COOKING DUMPLINGS WITH VARIOUS TYPES OF MUSHROOMS

Vishnyakova T.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: vischnyackova.tatyana2017@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена актуальность расширения ассортимента производимых полуфабрикатов, изучена возможность приготовления пельменей с различными видами грибов, представлены результаты по разработке нового продукта – пельмени из мяса птицы с различными видами грибов.
Ключевые слова: *мясные замороженные полуфабрикаты, пельмени, различные виды грибов.*

Abstract. This article discusses the relevance of expanding the range of semi-finished products, studied the possibility of producing dumplings with different types of mushrooms, presents the results of the development of a new product – poultry dumplings with different types of mushrooms.
Keywords: *frozen meat products, dumplings, various types of mushrooms.*

Увеличение реализации торговыми сетями полуфабрикатов из мяса, полуфабрикатов из растительного сырья, в заморозке, в оболочке из теста связан с ростом доходности рядовых потребителей и повышением ритма жизни в окружающем нас обществе и мире. Рынок замороженных полуфабрикатов в тесте остаётся самым динамично растущим сегментом. Пельмени являются очень популярным блюдом. Их потребление в Российской Федерации – не только дань традиции, но и экономический выход для многих семей, а также студентов и пожилых людей. Они относительно недорого стоят, при этом питательны и калорийны.

Потребители постепенно приходят к утверждению, что замороженные полуфабрикаты – это удобно, и позволяют экономить время людям. Технология полуфабрикатов в тестовых оболочках допускает использовать мясо механической обвалки. Кроме того, в рецептуре этих

продуктов разрешается применение вспомогательных материалов, таких как мука, клетчатка [1, 2]. Их использование позволяет снизить потери массы при термообработке, улучшить вкусовые показатели качества и консистенцию готового продукта, а также снизить себестоимость выпускаемых продуктов с сохранением требуемых качественных показателей и критериев [3].

Требования к качеству мясного сырья предъявляются достаточно жёсткие, они должны отвечать нормативной и технической документации по безопасности и качеству мяса, что является наиболее важным, так как от этого зависит здоровье потребителей продуктов питания. В современном мире, окружающем нас со всех сторон, ритм жизни достаточно высок. У людей становится всё меньше времени на приготовление традиционных домашних блюд. Люди, и в особенности молодёжь, последнее время предпочитают еду быстрого приготовления, иначе называемую фастфудом. Многие из них предпочитают варить или разогревать полуфабрикаты, что также позволяет экономить время на приготовлении пищи. Мясные и растительносодержащие полуфабрикаты – сейчас очень популярные продукты, они не дороги, и их хоть изредка, но покупают почти всё население нашей страны. Популярны такие продукты и за рубежом.

В торговых сетях полуфабрикаты в заморозке встречаются расположенными по группам товаров: полуфабрикаты из рыбы, мясосодержащие полуфабрикаты, полуфабрикаты из мяса птицы (например, котлеты, голубцы, палочки в панировке и т.д.), полуфабрикаты в оболочке из теста (пельмени, блины, манты, хинкали, вареники и т.д.) и пиццы.

Огромной популярностью у покупателей пользуются такие полуфабрикаты, как пельмени. За последние годы процентное содержание пельменей по отношению к общему количеству выпускаемых полуфабрикатов увеличилось, и намного опередило выпуск котлет, блинов и пр. [4].

Сотрудники торговых сетей и маркетинговых компаний провозглашают, что пельмени в настоящее время стали одним из самых востребованных полуфабрикатов в нашей стране. По данным статистического учёта, пельмени как полуфабрикат производят более пятисот предприятий по всей территории Российской Федерации. По данным социологического опроса, пельмени в России покупают около семидесяти пяти процентов семей. И это можно объяснить несколькими социально-экономическими причинами: ростом уровня жизни людей, увеличением доходов на душу населения, недостаток свободного времени, особенно у молодых семей с маленькими детьми и у студентов [6].

Пельмени являются популярной продукцией, в большом количестве и весьма разнообразном ассортименте выпускаемой различными крупными и мелкими предприятиями. В Великом Новгороде и в

Новгородской области пельмени изготавливают несколько мясоперерабатывающих производств. Основная масса пельменей, представленных в торговых сетях и магазинах города и области, привозные.

На сегодня переработка мяса и выпуск полуфабрикатов, и в частности пельменей, привлекает всё больше заинтересованных в этом бизнесе людей. Бизнесмены уверены, что, вложив в производство свои денежные средства, получат стабильно высокую прибыль. Покупательский спрос на эту продукцию чрезвычайно высок. Производство не зависит от сезонности, так как продукция потребляется всегда и не зависит от времени года [4].

Преимущество полуфабрикатов из мяса, и в частности пельменей, заключается в том, что продукция поступает на реализацию в замороженном виде, имеет длительный срок хранения, даёт возможность запастись ею впрок по сравнительно низкой цене, что является важным аргументом при принятии решения о покупке.

За последний период очень стали распространёнными продукты из мяса, в которые включены растительные ингредиенты. Для удешевления продукции многие производители уже добавляют к мясу пельменей растительное сырьё. Был проведён патентный поиск, который выявил, что пельменей из мяса птицы с различными видами грибов пока нет на российском рынке. Для улучшения потребительских свойств продукта предлагается использовать различные виды грибов. Грибы имеют богатый сбалансированный состав полезных элементов: 18 аминокислот, витамины группы B, D, E, микро-макроэлементы [4]. Интерес вызывает возможность использования грибов, выращенных в условиях Новгородской области. Поставками грибов на рынок Северо-Западного региона занимается ряд новгородских предприятий: ООО «Трубичино», ЗАО «Савино», «Экоферма “Чудово”». Для приготовления пельменей грибы могут быть использованы в сыром, сушеном, мороженом и маринованном виде.

Целью исследования явилась возможность приготовления новых продуктов, ранее не выпускаемых предприятиями по переработке мяса. Таким продуктом стали пельмени с различными видами грибов. Новинкой стало получение функционального продукта с повышенными характеристиками качества – отличным вкусом и ароматом, пищевой и биологической ценностью, благотворного воздействия на организм человека в связи с наличием в своем составе исключительно натуральных мясных и растительных ингредиентов.

Проведённое маркетинговое исследование для составления портрета потенциальных покупателей и выявления предпочтений показало, какие слои населения заинтересованы в покупке замороженных полуфабрикатов, какие приоритеты ставят при выборе пельменей, а именно цена и качество, органолептические качества продукта, а также заинтересованность покупателей в приобретении нового продукта. Данные исследования представлены в виде диаграмм на рисунках 1–4.

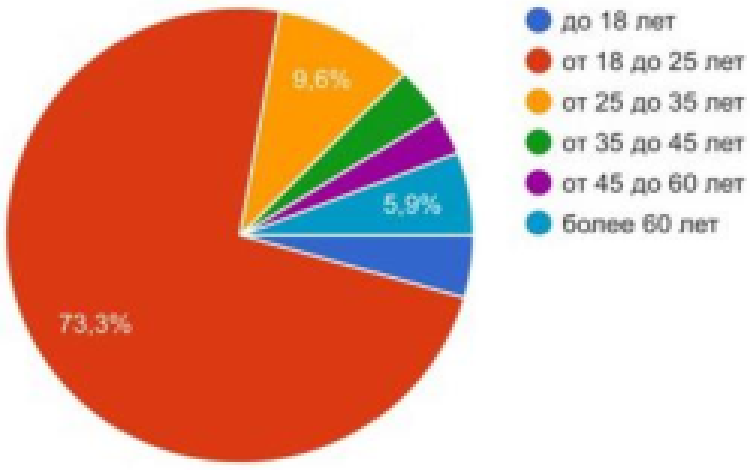


Рисунок 1. Возраст потенциальных покупателей

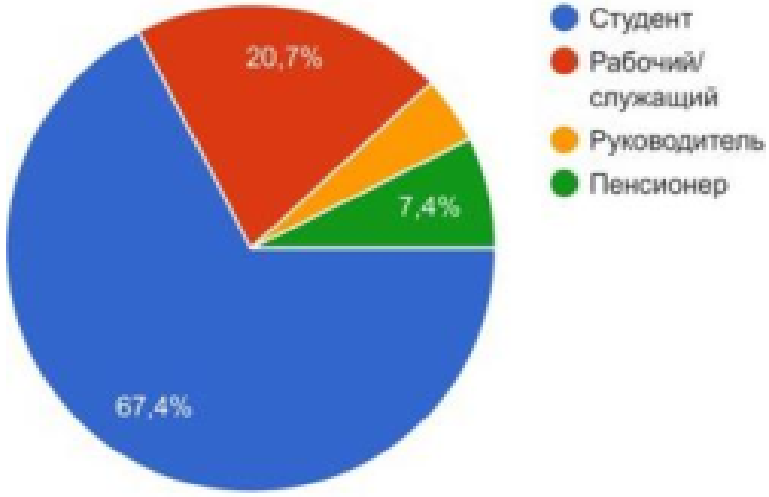


Рисунок 2. Вид деятельности потенциальных покупателей

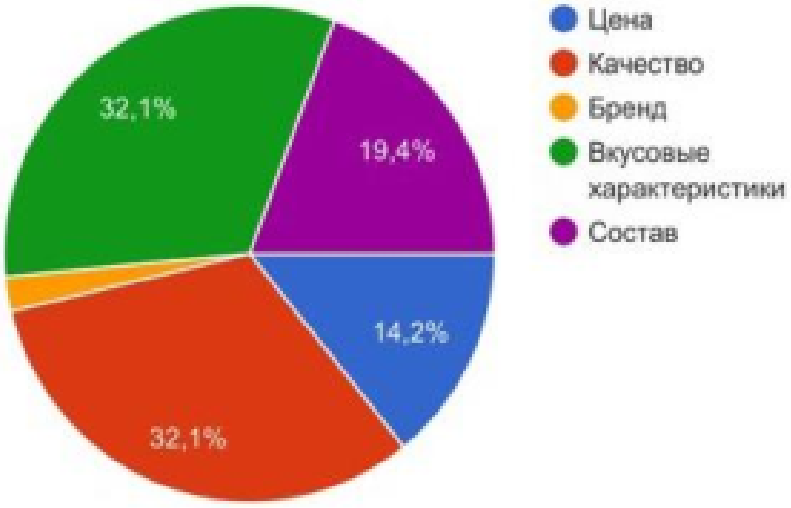


Рисунок 3. Приоритеты в выборе пельменей
при покупке потенциальными покупателями

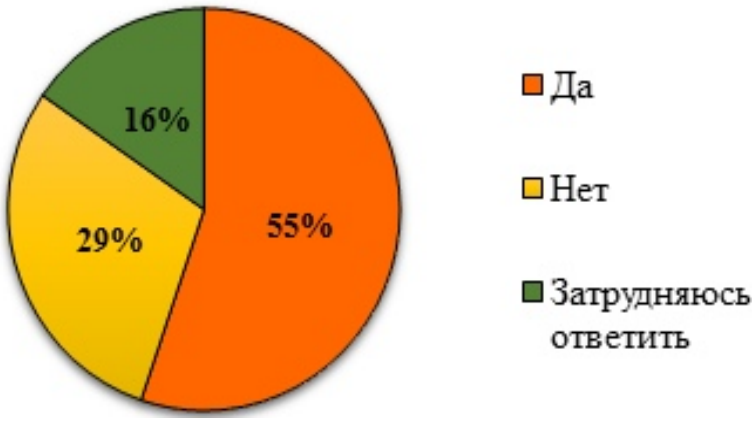


Рисунок 4. Заинтересованность покупателей
в покупке нового полуфабриката

В ходе исследования выявлено, что основными потенциальными покупателями пельменей являются студенты и работающие люди в возрасте от 18 до 35 лет (рисунок 1, 2). Было выяснено, что при выборе пельменей люди разных возрастов и социального статуса смотрят в большей степени на качество продукта и на вкусовые характеристики (рисунок 3). Также исследования показали, что ассортимент пельменей на прилавках торговых сетей Великого Новгорода и Новгородской области недостаточно разнообразный, и в связи с этим маркетинговые исследования показали, что покупатель заинтересован в приобретении нового вида полуфабриката – пельменей из мяса птицы с грибами (рисунок 4). Также число опрошенных отдают предпочтения добавлению грибов, а именно: шампиньонам, лисичкам, опятам и белым грибам. Это и послужило основанием для разработки нового вида пельменей с растительным сырьём.

Научно-исследовательскую работу по разработке рецептуры продукта «Пельмени с грибами» проводили в три этапа. Все исследования проводились на базе учебной лаборатории кафедры «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

На первом этапе были приготовлены опытные образцы: пельмени из мяса птицы с грибами (10% от общей массы начинки), пельмени из свинины с грибами (10% от общей массы начинки), пельмени из мяса свинины и говядины с грибами (10% от общей массы начинки). Процесс приготовления данных образцов заключался в следующих операциях:

Первым этапом в технологии приготовления пельменей было приготовление теста. Этот этап также включает в себя подготовку компонентов согласно рецептуре. Муку просеивали для исключения попадания в тесто металлических и прочих примесей. После просеивания муку взвешивали, отмеряли необходимое количество воды, взвешивали

необходимое количество соли. В ёмкость для приготовления вносили муку, воду, яйца, соль и приступали к замешиванию теста. После замешивания давали тесту выстояться в течение 15–20 минут. Одновременно с замесом теста проводили подготовку начинки для пельменей. Мясо согласно рецептуре (куриное филе, мясо свинины, говядины) предварительно подвергалось наружному осмотру, чтобы не было прожилок и кровоподтёков. После осмотра и положительного заключения о качестве мяса его пропускали через мясорубку. На мясорубке были установлены следующие параметры решётки: диаметр отверстий 2–3 мм.

В пельмени добавляют луково-грибную смесь. Грибы и свежий лук также требуют предварительной подготовки. Их измельчают, поджаривают с добавлением растительного масла. Затем обжаренную луково-грибную смесь измельчали до состояния фарша на мясорубке. Полученный мясной фарш и подготовленную луково-грибную смесь перемешивали до состояния единой однородной массы.

Тесто, после того как выстоялось 15–20 минут, раскатывали в тонкий пласт, резали и начиняли подготовленной начинкой. После выработки опытных образцов их отваривали в подсоленной воде до готовности.

Готовые образцы (отварные пельмени) были продегустированы.

По результатам дегустации было выявлено, что наибольшую оценку получил продукт «пельмени из мяса птицы с грибами», продукт отличался хорошим вкусом, по расчёту себестоимости эти пельмени также выигрывали по сравнению с остальными образцами – сырьевая себестоимость продукта оказалась самой низкой.

На втором этапе исследовательской работы были приготовлены пельмени из мяса птицы с различными видами грибов: консервированными шампиньонами, свежими шампиньонами, замороженной смесью лесных грибов. Выбор растительных добавок (грибов) был не случаен – мы исходили из того, какие грибы имеются в продаже всесезонно, в свободном доступе для потенциального производителя продукта «Пельмени с грибами». Приготовление опытных образцов было сделано аналогично, как и на первом этапе. По результатам дегустации было выявлено, что наибольшую оценку получил продукт «Пельмени из мяса птицы со смесью лесных грибов», продукт отличался приятным хорошим вкусом, ароматом, хорошей консистенцией фарша.

На третьем этапе исследовательской работы были приготовлены пельмени из мяса птицы с различным соотношением содержания смеси лесных грибов к общей массе начинки.

Соотношение ингредиентов в пельменях из мяса птицы с содержанием со смесью лесных грибов 20% (от общей массы начинки) представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура пельменей из мяса птицы с содержанием смеси лесных грибов (20% от общей массы начинки), кг, на 1 кг готового продукта

№	Ингредиенты	Количество, кг
	Начинка пельменей	
1	Мяса птицы механической обвалки	0,560
2	Грибная смесь (лесные грибы)	0,150
3	Лук репчатый свежий очищенный	0,040
	Специи	
4	Соль поваренная пищевая не ниже 1-го сорта	0,020
	Сырьё для теста	
5	Мука пшеничная высший сорт	0,200
6	Масло подсолнечное	0,020
7	Яйца куриные	0,035
8	Вода питьевая	0,050
Итого:		
Себестоимость сырья: на 1 кг готового продукта, руб		183

По результатам дегустации было выявлено, что наибольшую оценку получил продукт «Пельмени из мяса птицы (20% от общей массы начинки)». Улучшение органолептических показателей качества пельменей было достигнуто за счёт использования в качестве добавки к фаршу большего количества растительного компонента: грибной смеси. Дегустационная комиссия отметила высокие вкусовые характеристики нового продукта, а именно: вкус, запах, вид пельменей на тарелке, консистенцию начинки и структуру тестовой оболочки.

На следующем этапе научно-исследовательской работы планируется провести исследования по изучению физико-химических показателей качества «Пельмени из мяса птицы со смесью лесных грибов (20% от общей массы начинки)», а именно: определение кислотности и определение содержания жира, разработать технологическую схему производства замороженных полуфабрикатов, определить пищевую ценность нового вида продукта, установить гарантийный срок годности, рассчитать экономическую эффективность производства нового продукта и разработать техническую документацию.

Результатом исследований будет являться разработка технологии новых мясных полуфабрикатов и внедрение технологии их производства на мясоперерабатывающие предприятия Великого Новгорода.

Литература

1. Прянишников, В.В. Инновационные технологии производства мясных продуктов // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 2–3. С. 364–366.

2. Рогов, И.А., Забашта, А.Г., Казюлин, Г.П. Общая технология мяса и мясопродуктов. М.: Колос, 2000. 368 с.
3. Функциональные продукты на мясной основе, обогащенные растительным сырьём / М.А. Асланова, О.К. Деревицкая, А.С. Дыдыкин, Е.Л. Воловик // Мясная индустрия. 2010. № 6. С. 45–47.
4. Мамиконян, М.Л., Давлеев, А.Д., Адылов, А.В. Мясоперерабатывающая промышленность России: смена технологической парадигмы // Птица. 2015. № 6. С. 6–11.
5. Рязанцева, Т.В. Мясные технологии // Полуфабрикаты: техника формования. 2012. № 2. С. 12–13.
6. Современные технологии – традиционное качество // Всё для мясной промышленности. 2016. 30 с.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, доцентом Осиповой М.В.

УДК 663.814
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБА ОБОГАЩЕНИЯ *ВИТАМИНОМ С* СИРОПА ИЗ ЛИСТЬЕВ ЧЁРНОЙ СМОРОДИНЫ

Командрина Е.Н.

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого
E-mail: kat.komandrina@yandex.ru

DETERMINATION OF THE METHOD FOR ENRICHING BLACK CURRANT LEAF SYRUP WITH *VITAMIN C*

Komandrina E.N.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: kat.komandrina@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрен способ обогащения витамином С сиропа из листьев чёрной смородины на основании суточной потребности населения в *витамине С*, информации о функциональности продута, правилах и возможной форме внесения витамина.
Ключевые слова: *витамин С, обогащение, пищевые продукты.*

Abstract. The article describes a method for fortifying vitamin C syrup from black currant leaves based on the daily needs of the population in *vitamin C*, information about the functionality of the product, the rules and possible form of vitamin application.
Keywords: *vitamin C, fortification, food products.*

В настоящее время наблюдется устойчивый интерес к здоровому питанию, необходимому для поддержания организма в тонусе. Для людей становится привычно обращать внимание на пользу и вред, которые им приносит тот или иной пищевой продукт. Поэтому производители стараются выводить на рынок продукцию, обогащенную теми или иными нутриентами, в том числе и витаминами.

Общеизвестно, что витамины играют важную роль в питании. Они укрепляют иммунитет, поддерживают устойчивую работу организма, входят в структуру ферментов. Витамины также помогают предотвратить серьёзные заболевания, связанные с их дефицитом (цинга, бери-бери и т.д.). Недостаток витаминов в пище может привести к росту заболеваемости, ухудшению качества и даже к уменьшению продолжительности жизни населения.

Витамин С (аскорбиновая кислота) является одним из важнейших нутриентов. Он необходим для нормального функционирования соединительной и костной ткани. При недостатке витамина С наблюдается

быстрая утомляемость, возрастает риск физиологических и нервных расстройств (выпадение зубов, ломкость костей и т.д.) и таких заболеваний, как цинга.

В организме человека аскорбиновая кислота не синтезируется, а поступает с пищей. Но витамин С является одним из наименее стойких и частично разрушается при тепловой обработке, окислении воздухом и соприкосновении с медью и железом. Более того, по данным НИИ питания, у четверти россиян уровень витамина С в организме ниже нормы даже летом. Поэтому представляет интерес обогащение продуктов питания данным витамином, а в частности, сиропа из листьев чёрной смородины.

Сироп – концентрированный продукт, изготовленный из пищевых ингредиентов с массовой долей сухих веществ не менее 50,0%. Сироп также называют концентратом безалкогольного напитка. Сиропы на растительном сырьё производятся с использованием экстрактов, концентратов, настоев, композиций растительного сырья (растений, плодов, семян и др.) или концентрированных основ, в состав которых входят эти продукты [1].

Сахарные сиропы в значительной мере используются в кондитерской промышленности, а также как вкусовая добавка к различным напиткам. В кондитерской промышленности водные сиропы с содержанием сахара 40–80% (обычно более 70%) используются для пропитки мучных кондитерских изделий, глазирования пряников, драже и фруктов, в качестве полуфабрикатов для производства карамельной массы и помадки. Водные сиропы с содержанием сахара 30–60% используются для варки варенья и приготовления компотов из консервированных фруктов [2].

Сахарный сироп с добавлением фруктов можно употреблять в пищу, а также готовить желе, муссы, фруктовые салаты и йогурты.

Во многих странах Европы при приготовлении хлеба сахарный сироп используют в качестве одного из ингредиентов. При этом хлеб приобретает приятный вкус, цвет и аромат. Сахарный сироп в хлебе является натуральным кормом для дрожжей, улучшает процесс брожения теста и структуру хлеба.

Сахарные сиропы, при условии строгого нормирования их потребления, способны приносить пользу человеку. При его употреблении пополняются запасы энергии, вырабатывается серотонин, улучшающий самочувствие.

Основное количество витаминов, необходимых для поддержания здоровья, часто можно получить из растительного сырья. Поэтому является актуальным использование различных видов культурных растений в производстве продуктов питания. Такой культурой могут стать листья чёрной смородины.

В России чёрная смородина является признанной культурой, выращиваемой на различных территориях. В России чёрная смородина

известна с XI века. Название «смородина» происходит от древнерусского слова «смород» – сильный запах. Первоначально она использовалась в качестве лекарства. Позже в России этот куст начали выращивать в садах для ягод. Первое упоминание чёрной смородины как десертного плода датируется 1671 годом [3].

В Северо-Западном регионе, и, в частности, в Новгородской области, чёрная смородина также является популярной культурой. Листья чёрной смородины богаты биологически активными веществами и являются перспективным сырьём для производства пищевой продукции. Данное сырьё уже можно видеть на прилавках в составе зелёного и чёрного чая. Листья также применяются в витаминных сборах, для соления и квашения.

Актуально использовать листья чёрной смородины, так как они содержат большое количество таких минеральных веществ, как магний, медь, фосфор, железо и марганец, богаты солями калия. Также в листьях содержится большое количество витамина С, так как в них отсутствуют ферменты, расщепляющие аскорбиновую кислоту. Помимо витамина С, в них содержатся витамины В, Р, К, провитамин А, дубильные вещества и др.

Потребность в тех или иных витаминах во многом зависит от возраста, пола, физической активности человека, климатических условий, физиологического состояния организма и т.д. Организму необходимо больше витаминов в условиях холодного климата, недостатка солнечного света, при усиленной умственной и нервно-психологической деятельности, а также в период беременности и грудного вскармливания. Негативно на содержание витаминов в организме влияет частое бессистемное потребление различных лекарственных веществ.

Энергия, затрачиваемая на работу внутренних органов и на теплообмен, называется основным обменом. При температуре 20 °С, при полном покое, натощак основной обмен составляет 1 ккал в 1 ч на 1 кг массы тела человека. Следовательно, у людей одной массы основной обмен в течение суток одинаков и составляет у человека массой 60 кг 1440 ккал, у человека массой 70 кг – 1680 ккал и т.д. [4].

Всё взрослое население в зависимости от энергозатрат делится на 5 групп для мужчин и 4 группы для женщин: с очень низкой физической активностью, большее число которых – работники умственного труда (в сутки расход энергии в зависимости от пола и возраста составляет 2200–2800 ккал); с низкой физической активностью – работники, занятые лёгким трудом (суточный расход энергии составляет 2350–3000 ккал); со средней физической активностью – работники средней тяжести труда (2500–3200 ккал); с высокой физической активностью, выполняющие тяжёлые работы (2900–3700 ккал); с очень высокой физической активностью –

только мужчины, работники особо тяжёлого физического труда (3900–4300 ккал) [4].

В 2013 году Европейский Научный Комитет по Питанию заявил, что среднестатистическое требование к употреблению витамина С на здоровом уровне – это приём 90 мг в день для мужчин и 80 мг в день для женщин.

В России, согласно МР 2.3.1.2432-08, уточнённая физиологическая потребность для взрослых составляет 90 мг/сут., а для детей – от 30 до 90 мг/сут. Верхний допустимый уровень потребления – 2000 мг/сут. [5].

Сироп из листьев чёрной смородины можно отнести к категории безалкогольных напитков. Согласно ГОСТ 55577-2013 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности», информация о том, что безалкогольный напиток является источником какого-либо витамина, может быть приведена только в том случае, если данный витамин составляет не менее 15% от суточной потребности на 100 см³ продукции [6].

Таким образом, в 100 мл сиропа из листьев чёрной смородины должно содержаться не менее 13,5 мг витамина С, согласно уточнённой физиологической потребности для взрослых.

При обогащении продукции витаминами часто возникают трудности с сочетаемостью витаминов и продукции, в которую он вносится. Следует учитывать возможность химического взаимодействия между компонентами продукции и обогащающими добавками, что во многом усложняет процесс подбора витаминных комплексов для конкретной продукции. На это влияют, во многом, свойства данной продукции, находящиеся в ней минералы и витамины, их сочетаемость с вносимыми витаминами и т.д. Чтобы избежать этих трудностей, были созданы специальные формы витаминов, доступные для организма человека, – премиксы. Эти готовые витаминно-минеральные комплексы позволяют контролировать процесс обогащения, обеспечивает равномерное распределение витаминного комплекса в продукции [7].

При расчёте количества витамина, вносимого в продукт для его обогащения, должно учитываться естественное его содержание в исходном сырьё, из которого производится данный продукт, а также потери при производстве и хранении продукции. Это необходимо для того, чтобы обеспечить сохранность витамина на уровне, не ниже регламентированного в течение всего срока годности продукции [7].

Широкое обсуждение вызывает вопрос обогащения продукции с высоким содержанием углеводов. Противник обогащения данной продукции считают, что обогащение может повысить привлекательность продукции, что может существенно повлиять на рацион населения. В некоторых странах существуют ограничения на обогащение данной продукции, например в Австралии и Новой Зеландии. В то же время проведённые исследования показали, что обогащение продукции с

высоким содержанием углеводов витаминами сглаживает отрицательное влияние добавления сахара на микронутриентную плотность рациона [8].

При этом для обогащения пищевых продуктов, энергетическая ценность которых составляет 100 ккал и более на одну порцию, содержание витамина уместно указывать на 100 ккал.

Следует учитывать, что для каждой категории продукции предъявляются свои требования к обогащению (перечень обогащающих добавок, формы витаминов и минеральных веществ, уровни их внесения), сформулированные в НТД, что затрудняет внедрение премиксов на производство [9].

Также необходимо обратить внимание на наличие некоторых несоответствий, касающихся маркировки продукции для взрослого населения, обогащенной витаминно-минеральными комплексами премиксов. Так, количество вносимого премикса в обогащаемый продукт должен регламентироваться, исходя из норм физиологической потребности (МР 2.3.1.2432-08), как было сказано ранее. Но при указании на упаковке степени удовлетворения суточной потребности в микронутриентах расчёт ведётся по средней суточной потребности, которая указана в приложении 2 ТР ТС 022/2011. Но между данными величинами имеется некоторые различия: для витамина С рекомендуемый уровень суточного потребления составляет 60 мг [10], что несколько ниже нормы физиологической потребности по МР 2.3.1.2432-08.

Эффективность вносимого в продукцию витамина во многом зависит от метода его внесения, так как необходимо добиться сохранности его свойств на протяжении всего срока хранения продукции, а также минимизировать потери при внесении. Поэтому необходимо обеспечить полное растворение витамина С в продукте. При производстве безалкогольных напитков препарат должен вноситься в конечный продукт [11].

Таким образом, в данной статье был рассмотрен возможный способ обогащения витамином С сиропа из листьев чёрной смородины на основании свойств продукции, правилах внесения витамина в сироп для лучшей сохранности всех полезных свойств данного нутриента. Для обогащения сиропа была выбрана такая форма внесения витамина, как премикс.

Литература

1. ГОСТ 28499-2014. Сиропы. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. С. 2.

2. Шамкуть, О.В. Профессия кондитер: учеб. пособие. М.: Современная школа, 2006. С. 272.

3. Петрова, С.Н., Кузнецова, А.А. Состав плодов и листьев смородины чёрной Ribes nigrum L. (обзор) // Химия растительного сырья: сб. статей. М., 2014. № 4. С. 43.

4. Васюкова, А.Т. Микробиология, физиология питания, санитария и гигиена. М.: Кнорус, 2019. С. 87.
5. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации: М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. С. 17.
6. ГОСТ Р 55577-2013. Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности (с Изменением № 1): М.: Стандартинформ, 2014. С. 7.
7. Спиричев, В.Б., Шатнюк, Л.Н. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами: научные принципы и практические решения // Пищевая промышленность: сб. статей. М., 2010. Вып. 4. С. 21, 24.
8. Обоснование уровня обогащения пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами / В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, В.Б. Спиричев, Л.Н. Шатнюк // Вопросы питания, 2010. Т. 79, № 1. С. 29.
9. Коденцова, В.М., Вржесинская, О.А. Витаминно-минеральные комплексы: формы и способы применения // Микроэлементы в медицине: сб. статей. М., 2019. Вып. 1. С. 23.
10. ТР ТС 022/2011. Технический регламент Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (с изменениями на 14 сентября 2018 года): Евразийское экономическое сообщество. Комиссия таможенного союза, 2011. С. 24.
11. Рудольф, В.В. Сборник технологических инструкций, правил, методических указаний и нормативных материалов по безалкогольной промышленности: в 2 т. М.: Научно-производственное объединение напитков и минеральных вод (НПО НМВ), 1991. 211 с.

Статья рекомендована к печати
канд. с.-х. наук, доцентом Петровым А.С.

УДК 633.352.1(470.24)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.06

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИКИ ПОСЕВНОЙ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ПОСЕВА В УСЛОВИЯ СПК «ЛЕВОЧСКИЙ» НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Кудрявцева В.С.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
E-mail: cudryavczeva.viktoria2017@yandex.ru

COMPARATIVE EVALUATION OF DIFFERENT METHODS OF SEEDING WIKI IN THE CONDITIONS OF SEC “LEVOCHSKY” OF THE NOVGOROD REGION

Kudryavczeva V.S.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: cudryavczeva.viktoria2017@yandex.ru

Аннотация. Вопрос производства растительного белка можно разрешить за счёт высокобелковых злаковых культур и смесей с зернобобовыми культурами. Вика посевная – одна из культур, которую возделывают в уплотнительных посевах. В статье говорится о сравнительной оценке продуктивности вики посевной с овсом разных способов и разной нормой высева. Проводится исследование на полевую всхожесть, урожайность зелёной массы и семян. Исходя из результатов исследования выявлен подходящий способ посева для возделывания в хозяйстве СПК «Левочский».
Ключевые слова: *зернобобовые культуры, вика посевная, урожайность зелёной массы, семян.*

Abstract. The Issue of vegetable protein production can be solved by high-protein cereals and mixtures with legumes. Vetch is one of the crops that is cultivated in compaction crops. The article deals with a comparative assessment of the productivity of wiki crops with oats in different ways and different seeding rates. Research is being conducted on field germination, yield of green mass and seeds. Based on the results of the study, a suitable method of sowing for cultivation on the farm of the sec “Levochsky” was identified.
Keywords: *legumes, vetch crop, the yield of green mass, seeds.*

Кормопроизводство в настоящее время имеет решающее значение в создании прочной кормовой базы для животноводства. Для выполнения этой задачи целесообразно использовать смешанные посевы.

Смешанные посевы предоставляют возможность полнее использовать почвенное плодородие, чем раздельные, что в свою очередь даёт возможность получать больше растениеводческой продукции с единицы площади. Основная и наиболее распространённая в России

культура, которая используется в уплотнительных посевах, – это вика посевная.

Вика является неплохим компонентом для уплотнения других кормовых культур при возделывании на зелёный корм.

При возделывании бобовых со злаковыми культурами наблюдается прирост белка в корме благодаря высокому содержанию протеина в бобовом компоненте, облегчается уборка и сокращаются потери урожая культур, склонных к полеганию, улучшаются процессы фотосинтеза и почва обогащается биологическим азотом, что ставит смеси в разряд хороших предшественников для озимых и других культур [1].

Основная цель наших исследований – сравнительная оценка разных способов посева вики посевной с овсом.

В задачи исследований входило: выявление оптимальных соотношений вики посевной с овсом разных способов посева; изучение особенностей роста, развития, формирования урожая вики посевной с овсом разных способов посева; определение продуктивности растений смешанных агроценозов разных способов посева.

Место провождения и закладывания опытов в Хвойнинском районе в хозяйстве СПК «Левочский».

Отраслевая принадлежность кооператива – сельское хозяйство, т.к. основной вид деятельности СПК – производство и реализация сельскохозяйственной продукции. Кооператив – самое крупное хозяйство на территории Хвойнинского района по размерам и объёму производимой продукции. Хозяйство имеет 2312 га сельхозугодий, в том числе 865 га зерновые, 868 голов крупного рогатого скота, из них 410 голов коров. За 2003–2005 гг. освоены сбалансированные рационы кормления КРС, новая технология заготовки силоса, приобретено и установлено современное молочное оборудование на молочно-товарной ферме с. Левоча. Внедрению новой техники руководством кооператива всегда уделяется особое внимание, изучается опыт других хозяйств по эксплуатации этих машин.

В ноябре 2009 года начался проект внедрения и применения новой технологии ведения животноводства под руководством научно-технологического центра, целью которого являются увеличение среднесуточного привеса, увеличение надоя молока, достижение предельного веса КРС, соответственно снижение себестоимости молока и мясной продукции. В СПК «Левочский» 2017 года началась модернизация цеха переработки молочной продукции. После модернизации производительность цеха составит 7,3 т/сут., что позволит перерабатывать весь объём производимого в СПК «Левочский» молока-сырья.

Урожайность культур: многолетние травы 120 ц/га, ячмень 24 ц/га, овёс 27 ц/га, пшеница 19 ц/га, озимые 22 ц/га. Благодаря продуманной политике растениеводства хозяйство полностью обеспечивает себя кормами.

В основу экспериментальной работы взяты методические указания ФГБНУ ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса [2].

В течение вегетации велись фенологические наблюдения за ростом и развитием растений вики посевной, отмечались фазы всходов, бутонизации, цветения, образования бобов, созревания.

Способ посева – обычный рядовой (15 см). Чередование рядков: совместный 1:1, совместный 2:1, совместный 1+1. Размещение сортов – рендомизированное. Повторность трёхкратная [3].

Структурный анализ проводили у 5 растений в период уборки, подсчитывая количество ветвлений, число бобов с растения, число семян в бобе, число семян с растения, массу 1000 семян; измеряли высоту растения, длину боба, ширину боба.

Все растения проходят определённые циклы развития, начиная от посадки, созревания урожая и до ухода на зимний покой. Этот путь сопровождается морфологическими видоизменениями развивающегося в онтогенезе растения и его частей. Изучение последовательных этапов субъективного развития растений в течение периода вегетации имеет важное теоретическое и практическое значение для познания механизма формирования урожая.

В наших исследованиях полевая всхожесть вики посевной при разных способах посева была неодинаковой: в 2017 году она была значительно ниже, чем в 2018 году на всех вариантах (таблица 1).

Таблица 1. Влияние способа посева на полевую всхожесть вики посевной с овсом, ср. 2017–2018 гг.

Варианты опыта	Полевая всхожесть, %		
	2017 г.	2018 г.	среднее
Вика посевная в чистом виде (контроль)	95,5	97,2	96,3
Вика посевная + овёс (1:1)	92,1	100,0	96,0
Вика посевная + овёс (2:1)	92,4	100,0	96,2
Вика посевная + овёс (1+1)	93,6	100,0	98,15

В наших опытах продолжительность периода всходы – начало цветения в среднем в 2017–2018 гг. были от 27 до 29 дней (таблица 2).

Таблица 2. Влияние способа посева на наступление основных фаз вегетации вики посевной с овсом, ср. 2017–2018 гг.

Варианты опыта	Дней от посева до наступления фазы вегетации				
	всходы	бутонизация	цветение	образование бобов	созревание
Вика посевная в чистом виде (контроль)	10	26	38	46	120

Вика посевная + овёс (1:1)	10	28	39	45	121
Вика посевная + овёс (2:1)	10	27	37	48	121
Вика посевная + овёс (1+1)	10	28	37	46	120

Согласно международной классификации для вики посевной на основе анализа продолжительности вегетационного периода по результатам наших исследований выделена группа семенной спелости: позднеспелые – 121–140 дней (таблица 3).

Таблица 3. Продолжительность вегетационного периода вики посевной с овсом в зависимости от способа посева, дней, ср. 2017–2018 гг.

Варианты опыта	2017 г.	2018 г.	Среднее
Вика посевная в чистом виде (контроль)	111	128	120
Вика посевная + овёс (1:1)	112	129	121
Вика посевная + овёс (2:1)	110	132	121
Вика посевная + овёс (1+1)	105	134	120

В 2017 году наименьшее число ветвей на варианте вика посевная + овёс (1+1) составило 2,0 шт. Наименьшее число листьев на растении было на варианте вика посевная + овёс (1:1) и составило 1,6 шт. Наибольшее число листьев было на контрольном варианте и составило 20,7 шт. Показатель высоты растений на контроле тоже был выше, чем на других вариантах и составил 1,04 м. Низкими растениями вики посевной были на варианте вика посевная + овёс (2:1) и составило 0,91 м. По продуктивности зелёной массы растений выделился вариант вика посевная + овёс (1:1), которая составила 100,0 г. (таблица 4).

В 2018 году число ветвей на растениях вики посевной было выше, чем в 2017 году, и составило 3,4 шт. в среднем по вариантам. Наименьшее число листьев – 9,8 шт. было на варианте вика посевная + овёс (2:1).

Таблица 4. Элементы продуктивности зелёной массы растений вики посевной с овсом в зависимости от способа посева, ср. 2017–2018 гг.

Варианты опыта	Высота растений, м		Число ветвей на 1 растении, шт.		Число листьев на 1 растении, шт.		Продуктивность зелёной массы 1 растения, г	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Вика посевная в чистом виде (контроль)	1,04	1,42	2,6	3,3	20,7	12,3	98,8	31,3

Вика посевная + овёс (1:1)	0,95	1,51	2,2	3,4	17,6	13,1	100	32,5
Вика посевная + овёс (2:1)	0,91	1,22	2,1	3,3	18,4	9,8	95,3	24,6
Вика посевная + овёс (1+1)	0,93	1,35	2,0	3,0	18,1	11,2	76,0	30,2

Наибольшее число листьев – 13,1 шт. на варианте вика посевная + овёс (1:1). На этом же варианте отмечена и наибольшая высота растений, которая составила 1,51 м. А также отмечена высокая продуктивность зелёной массы 1 растения, которая составила 32,5 г.

Наименьшей продуктивностью обладали растения вики посевной + овёс на варианте 2:1 (таблица 4).

Урожайность зелёной массы вики посевной с овсом в наших исследованиях в 2018 году была несколько ниже, чем в 2017 году.

В наших исследованиях урожайность зелёной массы высокая средняя (процент к стандарту составляет 96–116%) и высокая (116–135%). Наиболее высокая урожайность – 22,0 т/га получена на варианте вика посевная + овёс 1:1 (таблица 5).

Таблица 5. Урожайность зелёной массы вики посевной с овсом, т/га, 2017–2018 гг.

Варианты опыта	2017 год	2018 год	Среднее	% к контролю
Вика посевная в чистом виде (контроль)	13,0	20,6	16,8	100,0
Вика посевная + овёс (1:1)	25,0	19,0	22,0	130,9
Вика посевная + овёс (2:1)	23,5	15,5	19,5	116,0
Вика посевная + овёс (1+1)	20,0	17,5	19,2	114,2
$НСР_{0,95}$	1,2	4,6		
Sx%	2	7,7		

В 2017 году по результатам наших исследований наибольшее число бобов на 1 растении было на варианте вика посевная в чистом виде (контроль) – 14,2 шт., наименьшее число бобов на 1 растении было на варианте вика посевная + овёс (1+1) и составило 10,2 шт. Наибольшее число семян в бобе – 8,4 шт. отмечено на варианте вика посевная + овёс (1:1).

По результатам наших исследований в 2018 году, наибольшее число бобов на 1 растение составило 12,9 шт. на варианте вика посевная + овёс

(1:1), наименьшее число бобов на 1 растении составило 10,0 шт. на варианте вика посевная + овёс (1+1).

За два года исследований по числу бобов на 1 растении выделился вариант вика посевная + овёс (1:1), который составил 12,8 шт. На этом же варианте было и наибольшее число семян в бобе – 8,2 шт. (таблица 6).

Таблица 6. Элементы семенной продуктивности вики посевной с овсом в зависимости от способа посева, ср. 2017–2018 гг.

Варианты опыта	Число бобов на 1 растение, шт.	Число семян в бобе, шт.	Число семян на 1 растение, шт.	Семенная продук-тивность 1 растения, г	% к конт-ролю
Вика посевная в чистом виде (контроль)	12,4	6,8	69,4	1,7	100,0
Вика посевная + овёс (1:1)	12,8	8,2	101,5	2,1	123,5
Вика посевная + овёс (2:1)	12,3	7,4	83,0	1,5	88,2
Вика посевная + овёс (1:1)	10,1	7,2	74,3	1,8	105,8

Ещё один элемент продуктивности – число семян в бобе – наименьший варьирующий признак. Это связано с тем, что все завязи содержат почти одинаковое количество яйцеклеток. Таким образом, число семян в бобе не вызывает таких больших колебаний продуктивности, как число бобов.

В 2017 году по числу семян в бобе выделился вариант вика посевная + овёс (1:1), на котором число семян достигло 8,1 шт., на других вариантах вики посевной с овсом число семян в бобе составило 6,9 – 7,3 шт.

Согласно международной классификации, число семян в бобе разделено на 5 групп: 1 – очень малое (менее 3), 2 – малое (3–5), 3 – среднее (6–8), 4 – большое (9–11), 5 – очень большое (более 11).

По результатам наших исследований изучаемые данные образцы входят в группу со средним число семян в бобе.

По полученным результатам наших исследований, продуктивность семян на варианте вика посевная + овёс (1:1) наиболее высокая и этот показатель на 23,5% выше, чем на контроле, и составляет 2,1 г. На варианте вика посевная + овёс (1+1) показатель продуктивности семян выше, чем на вика в чистом виде (контроль) на 5,8% и составляет 1,8 г (таблица 6).

Наиболее высокая урожайность семян вики посевной получена за годы исследований на варианте вика посевная + овёс (1:1) и составляет 1,92 т/га (таблица 7).

Таблица 7. Урожайность семян вики посевной с овсом, т/га, 2017–2018 гг.

Варианты опыта	2017 год	2018 год	Среднее	% к контролю
Вика посевная в чистом виде (контроль)	1,75	1,67	1,71	100,0
Вика посевная + овёс (1:1)	1,75	2,09	1,92	112,3
Вика посевная + овёс (2:1)	1,55	1,55	1,55	90,6
Вика посевная + овёс (1+1)	1,55	1,79	1,67	97,6
$НСР_{0,95}$	0,12	0,17		
Sx%	2	2,5		

Таким образом, по результатам исследований, растения вики посевной во всех вариантах имели позднеспелый период вегетации – 121–140 дней. Наибольшее число листьев – 12,8 шт. на варианте вика посевная + овес (1:1). На этом же варианте отмечена и наибольшая высота растений, которая составила 1,41 м.

Также в наших исследованиях продуктивность семян на варианте вика посевная + овёс (1:1) наиболее высокая, и этот показатель на 23,5% выше, чем на контроле и составляет 2,1 г.

Наиболее высокая урожайность зелёной массы – 22,0 т/га получена на варианте вика посевная + овес 1:1 при совместном способе посева. Наиболее высокая урожайность семян вики посевной получена за годы исследований на варианте вика посевная + овес 1:1 при совместном способе посева и составляет 1,92 т/га.

Литература

1. Тошкина, Е.А., Абдурахманова, К.А. Статья. Экономическая эффективность смешанных агрофитоценозов вики посевной с разными компонентами в условиях Новгородской области, 2015.
2. Подготовка и проведение весенне-полевых работ в кормопроизводстве (руководство). М.: Россельхозакадемия, 2013. 37 с.
3. Зотиков, В.И. Ресурсосберегающая технология производства вики посевной яровой. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014.

Статья рекомендована к печати доктором с.-х. наук, профессором Тошкиной Е.А.

УДК 636.034+681.3:62-52
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.07

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ: ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «SMARTBOW»

Курудимова Д.С., Миртова И.Д.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: daria.kurudimova@mail.ru, mirtovairishka69@mail.ru

DIGITALIZATION IN DAIRY BREEDING: SOFTWARE “SMARTBOW”

Kurudimova D.S., Mirtova I.D.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: daria.kurudimova@mail.ru, mirtovairishka69@mail.ru

Аннотация. На сегодняшний день в сельском хозяйстве начинает пользоваться популярностью внедрение цифровых технологий. Большинство предприятий на данный момент уже используют новшества 21 века. Одной из самых известных технологий является система «SMARTBOW», помогающая фермерам дистанционно определять местонахождение животного. В данной статье будут выявлены положительные и отрицательные стороны данной системы, в том числе мы сделаем краткое описание принципов работы, технических и технологических характеристик «SMARTBOW».
Ключевые слова: *система мониторинга, состояние здоровья, половая охота, корова, улучшение общих показателей фермы.*

Abstract. The introduction of digital technologies in agriculture is becoming popular today. Most of the businesses are already using the innovations of the 21st century. One of the most famous technologies is the “SMARTBOW” system, which helps farmers remotely locate an animal. This article will identify the positive and negative aspects of this system, including a brief description of the principles of operation, technical and technological characteristics of “SMARTBOW”.
Keywords: *monitoring system, health status, estruation, cow, improving the overall performance of the farm.*

Введение. В России на многих предприятиях до сих пор используются устаревшие методы контроля за животными. Например, один из них – это применение детектора охоты (при помощи цветной метки на корне хвоста). Несомненно, в небольшом по размеру стаде проще следить за каждым животным без каких-либо цифровых систем, и данный способ менее затратен. Однако чем больше стадо, тем труднее его контролировать [3].

Несвоевременное выявление проблем у коровы может привести к большим финансовым затратам, чего допускать нельзя. Чтобы эффективно управлять фермой с большим поголовьем, фермер может полагаться на автоматические системы мониторинга.

Современные цифровые технологии активно внедряются в агропромышленном комплексе. Сегодня подобные решения помогают осуществлять мониторинг всех процессов, связанных с выращиванием растениеводческой продукции, – от составления карт посева до контроля уборки урожая, подобные технологии отслеживания доступны и для животноводческой отрасли.

Например, австрийская компания «SMARTBOW» представила интеллектуальную ушную бирку Smartbow. Встроенный в нее гироскоп определяет характер жевательной активности животного и посредством беспроводной связи передаёт данные через антенну на локальный сервер. На основе полученных данных система определяет изменения в поведении животного и приход в охоту, а затем отправляет сообщение на смартфон или планшет специалиста. Новые инструменты для животноводства основаны на том, что изменения в поведении заболевших коров и других сельскохозяйственных животных возникают за несколько дней до того, как появляются явные клинические симптомы. Если фермер не фиксирует эти ранние признаки, он теряет ценное время, которое можно было бы потратить на лечение животного. Технологии искусственного интеллекта позволяют оценивать и анализировать поведение жвачных животных гораздо эффективнее. Отклонения можно выявить на ранних этапах, соответственно, дальнейшее упреждающее лечение становится гораздо более эффективным.

Посредством анализа статистики перемещения поголовья на длительных интервалах с помощью подобной системы можно определять состояние пастбищ и корректировать движение стада для ускорения набора массы, а также осуществлять ряд других контролирующих действий [1, 5, 6].



Рисунок 1. Ушная бирка «SMARTBOW»

Цель исследования – изучить систему мониторинга коров «SMARTBOW», которое используется на молочных фермах. Выявить ряд преимуществ и недостатков ушной бирки.

Система мониторинга коров «SMARTBOW» – это уникальная технология, отличающаяся от других систем мониторинга, представленных на рынке молочного животноводства. Четыре компонента: интеллектуальная ушная бирка, приёмник внутри помещения, сервер, расположенный на ферме, и точные предупреждения работают

бесперебойно, обеспечивая максимальные результаты работы фермы. В «SMARTBOW» используется запатентованная система искусственного интеллекта – Animal Pattern Recognition IntelLigence (APRIL), которая самообучается и адаптируется в соответствии с поведением и активностью каждой отдельной коровы.

Известно, что поведение коров в состоянии половой охоты меняется. Основные признаки – повышенная двигательная активность, беспокойство, сокращение времени лежания и жевания, снижение потребления корма и воды.

При помощи системы «SMARTBOW» контролировали изменение таких параметров, как уровень активности животного и время, в течение которого оно лежит или стоит. Эта информация позволяет производителям принимать обоснованное решение о проведении искусственного осеменения.

В исследовании, проходившем в Венском ветеринарном университете (Австрия), для оценки эффективности системы «SMARTBOW» использовали 2,7 тыс. коров голштинской породы. Они находились в 250 коровниках со стойлами открытого типа.

Определяли следующие параметры:

• фактический эструс (ФЭ) – эструс с интервалом 18–25 дней, после которого искусственное осеменение не проводили или проводили, но безуспешно;

• золотой стандарт (ЗС) – любой эструс, который привёл к беременности после искусственного осеменения.

Для оценки точности оповещений использовали программу управления молочным стадом Dairy Comp 305. Данные исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оповещение о репродуктивном статусе коров, %

Устройство	Чувствительность	Прогностическая ценность положительного результата
SMARTBOW® (ЗС)	96,8	–
SMARTBOW® (ФЭ)	96,6	97,7

В ходе эксперимента установлено, что ушные бирки «SMARTBOW» превосходили ошейниковые акселерометры и педометры по своим функциональным характеристикам и показали себя надёжным инструментом для выявления эструса у молочных коров.

С целью оценки эффективности и точности системы «SMARTBOW» были проведены два отдельных исследования. Первое проходило в Университете Кентукки. В опыте задействовали 48 лактирующих коров голштинской породы (24 первотелки и 24 коровы) с ушными бирками «SMARTBOW». Сравнивали количество минут, затраченных на жевание за один час.

Данные получали с помощью системы «SMARTBOW» и при визуальных наблюдениях за один и тот же промежуток времени. Мониторинг жевательной активности вели 42 обученных наблюдателя. Продолжительность эксперимента – четыре часа.

Второе исследование проходило в Венском ветеринарном университете. Эксперимент состоял из двух частей. В ходе опыта оценивали точность алгоритма мониторинга жевательной активности при помощи системы «SMARTBOW».

Из всех животных, содержавшихся в коровнике со стойлами открытого типа, отобрали десять здоровых молочных коров симментальской породы второй лактации (73-й день лактации ± 27 дней). Дважды в день животные получали два общих смешанных рациона с разным набором грубых кормов. Для кормления применяли индивидуальные автоматические кормушки. Все коровы имели ушные бирки «SMARTBOW».

Поведение подопытных регистрировали с помощью пяти видеокамер, расположенных по периметру загона. Наблюдение вели в течение 40 часов. В первой части исследования начальные данные использовали для разработки алгоритма мониторинга жевательной активности, во второй части исследования (через два месяца) проверяли его функционирование [1].

В процессе разработки системы «SMARTBOW» простое управление всегда стояло в основе. «Я думал, смогут ли мои сотрудники разобраться в работе системы, поскольку они не имеют особых навыков при работе с компьютером, но они, наоборот, очень довольны, таким простым должно быть управление программным обеспечением», – говорит Отто Хадваль, фермер из Люнгбухольм (Швеция), который с ноября 2013 года работает с системой [7].

Установленные в коровнике приёмники получают сигналы от ушных бирок. Затем информация передаётся на сервер молочной фермы.

Данные каждой коровы анализируются в уникальной запатентованной системе искусственного интеллекта «SMARTBOW» – Animal Pattern Recognition IntelLigence (APRIL).

Предупреждения создаются в режиме реального времени в случае обнаружения изменений в руминации и физической активности животного. Предупреждения об охоте и изменении в жевательной активности животного отправляются на смартфоны, планшеты и компьютеры, а на цифровой карте коровника отображается текущее местоположение каждой коровы.

Характеристики системы «SMARTBOW»:

• сама бирка сделана из высококачественного материала из стекловолокна, устойчивого к царапинам и ударам;

• срок службы батарейки достигает двух лет, а потом ее можно будет легко заменить. Следовательно, бирку можно будет использовать не один раз;

• ещё одним плюсом является то, что она довольно лёгкая, вес составляет всего лишь 34 грамма;

• бирки компактные и термостойкие;

• поддерживается несколько вариантов установки в соответствии с конкретными потребностями, включая регулируемый настенный держатель, I-образный держатель, зажим для труб или угловой кронштейн;

• данные передаются и немедленно обрабатываются. При необходимости создаются предупреждения в режиме реального времени;

• программное обеспечение автоматически обновляется на сервере, поэтому ушные бирки никогда не устаревают;

• программное обеспечение можно интегрировать в программу управления стадом, используемую на ферме: DairyComp, UNIFORM-Agri, HERDEplus;

• обеспечение связи с вашей молочной фермой из любого места;

• отправка данных неограниченному количеству пользователей;

• ещё одна особенность ушных бирок: они используются для маркирования каждой особи в стаде. Немалое поголовье нуждается в нумерации, поэтому покупка бирок значительно облегчает задание;

• поддержка 24/7, обучение внедрению и оптимизации «SMARTBOW» для ваших конкретных потребностей [2, 4].

Однако в случае пожара из ушной бирки, при определённых условиях, выделяются ядовитые вещества (газы, жидкости и т.п.), которые могут причинить ущерб здоровью. Поэтому в случае пожара необходимо принимать соответствующие меры защиты, как, например, фильтрующие защитные маски для органов дыхания и защитную одежду.

Наладку, замену частей, техническое обслуживание и ремонт разрешается производить только официальным специалистам по электротехнике фирмы Smartbow GmbH. Если какие-либо детали нужно заменить, то разрешено использовать только оригинальные запасные части. После каждой замены необходимо провести проверку безопасности (визуальный контроль, проверку функций). Таким образом обеспечивается безопасность ушной бирки «SMARTBOW».

Ушная бирка «SMARTBOW» содержит батарейку, которую нельзя утилизировать вместе с несортированными твёрдыми бытовыми отходами, но которую необходимо собирать как отдельный вид отходов. Утилизацию позволяется производить только в предназначенных для этого сборных пунктах или через фирму Smartbow GmbH [8].

Вывод. С развитием цифрового животноводства и внедрением современных технологий в АПК появляются решения, которые позволяют контролировать конверсию кормов и передвижение животных, точно определять их репродуктивную способность, развитие и продуктивность,

выявлять заболевания, обеспечивать ветеринарный контроль коров, рационов, сырья и продукции.

Система «SMARTBOW» – инновация с большим количеством плюсов, она настолько легка в использовании, что работники, не имеющие особых навыков при работе с компьютером, с лёгкостью справляются со своими обязанностями и остаются очень довольны. Но помимо плюсов, данная ушная бирка имеет и ряд минусов, сотрудники обязаны тщательно следить за качеством работы «SMARTBOW», ведь если упустить из виду какие-либо неполадки, можно причинить вред как скоту, так и всему предприятию. На первом месте, в каждом животноводческом предприятии, стоит здоровье коров, оно является ключевым фактором прибыльности стада молочной фермы. Чтобы давать молоко высокого качества и поддерживать высокие показатели воспроизводства, коровы должны быть в отличном состоянии здоровья. Таким образом, система мониторинга коров «SMARTBOW» является уникальной технологией, отличающейся от других систем, представленных на рынке молочного животноводства, позволяющая эффективно управлять фермой с большим поголовьем, при этом адаптируется в соответствии с поведением и активностью каждой отдельной коровы.

Литература

1. SMARTBOW® – система точного мониторинга коров // Животноводство России. Апрель 2019. С. 48–50.
2. За счёт чего SMARTBOW® работает так эффективно [Электронный ресурс]. URL: https://www.smartbow.com/ru/how-it-works.aspx (дата обращения: 18.02.2020).
3. Сравнительный анализ и подбор систем мониторинга здоровья КРС / В.В. Кирсанов, Ф.Е. Владимиров, Д.Ю. Павкин, С.С. Рузин, С.С. Юрочка // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 1 (33). С. 27–28.
4. Передовая система менеджмента дойных коров в стаде [Электронный ресурс]. URL: https://www.smartbow.com/ru/home.aspx, свободный (дата обращения: 19.02.2020).
5. Полянцев, Н.И. Ветеринарное акушерство, гинекология и биотехника размножения животных: учебник. СПб.: Лань, 2015. 480 с.
6. Полянцев, Н.И. Технология воспроизводства племенного скота. СПб.: Лань, 2014. 288 с.
7. Ушная бирка «SMARTBOW» [Электронный ресурс]. URL: http://www.agrofarm.org/russkii/luchshie-na-agrofarm/luchshie-na-agrofarm-2017/ushnaja-birka-smartbow.html (дата обращения: 19.02.2020).
8. Smartbow GmbH Руководство по эксплуатации E093 SMARTBOW Eartag. Ушная бирка «SMARTBOW» E093. 2014. С. 13, 15.

Статья рекомендована к печати
канд. с.-х. наук, доцентом Семкив М.В.

УДК 630*2(470.24)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.08

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ В БОРОВИЧСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ

Наседкина Е.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: nasedkina.ekaterina2017@yandex.ru

INFLUENCE OF NATURAL CONDITIONS ON DIAMETER GROWTH IN BOROVICHI FOREST AREA

Nasedkina E.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: nasedkina.ekaterina2017@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме влияния природных условий на прирост по диаметру ствола сосны в Боровичском лесничестве на примере черничника, брусничника и долгомошника. Сделаны выводы о влиянии на рост и развитие сосны не только возраста и типа условий местопроизрастания, но и метеоусловия, а именно увлажнения отдельных периодов и суммы активных температур за вегетацию.
Ключевые слова: *сосняк, толщина годичного кольца, возраст, метеопараметры.*

Abstract. The Article is devoted to the actual problem of the influence of natural conditions on the growth of pine trunk diameter in the Borovichi forest area on the example of blueberry forest, cranberry forest and swamp forest. Conclusions are made about the influence on the growth and development of pine trees not only the age and type of growing conditions, but also the weather conditions, namely, the moisture content of individual periods and the amount of active temperatures during vegetation.
Keywords: *pine forest, annual ring thickness, age, meteorological parameters.*

Леса – важнейший компонент биосферы. Они поддерживают ее устойчивость и обеспечивают саморегуляцию круговорота веществ, выполняют водоохранные, гидроклиматические, почвозащитные и оздоровительные функции, служат местообитанием множества видов животных. Лес не утратил своего значения и как источник древесины и других важных продуктов, необходимых для жизни человека. Для накопления запаса древесины очень важную роль играет увеличение размера дерева, т.е. его рост. На его формирование оказывают влияние большое количество факторов, одним из которых являются почвенные условия, поскольку основным свойством почвы является плодородие – способность удовлетворять потребность растений в элементах питания,

воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха, тепла для нормальной деятельности и создания продуктивности.

Характерная особенность леса заключается в том, что образующие его компоненты связаны между собой и с окружающей средой. Так, солнечную энергию – главный источник в растительных сообществах – в лесу поглощают в основном кроны деревьев в процессе фотосинтеза и тем самым накапливают органическое вещество. Основная масса солнечной энергии отражается от поверхности крон и от почвы на прогалинах и уходит в атмосферу, незначительная часть расходуется на транспирацию. Леса как экологические системы интересны и важны во многих отношениях. Во-первых, это одни из немногих экосистем суши, сохранившиеся в естественном или слабо изменённом человеком состоянии; во-вторых, это самые крупные экосистемы на Земле, которые характеризуются высокой продуктивностью и в которых аккумулируется большая часть органического вещества планеты в виде древесины, детрита, гумуса, используемого затем человечеством как для собственного потребления, так и для восстановления исчезающих в процессе его хозяйственной деятельности компонентов биосферы.

Рациональная эксплуатация лесов вследствие правильного ведения лесного хозяйства и своевременного восстановления их на базе научных достижений делает лесные ресурсы неистощимыми.

Лес находится в тесном взаимодействии с природными компонентами. Зональное распределение леса по поверхности земли свидетельствует о зависимости лесной растительности от климата. Выявить связи между колебаниями климата и изменчивостью радиального прироста различных древесных пород позволяют дендроклиматические исследования [1].

На изменение толщины годичного кольца влияют индивидуальные биологические особенности дерева, положения в древостое, экологические факторы, а также условия местопроизрастания, но наибольшее влияние оказывают метеорологические параметры [2].

Именно зависимость толщины годичного кольца от возраста и метеопараметров в различные возрастные периоды на территории Боровичского лесничества Новгородской области и будет рассмотрено в данной статье.

Боровичское лесничество расположено в северо-восточной части Новгородской области на территории Боровичского административного района в 176 км от Великого Новгорода.

Общая площадь лесничества составляет 211 703 га. В административно-хозяйственном отношении территория лесничества разделена на восемь участковых лесничеств.

Территория Боровичского лесничества относится к таёжной зоне, южнотаёжному лесному району европейской части Российской Федерации.

Климат района расположения лесничества умеренно континентальный, с умеренно тёплым летом, умеренно холодной зимой и неустойчивым режимом погоды.

Средняя температура июля, самого теплого месяца, 17,4 °С. Безморозный период продолжается 125 дней, с середины мая до второй половины сентября. Период активной вегетации растений более 4-х месяцев.

Кроме указанных выше климатических факторов, большое значение на рост и развитие древесной растительности имеет количество выпадающих осадков. В среднем за год выпадает 553 мм осадков, в тёплый период это составляет 70% от общей суммы.

Для большей части территории Боровичского лесничества характерным является тип растительности, представленный ельниками, сосняками и березняками. Осинники и ольшанники представлены в меньшей степени.

В лесном фонде лесничества преобладают насаждения кисличной и черничной групп типов леса.

Климат леса непосредственно зависит от зонально климатических условий, характера почвы, рельефа и погодных условий.

Для определения таксационных параметров были отобраны типичные участки, по результатам изучения планшетов и таксационных описаний.

В данных природно-климатических условиях было заложено 6 пробных площадей путём реласкопических площадок. Пробы заложены в столетних сосняках, в 3 различных типах условий местопроизрастания: сосняке-черничнике, сосняке-брусничнике и сосняке-долгомошнике.

В квартале 19 выделе 22 с типом условий местопроизрастания сосняк-черничник, произрастающие насаждения имеют следующий породный состав 10С. На данном участке было заложено 2 пробные площадки, на каждой из которых проведён сплошной перечёт.

На пробной площадке № 1 произрастает 150 деревьев сосны со средней высотой ствола 13 м и средним диаметром ствола 16 см.

На пробной площадке № 2 произрастает 230 деревьев сосны со средней высотой ствола 13 м и средним диаметром ствола 12 см.

В квартале 9 выделе 29 с типом условий местопроизрастания сосняк-долгомошник насаждения имеют следующий породный состав 9С1Б. На этом участке также было заложено 2 пробные площадки, на каждой из которых был проведён сплошной перечёт.

На пробной площадке № 1 произрастает 85 деревьев сосны со средней высотой ствола 23 м и средним диаметром 32 см.

На пробной площадке № 2 произрастает 103 дерева сосны со средней высотой ствола 22 м и средним диаметром ствола 28 см.

В квартале 14 выделе 21 с типом условий местопроизрастания сосняк-брусничник имеет форму состава насаждения 10С. Здесь нами также были заложены 2 пробные площадки.

На пробной площадке № 1 произрастает 186 деревьев сосны со средней высотой ствола 12 м и средним диаметром 16 см.

На пробной площадке № 2 произрастает 104 дерева сосны со средней высотой ствола 12 м и средним диаметром ствола 16 см.

Для получения более точных данных все учётные деревья были разделены на классы возраста. На пробных площадках оказались деревья с 3 по 6 класс возраста.

Далее были проведены исследования зависимости годичного прироста по диаметру (ТГК) сосны от возраста.

Статистическая обработка результатов исследований по типам условий местопроизрастания и классам возраста позволила получить зависимости между толщиной годичного кольца и возрастом древостоя.

Результаты исследований показали, что в сосняке-долгомошнике сильная зависимость от возраста (рисунок 1).

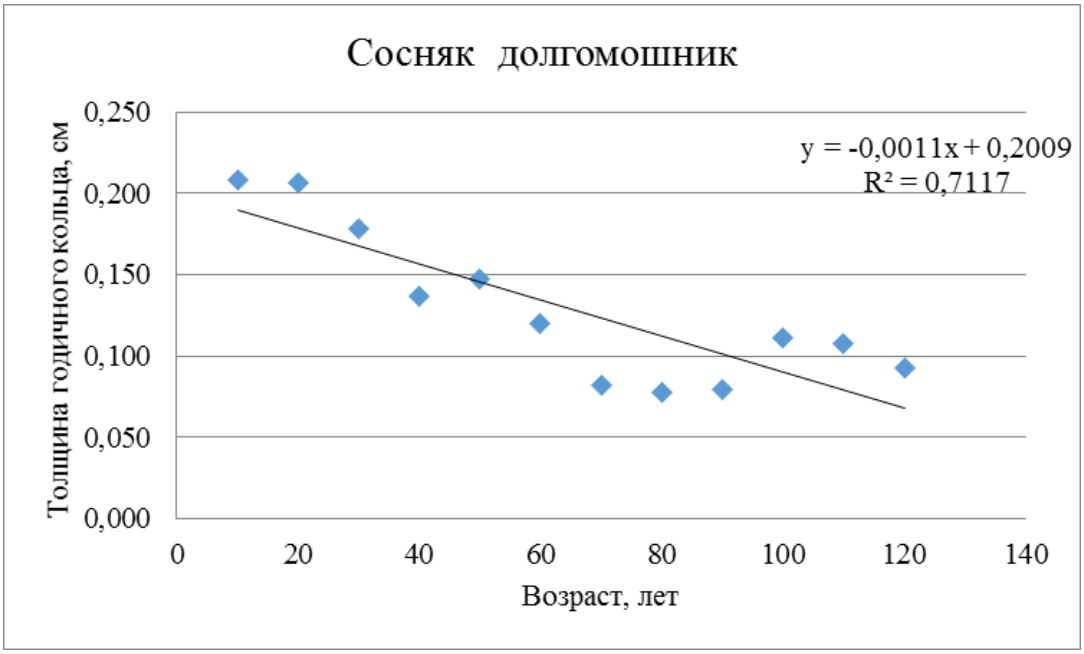


Рисунок 1. Зависимость толщины годичного кольца от возраста в сосняке-долгомошнике

На графике линейной зависимости видно, что максимальная толщина годичного кольца в начале роста дерева максимальная и равна 2 мм, с возрастом радиальный прирост уменьшается на 0,11 мм в год и в столетнем возрасте уменьшится в два раза, его величина будет менее 1 мм.

Сильная зависимость наблюдается и в сосняке-черничнике (рисунок 2).

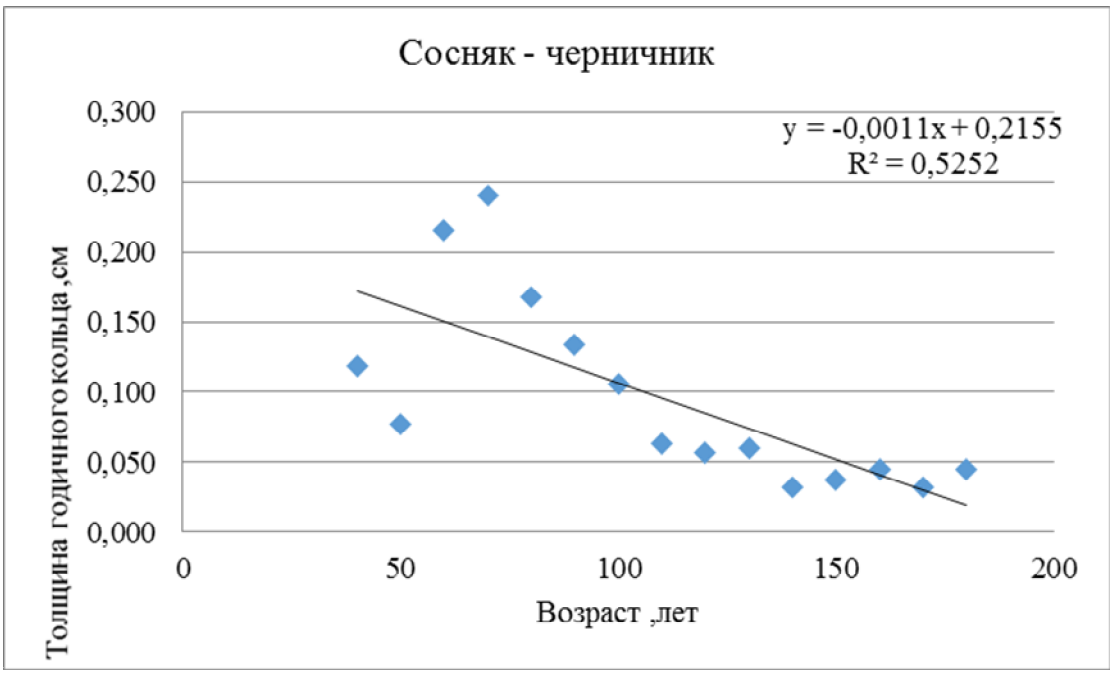


Рисунок 2. Зависимость величины годичного кольца в сосняке-черничнике

Вид зависимости незначительно отличается от сосняка-долгомошника, но теснота связи толщины годичного кольца с возрастом менее тесная, что позволяет сделать предположение о более сильном влиянии внешних факторов на годовой радиальный прирост.

А в сосняке-брусничнике зависимость годичного прироста по диаметру от возраста слабая.

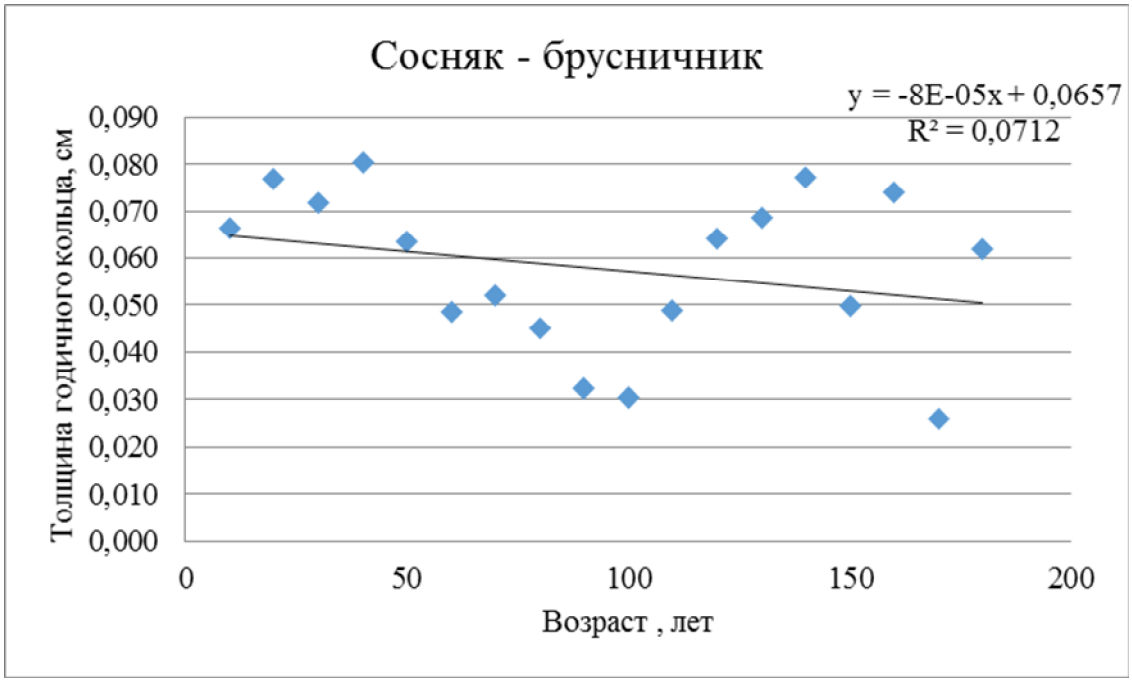


Рисунок 3. Зависимость величины годичного кольца от возраста
в сосняке-брусничнике

На графике зависимости показано, что с увеличением возраста толщина годичного кольца снижается. Максимальное значение радиального прироста наблюдается в первый год жизни дерева и равно 0,65 мм. Через 50 лет толщина годичного кольца снизилась на 0,05 мм.

Затем были проведены дендроклиматические исследования для определения зависимости годичного прироста сосны от метеорологических показателей.

Для выявления влияния метеорологических условий на рост и развитие леса были определены зависимости между толщиной годичного кольца и среднегодовой температурой, суммой осадков, осадками июня, осадками августа, суммой температур выше 10 градусов, суммой положительных температур и гидротермическим коэффициентом.

Так как проведённые ранее исследования показали, что толщина годичного кольца дерева зависит от возраста, то для исключения влияния возраста была проведена статистическая обработка данных по десятилетиям.

Получили, что зависимость толщины годичного кольца сосны от количества осадков за июнь выражается уравнением полиноминальной функции (рисунок 4).

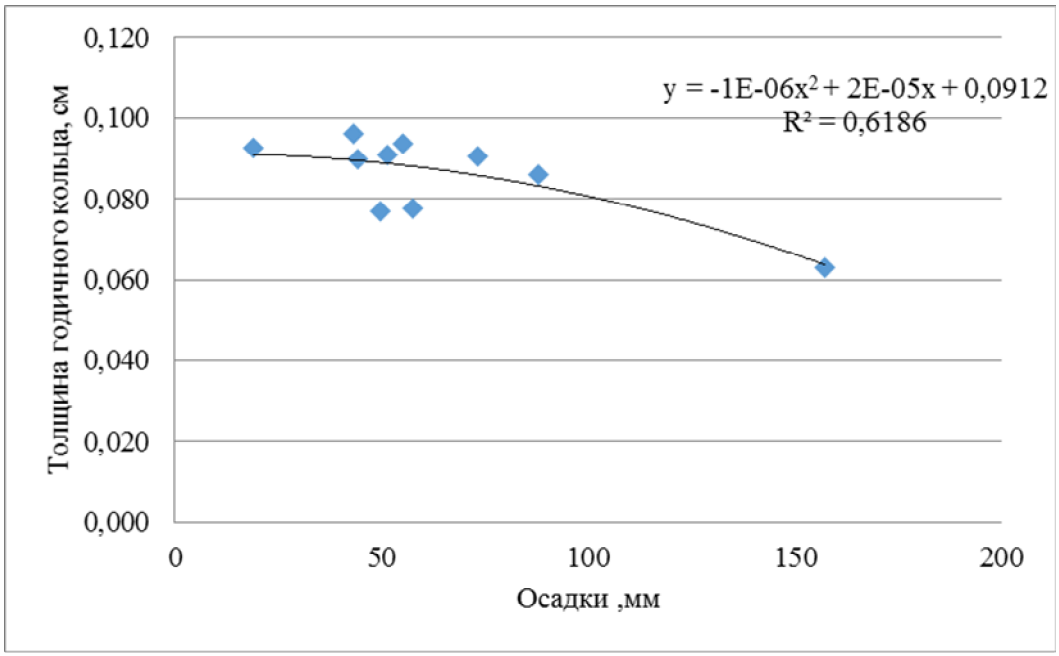


Рисунок 4. Влияние суммы осадков июня на толщину годичного кольца в сосняке-брусничнике

На графике видно, что за период исследования сумма осадков июня изменялась от 19 до 157 мм при варьировании толщины годичного кольца от 0,10 до 0,06 см. Максимальное значение толщины годичного кольца наблюдается при сумме осадков за месяц от 10 до 30 мм. С увеличением осадков до 100 мм толщина годичного кольца снижается на 0,15 см.

На рисунке 4 также показана зависимость между радиальным приростом и осадками августа.

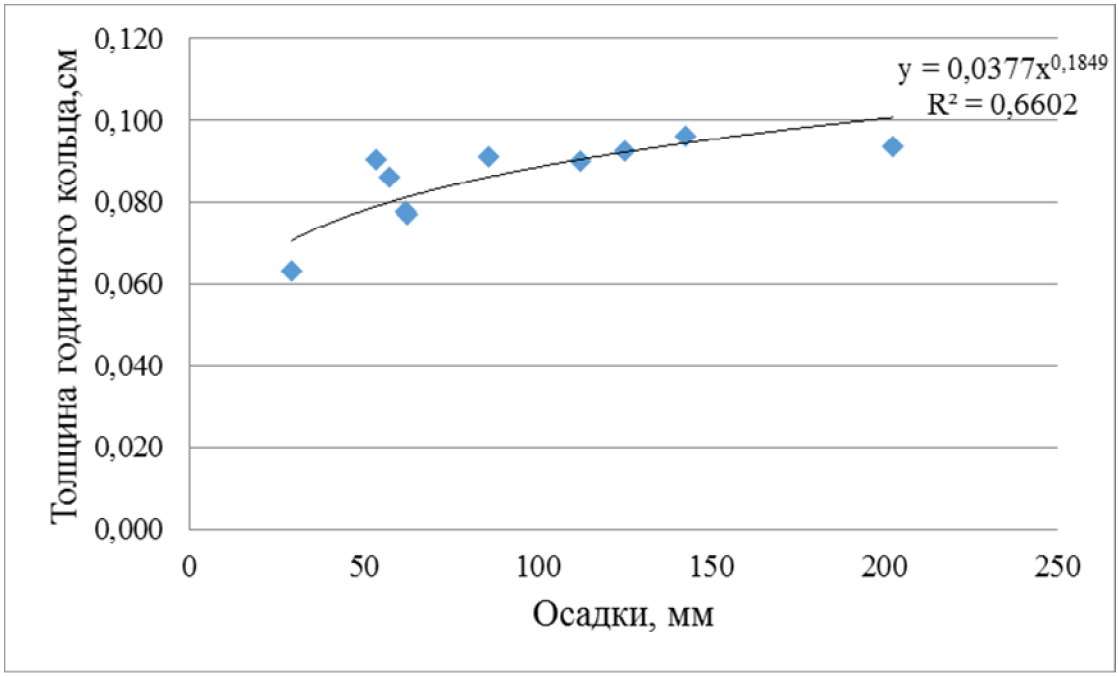


Рисунок 4. Влияние суммы осадков августа на толщину годичного кольца в сосняке-брусничнике

Эта зависимость выражается уравнением степенной функции. За период исследования сумма осадков в августе менялась от 29 до 202 мм, а толщина годичного кольца – от 0,063 до 0,096 см. Количество осадков за август положительно повлияли на годовой радиальный прирост сосны. Толщина годичного кольца с ростом количества осадков увеличивается. Это связано с формированием и активным ростом поздней древесины именно в этот период. Минимальное значение толщины годичного кольца равно 0,7 мм при количестве осадков за август 25 мм. С увеличением количества осадков на 100 мм. Толщина годичного кольца увеличивается на 0,2 мм.

Влияния суммы активных температур (превышающих 10 °С) на толщину годичного кольца в сосняке-черничнике описывается параболической зависимостью (рисунок 5).

На графике видно, что сумма температур изменялась от 1496 до 2491 °С, а толщина годичного кольца варьировала от 0,099 до 0,118 см. Толщина годичного кольца достигает максимального значения (0,116 мм) при сумме температур 2000 °С. При отклонении от данного значения суммы температур в ту или иную сторону толщина годичного кольца снижается.

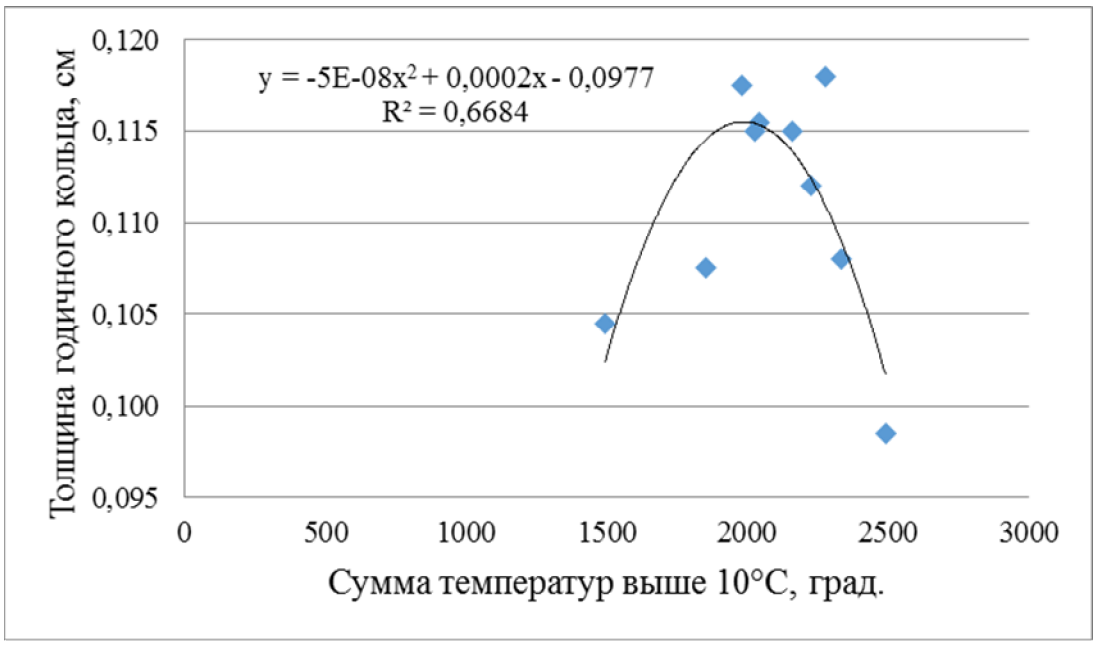


Рисунок 5. График зависимости суммы активных температур
на толщину годичного кольца в сосняке-черничнике

График влияния суммы активных температур на толщину годичного кольца в сосняке-брусничнике выражается уравнением логарифмической функции (рисунок 6).

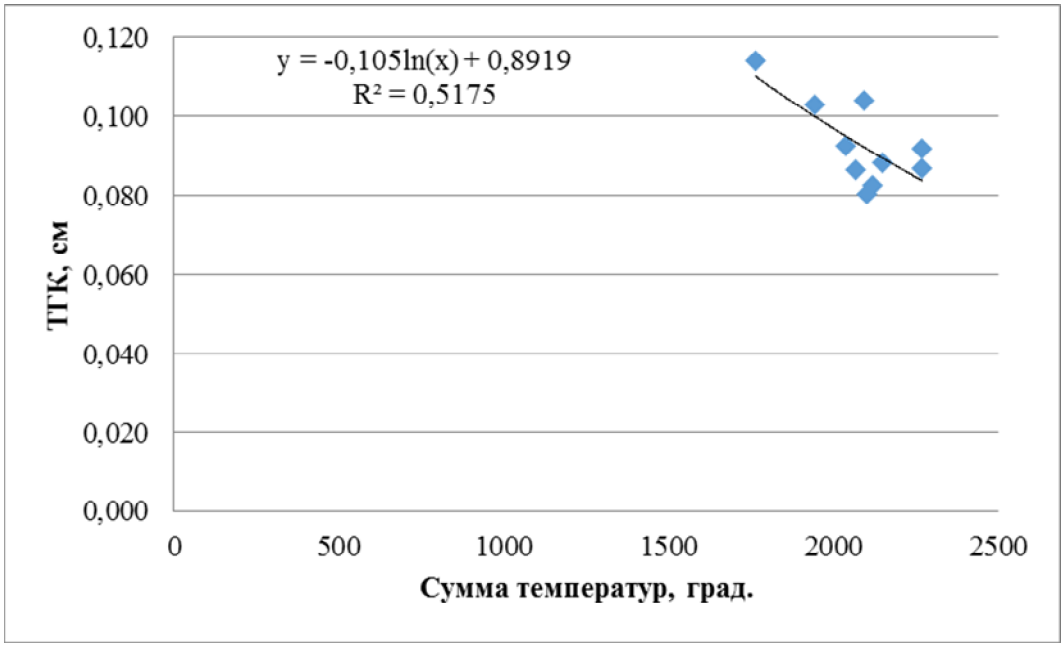


Рисунок 6. Влияние суммы температур выше 10 °С на толщину годичного кольца
в сосняке-брусничнике

У данной группы деревьев толщина годичного кольца изменяется от 0,081 до 0,114 мм при изменении суммы активных температур от 1766 до

2271 градусов. Максимальное значение толщины годичного кольца, равное 1,1 мм, наблюдается при сумме температур 1750 °С. При повышении суммы температур на 100 °С толщина годичного кольца уменьшается на 0,2 мм.

Вывод. В результате исследований установлено, что с увеличением возраста сосны происходит плавное уменьшение толщины годичного кольца. При анализе пробных площадей, расположенных в различных типах условий местопроизрастания, установлено, что в сосняке-долгомошнике и сосняке-черничнике интенсивность снижения толщины годичного кольца примерно одинаковое и равно 0,011 мм/год. В сосняке-брусничнике интенсивность снижения толщины годичного кольца в два раза ниже.

На рост и развитие сосны оказывает влияние не только возраст и тип условий местопроизрастания, но и метеопараметры. Наибольшее влияние на прирост годичного кольца во всех классах возраста оказывают условия увлажнения отдельных периодов и сумма активных температур за вегетацию.

Литература

1. Балун, О.В. Влияние метеопараметров на радиальный прирост древостоя в Новгородской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 14, № 1 (8): Самарский научный центр РАН. Самара. 2012. С. 1950–1953.
2. Балун, О.В. Влияние метеорологических факторов на радиальный прирости ели в кисличном типе // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т.15, № 3 (3): Самарский научный центр РАН. Самара. 2013. С. 1035–1038.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, доцентом Балун О.В.

УДК 630*2(470.24)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.09

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ В ШИМСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ

Пестовская Е.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: Igor.Smirnov@novsu.ru

ECO-FORESTRY ASSESSMENT OF BROAD-LEAVED FORESTS IN THE SHIMSKY FORESTRY

Pestovskaya E.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: Igor.Smirnov@novsu.ru

Аннотация. Представлены сведения о распространении и состоянии широколиственных лесов на территории Шимского лесничества Новгородской области. На основании данных пяти пробных площадей оценено состояние и представлено распределение учтённых деревьев по видам повреждений. Предложены рекомендации по повышению эффективности возобновления и сохранению широколиственных лесов.
Ключевые слова: *широколиственные леса, состояние лесов, повреждение деревьев, древесный подрост.*

Abstract. Data on the distribution and condition of broad-leaved forests in the territory of the Shimsky forestry of the Novgorod region are presented. Based on the data from five tested areas, the condition and distribution of registered trees by type of damage was assessed. The recommendation for improving the effectiveness of tree-renewal are given.
Keywords: *broad-leaved forests, forest condition, tree damage, tree-renewal.*

Широколиственные леса – это лиственные леса, образованные листопадными деревьями с широкими листовыми пластинами. К ним относятся такие породы, как: дуб, вяз, бук, ясень, клён, ильм, липа. В России широколиственные леса занимают территорию, протяжённостью от Уральских гор до западных рубежей страны [1]. Дуб черешчатый (Quercus robur L.) является видом-ценозообразователем, прочие древесно-кустарниковые породы широколиственных лесов считаются сопутствующими (виды-спутники).

Широколиственные леса являются сложным генетико-эволюционным комплексом, характеризующимся своеобразным набором видов и межвидовых отношений. Исходя из этого, изучение особенностей распространения широколиственных лесов, их состояния, состава и структуры в современных условиях приобретают особую актуальность, не

только в чисто теоретическом, но и в прикладном плане. Участки широколиственных лесов в Новгородской области нередко выделяются в качестве особо охраняемых природных территорий, проводятся разнообразные научные исследования, раскрывающие современные и исторические аспекты формирования высокого биологического разнообразия широколиственных лесов.

Палеоботаники полагают, что в период тёплого и влажного климата микулинского межледниковья широколиственные древесные породы и образуемые ими леса занимали 70–80% лесной площади области. Их граница проходила примерно на 450 км севернее современной [2].

В настоящее время в Новгородской области широколиственные леса являются редкими, их доля составляет менее 1% лесной площади региона и, в основном, это дубравы на территории Приильменской низменности и на склоне Валдайской возвышенности. Основные факторы, влияющие на распространение широколиственных лесов, – это особенности рельефа, почвенно-климатические условия и деятельность человека.

Шимское лесничество расположено на территории трёх административных районов: Шимском, Солецком и Батецком. Общая площадь лесничества составляет 315 676 га. Климат Шимского лесничества является одним из наиболее тёплых в Новгородской области. Рельеф лесничества большей частью равнинный и сформирован на ледниковых моренах, что обуславливает разнообразие почвообразующих пород, в том числе часто встречаются карбонаты. На карбонатных почвах в лесничестве произрастают редкие для Новгородской области насаждения с участием вяза и ясеня. В задачи нашей работы входило обследовать такие участки и провести оценку состояния насаждений этих широколиственных пород.

Оценка состояния деревьев проводилась по шкале В.А. Алексеева (1989) [3]. Живые деревья широколиственных пород распределялись по категориям: 1 – здоровые (без признаков ослаблений), 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – отмирающие.

На территории Солецкого участкового лесничества было заложено 5 пробных площадей по 0,25 га каждая. Далее приводим характеристику древостоя, подроста, подлеска и живого напочвенного покрова на пробных площадях.

Согласно данным таблицы 1, можно заметить, что на всех площадях вяз является преобладающей древесной породой. На пробных площадях № 3–5 в древостое также участвует ясень. Средние показатели диаметра, высоты и относительной полноты, а также запаса на площадях № 3–5 выше, чем на площадях № 1–2.

Таблица 1. Таксационные показатели древостоев опытных объектов

№ п/п	Квартал, выдел	Формула состава древостоя	Средний диаметр, см	Средняя высота, см	Относит. полнота	Тип леса	Запас, $м^3$/га
1	Кв. 120 выд. 1	4В3ОЛС2Е1Б +ОС+КЛ	17	16	0,6	КС	115
2	Кв. 120 выд. 1	4В3ОЛС2Е1 ОС+Б	20	17	0,6	КС	120
3	Кв. 111 выд. 4	5В1Я1Л1ОС1 ОЛС1Б	24	18	0,7	КС	145
4	Кв. 111 выд. 4	4В2Я2ОС1Л1 ОЛС+Б	22	17	0,7	КС	136
5	Кв. 111 выд. 9	3В2Я2ОЛ1Л 1ОС1Е+Б	24	20	0,7	КС	150

Примечание. П/П – пробные площади, КС – кисличный тип леса.

Там, где в материнском пологе есть ясень, отмечен и его обильный подрост (до 4,3 тыс. шт./га). А вот подрост вяза встречается в меньших количествах, до 600 шт./га (таблица 2).

Таблица 2. Породный состав и численность подроста на пробных площадях

Древесная порода	Количество подроста, тыс. шт./га				
	п/п № 1	п/п № 2	п/п № 3	п/п № 4	п/п № 5
Вяз гладкий	0,3	0,6	–	–	0,3
Ясень обыкновенный	–	–	4,3	2,0	3,7
Липа мелколистная	–	–	0,3	1,7	1,0
Ель обыкновенная	2,7	0,5	0,7	0,7	–
Клён остролистный	1,3	2,0	–	–	–

Подлесок на пробных площадях густой и по видовому составу разнообразный (таблица 3).

Таблица 3. Состав и численность подлеска на пробных площадях

Вид	Среднее количество подлеска, тыс. шт./га				
	п/п № 1	п/п № 2	п/п № 3	п/п № 4	п/п № 5
Рябина обыкновенная	4,7	3,3	1,0	2,0	2,7
Крушина ломкая	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7
Жимолость лесная	0,3	0,3	–	–	–
Лещина обыкновенная	–	0,3	–	0,3	1,0
Черемуха обыкновенная	–	1,7	1,3	1,3	2,0
Малина обыкновенная	1,3	0,3	–	–	–

Несмотря на высокую густоту подлеска, на всех пробных площадях хорошо развит живой напочвенный покров (таблица 4). Наиболее часто встречаются сныть, осоки, недотрога, щитовник и кислица.

Таблица 4. Характеристика живого напочвенного покрова на пробных площадях

Вид	Средний % проективного покрытия				
	п/п № 1	п/п № 2	п/п № 3	п/п № 4	п/п № 5
Гравилат речной	+	1	+	1	
Сныть обыкновенная	6	8	7	6	5
Звездчатка жестколистная	2	2	2	2	1
Крапива двудомная	3	+	2	2	
Лютик кашубский		+	2	2	2
Зеленчук желтый	1	+			
Хвощ лесной	1	2	5	3	5
Осока sp.	4	9	15	15	12
Майник двулистный	1			2	3
Кислица обыкновенная	3	3	3	7	6
Вороний глаз	+	+	+	+	+
Недотрога обыкновенная	8	9	7	8	5
Медуница неясная		2		1	
Чина весенняя		+			
Печеночница благородная	1	2	1	1	2
Ландыш майский	1	+	+	0	1
Копытень европейский	4	3	2	4	5
Ветреница дубравная	+	+	2	2	2
Фиалка ривиниуса	1				
Костяника каменистая	1	+	+	1	
Майник двулистный		1	1		
Колокольчик крапиволистный	+	+			
Седмичник европейский	1	1	+	+	2
Таволга вязолистная					3
Щитовник мужской	8	5	3	8	4
Орляк обыкновенный		+	+		
Моховой покров					
Мниум sp.	23	21	15	10	17
Гилокомиум блестящий	1		1	1	1
Плевроциум Шребера	2	1	2	1	2

Примечание. «+» – проективное покрытие менее 1%.

Далее переходим к характеристике состояния древостоев (рисунок 1). Из представленных 4 широколиственных пород наилучшее состояние отмечено у клёна, все обследованные деревья без признаков ослабления. По-видимому, это связано с молодым возрастом деревьев. У

остальных пород – ясеня, вяза, липы от 26 до 38% деревьев относятся к категории «ослабленные» и 3–4% к категории «сильно ослабленные». На рисунке 2 представлено распределение деревьев этих категорий по видам повреждений. Основными причинами, ухудшающими состояние деревьев широколиственных пород, по нашим наблюдениям, являлись морозобойные трещины и дупла. Наличие морозобойных трещин мы связываем с экстремальными перепадами температуры в весенне-осенний период и высокой влажностью древесины стволов в это время. Некоторые деревья вяза и липы в обследованных насаждениях, по-видимому, имеют более высокий возраст, с чем и связано наличие дупл.

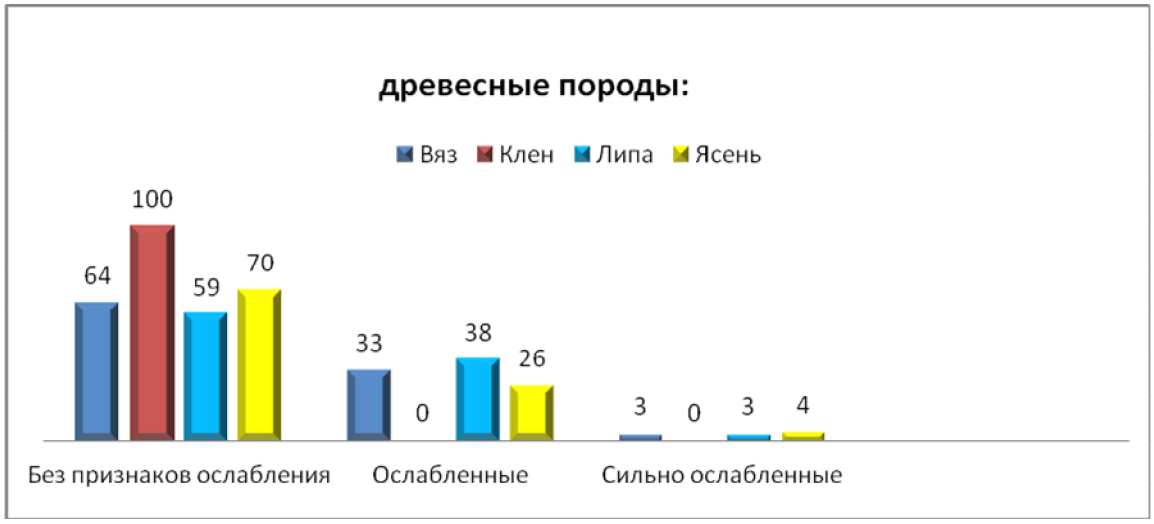


Рисунок 1. Распределение деревьев по категориям состояния, %

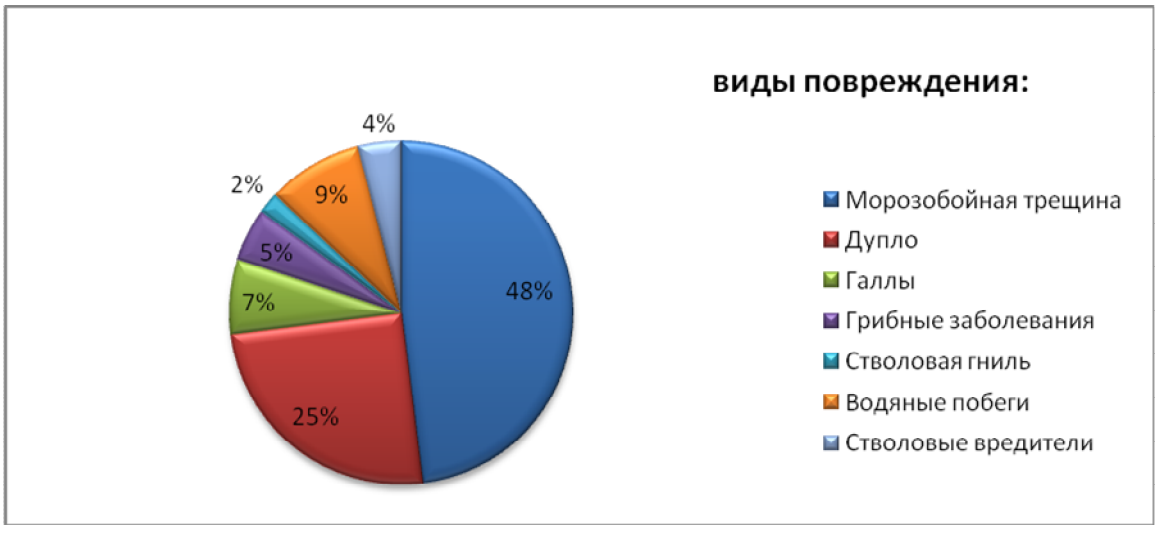


Рисунок 2. Распределение деревьев по видам повреждения, %

Подводя итог оценке состояния обследованных участков широколиственных лесов, нами было сделано заключение, что насаждения на пробных площадях № 3, № 4 и № 5 представляются биологически более

устойчивыми, чем на площадях № 1 и № 2. Это мы объясняем более высоким разнообразием широколиственных пород в составе древостоя, в целом, высоким уровнем биоразнообразия и хорошим естественным возобновлением.

Концепция биологического разнообразия в настоящее время является центральной основой научного управления экосистемами. На конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 году была принята «Конвенция о биологическом разнообразии» в связи с возрастающей потребностью в биологических ресурсах, их охраной и воспроизводством. Положения конвенции легли в основу лесной стратегии многих стран. В России разработана программа «Биологическое разнообразие лесов» и намечены пути ее выполнения [4]. Сохранение и воссоздание широколиственных лесов в Новгородской области вполне соответствует концепции сохранения лесного биологического разнообразия.

Проанализировав состояние обследованных участков широколиственных лесов в Шимском лесничестве, мы предлагаем ряд мероприятий по повышению эффективности возобновления широколиственных пород.

Естественное возобновление широколиственных лесов как сложившихся биологических комплексов в пределах их исконных местообитаний может быть затруднено. Возобновление вяза гладкого нередко происходит в недостаточном количестве. В местах, где возобновление широколиственных пород неудовлетворительное или отсутствует, целесообразно проводить мероприятия содействия возобновлению. Содействие возобновлению проводят, в основном, в пойменных и припойменных участках с широколиственными породами в составе древостоев от 1 до 4 единиц, в местах, где отсутствует или недостаточно подроста и молодняка широколиственных пород. Содействие естественному возобновлению проводится путём минерализации поверхности почвы с использованием орудия ОРМ-1,5 в кисличных типах леса. В более увлажнённых местах, в травяно-таволговых типах леса, рекомендуется проводить минерализацию поверхности почвы с образованием микроповышений в летне-осенний период урожайного года до опадения желудей и семян. В плакорных условиях на богатых почвах (тип лесорастительных условий Д2) в травяно-дубравном типе леса, занятых мелколиственными насаждениями, создавать культуры широколиственных пород посевом или посадкой. Общее количество культивируемых растений широколиственных пород должно быть не менее 2,5 тыс. шт./га.

На участках, где возобновление широколиственных пород обеспечено в достаточном количестве, нужно проводить рубки ухода и санитарные рубки, при которых обеспечивать создание оптимальных

условий для развития естественного возобновления. В лесах, где это допускается режимом хозяйственного использования, посредством вырубки осины, ольхи серой и ивы козьей регулировать оптимальные состав и численность широколиственных пород. В перестойных, иногда и более молодых – спелых, но теряющих свою функциональную роль (ослабленных, с наличием значительного количества деревьев III – «сильно ослабленные» и IV – «отмирающие» фитосанитарных категорий) насаждениях с участием широколиственных пород, вести рубки обновления и переформирования насаждений. Основными объектами сохранения и ухода должны являться молодые поколения широколиственных пород (подрост и второй ярус). Объекты рубки – перестойные и фаутные хвойные деревья, мягколиственные породы и подлесок, препятствующие появлению и развитию подроста. Рубки переформирования целесообразно вести в насаждениях, под пологом которых имеются жизнеспособный подрост широколиственных пород, в количестве, достаточном для постепенного перевода таких насаждений в хвойно-широколиственные и широколиственные за счёт вырубки всех или большей части мягколиственных деревьев и части хвойных (в первую очередь – ели).

В список особо охраняемых участков широколиственных лесов в Новгородской области входят, в основном, дубравы – памятники природы [5]. Вполне возможно расширить спектр охраняемых участков за счёт сохранения древостоев других пород – ясеня, вяза, клёна, особенно за счёт таких участков, в которых идёт успешное естественное возобновление широколиственных пород.

На территории охраняемых участков широколиственных лесов рекомендуем с целью увеличения сохранности подроста ограничивать рекреацию в весенний период с целью предотвращения поджогов травы местным населением.

Литература

1. Лесная энциклопедия: в 2 т. / гл. ред. Воробьев Г.И.; ред. кол.: Н.А. Анучин, В.Г. Атрохин, В.Н. Виноградов и др. М.: Советская энциклопедия, 1985–1986. 631 с.: ил.
2. Денисов, А.К. Послеледниковая динамика северной границы ареала дуба черешчатого в СССР и филоценогенез дубрав Севера // Лесоведение. М.: Наука, 1980. № 1. С. 3–11.
3. Приказ МПР РФ от 27.12.2005 № 350 (ред. от 05.04.2006). Об утверждении Санитарных правил в лесах Российской Федерации.
4. Шутяев, А.М. Биоразнообразие дуба черешчатого и его использование в селекции и лесоразведении / Министерство природ. ресурсов РФ. Науч.-исслед. ин-т лесной генетики и селекции. Воронеж: НИИЛГиС, 2000. 336 с.: ил.

5. Смирнов, И.А. Охраняемые дубравы Новгородского района в системе охраны окружающей природной среды Новгородской области. Научные чтения «Белые ночи 2011» // Материалы международной научно-практической конференции «Экологические и социально-экономические аспекты безопасности жизни, охраны окружающей среды, сохранения и восстановления биоразнообразия в регионах» Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Великий Новгород: Институт сельского хозяйства и природных ресурсов Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, 1–5 июня 2011 г. Великий Новгород, 2011. С. 277–280.

Статья рекомендована к печати
канд. с.-х. наук, доцентом Смирновым И.А.

УДК 551.435.282+351.853(470.24)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.10

ИЛЬМЕНСКИЙ ГЛИНТ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ГЕОПАРК ДЕВОНСКОГО ПЕРИОДА

Порошина И.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: Poroshina.ir@yandex.ru

ILMENSKY GLINT ASAPOTENTIAL DEVONIAN PERIOD GEOPARK

Poroshina I.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: Poroshina.ir@yandex.ru

Аннотация. В статье содержится обоснование создания геопарка как механизма сохранения и устойчивого использования ландшафтного разнообразия юго-западного Приильменья. Объект исследования – территория юго-западного Приильменья. Предмет исследования – объекты природного и культурно-исторического наследия на потенциальной территории геопарка.
Ключевые слова: *юго-западное Пришльменье, геопарк, природно-культурное наследие.*

Abstract. The rationale for the creation of a geopark as a mechanism for the conservation and sustainable use of landscape diversity in south-west Priilmen'ye. The object of study is the territory of south-west Priilmen'ye. Subject of research – objects of natural and cultural-historical heritage on the potential territory of the geopark.
Keywords: *south-west Priilmen'ye, geopark, natural and cultural heritage.*

Многим жителям Новгородской области и соседних регионов, туристам, учёным известна такая уникальная местность, как Ильменский глинт – территория, обладающая статусом памятника природы. С точки зрения уникальности этого природного ландшафта, существуют предпосылки к тому, чтобы Ильменский глинт приобрел статус геопарка как единой области регионального значения, выделенной на основе значимости её геологического, природного и культурного наследия. Привлекательным является формат именно геопарка, суть которого состоит в объединении отдельных геологических объектов специально разработанной маршрутной линией, формированием комплекса туристских услуг, способствующих эффективному использованию включённых в геопарк объектов для научных исследований, образования и туризма. Международная практика показывает, что геопарки фактически становятся опорой школьного и университетского образования в области наук о

Земле, быстро растущего познавательного туризма и бизнеса, связанного с образованием и отдыхом. С течением времени геопарк, созданный на базе памятника природы «Ильменский глинт», может достойно войти в формирующуюся национальную сеть геопарков, став частью программы «Глобальные геопарки ЮНЕСКО».

Геопарк является единой территорией локального или регионального масштаба, обладающей не только геологической ценностью, но и историческим наследием местного, национального или международного значения. В пределах зоны геопарка обычно имеется несколько позиций (точек), интересных с геологической точки зрения. Культурная составляющая также является неотъемлемой частью концепции геопарка. Комплекс археологических, промышленных, природных, биологических и ботанических особенностей территории сводится воедино для повышения её образовательной ценности. Территория Ильменского глинта имеет высокое биологическое разнообразие, является местом обитания (произрастания) редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов. Геопарк может включать значимые объекты стратиграфического и палеонтологического типов, представленных на территории Новгородской области и непосредственно в пределах юго-западного Приильменья [1]. Несмотря на то, что выделение аспектов геологического значения является основной задачей геопарка, стоит упомянуть, что в пределах описываемой территории имеются старинные поселения, обнаружены жальники, сосредоточены архитектурные памятники XVII–XIX веков (церкви, хозяйственные строения, Путевой дворец). Геоконсервация, содействие информированному геотуризму и геообразованию являются важными аспектами концепции геопарка. В этом отношении уже сейчас сделан серьёзный шаг, который позволяет привлекать посетителей – в деревне Коростынь в здании Путевого дворца начал работу музей, где представлена экспозиция, раскрывающая историю края и показывающая научную ценность девонского обнажения.

Потенциальная область геопарка представляет собой редкий и необычный геологический объект, расположенный на южном берегу озера Ильмень, к югу от Новгорода, на расстоянии около 150 км на юго-юго-восток от Санкт-Петербурга. Ближайший районный центр – Старая Русса. С геологической точки зрения исследуемая область сложена комплексом девонских карбонатно-терригенных осадков с остатками фауны [2].

Нижняя часть Ильменской последовательности сложена ильменскими слоями рдейской свиты, состоящими в нижней части из голубых аргиллитов с тонкими линзами биокластического известняка. Вспучивание пластичных глин привело к образованию локальных диапироподобных структур. Биокластические известняки содержат органические остатки брахиопод, морских лилий, остракод, водорослей, конодонтов, двустворчатых моллюсков, изредка встречаются кораллы

(auloporid and rugose). Также наблюдаются остатки рыб и следы жизнедеятельности фоссилий. Верхняя часть Ильменских слоёв представлена белыми и красными косослоистыми песчаниками и алевролитами. Имеют место редкие прослои разрушенного песка из пород фундамента, обнажающихся в Скандинавии. Они накапливались в начале позднего девона (Семилукский региональный ярус), когда глубокое море покрывало всю исследуемую территорию. Высотные отметки позднего девона представляют собой одни из самых высоких уровней моря в мире. В верхней части Ильменской серии встречаются слои железистого песчаника с железистыми конкрециями мощностью до 0,4 м. В состав толщи входят редкие беззамковые брахиоподы (лингулоиды), брюхоногие моллюски, останки рыб, водоросли, следы жизнедеятельности окаменелостей. Эта толща разделяется, и её мощность меняется в восточной и западной областях. Верхняя поверхность толщи неравномерна, со следами ожелезнения, которые свидетельствуют о субаэральной экспозиции. Это несогласие между рдейской и бурегской формациями прослеживается от Онежского района до Балтики и Белоруссии. Перекрывающая бурегская свита состоит в основном из коричневых плитчатых аргиллитов и в некоторых случаях доломитизированных известняков. В базальной части присутствуют многочисленные брахиоподы (продуктиды, спириферидs и атрипиды), а также двустворчатые моллюски, брюхоногие моллюски, головоногие моллюски, морские водоросли и конодонты. Пластины крупных рыб плакодерм также встречаются в этой части разреза. Обильные следы жизнедеятельности и редкие формы двустворчатых и брюхоногих моллюсков характеризуют различные части плитчатых известняков. В средней и верхней частях толщи известняки характеризуются волнистой (линзовидной) текстурой и более бледным цветом, а в верхней части сменяются комковатыми известняками с редкими брахиоподами и остракодами. Известняки бурегской свиты также демонстрируют серию клиноформ. Фауна бурегской свиты в некоторых случаях демонстрирует редкий набор девонских морских и континентальных водных видов. Именно признание этого смешанного сообщества послужило доказательством девонского возраста отложений на реке Волхов, описанных экспедицией Мурчисона, Кайзерлинга и Кокшарова. Бурегская формация перекрывается несогласно и с резким контактом отложениями снежской свиты верхнефранского возраста, состоящими из алевролитов с прослоями песчаников и карбонатов. Приконтактовые слои в некоторых местах ожелезнены и окрашены в тёмно-красный цвет, что свидетельствует о перерыве в осадконакоплении. На других частях разреза, в основании снежской свиты встречаюся слои костеносной брекчии. Таким образом, геологическое строение объекта исследований

даёт возможность детального изучения временных и пространственных взаимоотношений пород [3].

Озеро Ильмень также является важным объектом. В нём водятся около 40 видов рыб, а район Ильменского глинта является ареалом для нескольких редких видов флоры и фауны, в том числе находящихся под угрозой исчезновения. К ним относятся следующие растения: ветреница лесная, воробейник лекарственный, ирис сибирский, бородник, астрагал песчаный, осока птиценожковая, лук скорода, пальчатокоренник балтийский; насекомые: коромысло зелёное, жужелица фиолетовая, четырёхпятнистый экзохомус, божья коровка шестнадцатипятнистая. Также в пределах территории потенциального геопарка находится несколько минеральных источников.

Интересно, что береговой уступ озера Ильмень служил естественной линией обороны и был захвачен немецкой армией во время Великой Отечественной войны. В этих местах в феврале 1943 года началось наступление сибирского полка, состоящего преимущественно из якутов. В исторической литературе этот полк известен под названием «Якутские стрелки». Наступление на укреплённый обрыв удалось совершить благодаря тому, что полк подкрался по льду озера и поднялся по обрыву. В этой трагической битве было потеряно более 30% солдат. Павшие в бою похоронены в братской могиле у берега озера. На могиле установлен памятник.

Многие художники посвятили Ильменскому озеру свои работы. Русский композитор Н.А. Римский-Корсаков создавал свою знаменитую оперу «Садко» в Новгороде и на берегу озера Ильмень, в легендарном царстве морского царя. «Садко в подводном царстве» – знаменитая картина выдающегося русского художника И.Е. Репина.

Сегодня геологические объекты на данной территории подвержены эрозии, поэтому нуждаются в комплексном мониторинге. Выветривание, эрозия и оползни повлияли на современный вид Ильменского глинта. Об этом наглядно свидетельствуют локально развитые на склонах осыпи и оползни, и участки, находящиеся под угрозой обрушения. Детальное изучение литологии горных пород, их физических свойств, а также соответствующих геологических процессов и связанных с ними структурных особенностей пород имеет важное значение для определения того, как выветривание, эрозия и потенциальные оползни могут повлиять на целостность участка в будущем. Признано, что пластические деформации водонасыщенных песчаных и глинистых пород, например Ильменских слоёв, и появление множества горизонтальных и разноориентированных трещин в известняке способствуют распространению пластических оползневых потоков и провоцируют оползни твёрдых пород [4]. Гравитационные процессы наиболее активны в весенний и осенний периоды. Давление подземных вод, уровень воды в

озере, пористость и проницаемость горных пород также оказывают значительное влияние на устойчивость выходов пород на берегах озера. Требуется комплексный мониторинг геологических, геоморфологических, гидрогеологических и ботанических особенностей участка исследований. Научная программа, посвящённая изучению геодинамических условий, действующих в районе скальных выходов озера Ильмень, позволит решить, как наилучшим образом способствовать дальнейшему сохранению этого уникального природного памятника.

На сегодняшний момент приоритетными являются любые способы просвещения и популяризации в области геологии, культуры, естественно-исторического наследия геопарка. Внимание к региону было привлечено в 1962 г., когда Академия наук СССР приняла решение считать Ильменский глинт природным памятником, подлежащим охране государством (2018 г.). В настоящее время часть объектов является действующими памятниками природы регионального значения Новгородской области, часть признана высокоценными, некоторые внесены в сводку «Геологические памятники природы России», представлены в информационно-справочной системе ВСЕГЕИ, описаны в специальных путеводителях, научных отчётах. Ильменский глинт объявлен памятником природы Постановлением Администрации Новгородской области от 10.12.2001 № 387 «О памятниках природы регионального значения в Солецком, Старорусском, Шимском районах» (вместе с «Перечнем природных объектов, объявленных памятниками природы регионального значения», «Границами и режимом особой охраны территорий памятников природы»). Ильменский глинт является частью памятника природы «Берег Ильменя», существовавшего 25 лет, в соответствии с распоряжением Исполнительного комитета Новгородского областного Совета депутатов трудящихся от 23.09.1977 № 631-р «Об охране диких животных и растений, находящихся на территории области». Присвоение более высокого значения рекомендуется с 1981 года (памятник природы республиканского значения «Южный берег оз. Ильмень близ устья р. Псижа»). Потенциальная территория геопарка является частью ключевой орнитологической территории международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности». Гнездопригодные биотопы для балтийского чернозобика, материкового кулика-сороки, малой крачки, других видов, занесённых в Красную книгу Российской Федерации. Потенциальная территория геопарка является также частью водно-болотного угодья, внесённого в Перспективный список Рамсарской конвенции («Теневой список» водно-болотных угодий, имеющих международное значение), «Озеро Ильмень и дельты рек Мста, Ловать, Шелонь» [5].

Можно обозначить первоочередные задачи для создания геопарка в юго-западном Приильменье и сохранения объектов природного и культурного значения:

– определение границ будущего геопарка и подготовка тематических карт;

– составление перечня уникальных природных объектов;

– систематизация текущих и разработка новых экскурсионных маршрутов;

– проведение анализа социально-экономического положения территории геопарка, разработка маркетинговой стратегии развития и схемы управления геопарком;

– разработка образовательной программы геопарка.

Таким образом, геологические объекты Ильменского глинта, фауна и флора, по своей уникальности и разнообразию, могут служить представительной площадкой для осуществления фундаментальных исследований, популяризации естественнонаучных знаний, международного сотрудничества. Создание геопарка может стать важным шагом к дальнейшему образовательному, культурному и экономическому росту региона. Придание статуса геопарка обширной территории юго-западного Приильменья может расширить возможности развития познавательного туризма и будет иметь большое значение для сохранения и популяризации природного и историко-культурного наследия Новгородской области.

Литература

1. Барышева, А.А. Местные климаты и ландшафты Новгородской области. Великий Новгород: НРЦРО, 2008. С. 37–38.

2. Антонова, З.Е. Регионально-типологическое ландшафтное районирование Новгородской области // Полевой сезон – 2015: Исследования и природоохранные действия на особо охраняемых природных территориях Новгородской области: Материалы 6-й регион. научно-практ. конф., г. Великий Новгород, 11–12 декабря 2015 г. / сост. и общ. ред. Е.М. Литвиновой; ОГБУ «Дирекция по упр. ООПТ», ФГБУ «Национальный парк “Валдайский”». СПб.: Арт-Экспресс, 2016. С. 46–55.

3. Геккер, Р.Ф. Отложения, фауна и флора Главного девонского поля. Фауна Главного девонского поля / АН СССР. М.-Л., 1941. С. 17–84.

4. Золотарев, Г.С. Инженерная геодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1983. 328 с.

5. Будрин, В.С. Паспорт памятника природы «Южный берег оз. Ильмень близ устья р. Псижа» // Ленинградская комплексная геологическая экспедиция. 02.12.1981. С. 7–12.

Статья рекомендована к печати
канд. пед. наук, доцентом Дмитрук Н.Г.

УДК 628.4.032(470.24)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.11

УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ВЕЛИКОМ НОВГОРОДЕ

Сусанин Д.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: sima704346@gmail.com

RECYCLING OF USED BATTERIES IN VELIKY NOVGOROD

Susanin D.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: sima704346@gmail.com

Аннотация. На данный момент элементы питания, такие как батарейки и аккумуляторы, являются неотъемлемой частью современного мира, и люди не могут представить свою жизнь без них. Человечество стало очень зависимым от данных устройств, благодаря им работают автомобили, смартфоны, ноутбуки и даже пульт от домашнего телевизора. Элементы питания, бесспорно, одно из величайших изобретений человека, но у них есть огромные недостатки. В данной статье будет подробно рассказано, почему нельзя выкидывать батарейки и аккумуляторы в мусорное ведро, а также будет описано, как собирать их на переработку, как происходит переработка и кто занимается переработкой отработанных элементов питания в России.
Ключевые слова: *переработка, элементы питания, батарейки, аккумуляторы, пункты приёма, окружающая среда.*

Abstract. Such kinds of power supply, as batteries and accumulators, are the essential part of our daily life and people can not imagine their life without that. Humankind became strongly dependent on such devices: it makes cars, phones and even tv remote control work. Though power supplies are the greatest inventions of our time, they have a massive amount of downfalls. In this article the author will explain the harm of throwing the batteries and accumulators in the bin for the environment. Also, the author will talk about recycling in Russia: how, who and why does that.
Keywords: *recycling, batteries, batteries, accumulators, reception points, environment.*

Элементы питания несут неоценимую пользу для человечества, но также и огромную угрозу для экосистем и самого человека. При попадании в окружающую среду их корпус начинает разрушаться и токсичные вещества, которые заключены в них, начинают отравлять почву, воздух и воду. Одна маленькая батарейка может содержать в себе различные опасные металлы и химические вещества [1]:

1. Цинк: отравление цинком грозит для человека сбоем в работе кровеносной системы и сердца, может привести к отеку лёгких.

2. Кадмий и никель: попадание в организм человека может привести к раковым опухолям, дисфункции почек и лёгких, искривлению позвоночника.

3. Кобальт: при переизбытке этого металла в организме могут развиться такие патологии, как увеличение щитовидной железы, аллергия, дерматит, а также нарушение работы сердца.

4. Свинец: воздействует на кости, мозг, печень и почки.

5. Ртуть: отравление ядовитыми парами ртути может привести к тяжёлым последствиям и даже к летальному исходу.

6. Литий: не обладает высокой токсичностью, но способен легко самовоспламеняться при взаимодействии с кислородом, что может привести к пожару.

Батарейки вредят не только здоровью человека, но и окружающей среде. Одно изделие способно заражать грунт площадью 20 квадратных метров. И при попадании в грунтовые воды отравляет до 400 литров жидкости. Именно поэтому категорически нельзя отвозить батарейки на свалки. Также их нельзя сжигать. Токсичные вещества могут проникнуть в атмосферу, и отравленный вредными парами воздух нанесёт вред растениям и животным [2].

Актуальность данной проблемы состоит в том, что многие люди не знают или не задумываются о вреде элементов питания и бездумно выкидывают их в мусорное ведро, что, исходя из вышесказанного, категорически не стоит делать.

Учитывая весь вред, который отработанные батарейки и аккумуляторы наносят окружающей среде, единственным рациональным способом их утилизации является переработка.

Для того, чтобы сдать на переработку отработанные элементы питания, сначала их нужно правильно собрать. Батарейки и аккумуляторы используются в различных электроприборах. Все они выходят из строя в разное время, и не всегда сразу накапливаются в необходимом количестве для сдачи их в пункты приёма. Поэтому в домашних условиях хранение должно быть правильным, чтобы исключить негативное воздействие опасных паров на человека. Главное условие – старые батарейки и аккумуляторы должны лежать в пластиковых контейнерах или полиэтиленовых пакетах. Контейнером не может стать металлическая коробка, которая будет испорчена протекшим щелочным или кислым раствором – корпус коробки подвергнется коррозии, и ядовитые пары смогут проникнуть в жилое помещение [1].

После того как отработанные элементы питания собраны, их нужно сдать на переработку. Для этого в больших городах организованы специальные пункты приёма, в которых можно сдать использованные

элементы питания. Этим могут заниматься как и коммерческие организации, так и активисты общественного экологического движения. Скупка производится от сотни батареек, которые можно накопить дома и потом привезти на пункт сбора за денежное вознаграждение.

Многие крупные торговые сети устанавливают в своих павильонах специальные урны для сбора батареек. Это очень удобный способ сдачи, но оплата за это не предусмотрена.

К сожалению, не во всех населённых пунктах России осуществляют приём батареек и аккумуляторов. В этом случае проще всего хранить использованные источники питания дома в специальной таре, собирать их и потом в большом количестве отвозить в специализированные пункты по сбору [3].

На переработку можно сдать батарейки всех видов: «пальчиковые», «мизинчиковые», «таблетки», «бочки», «дюймовочки», а также аккумуляторы от фотоаппаратов, ноутбуков, телефонов. В пункте приёма предварительно следует уточнить, какие виды элементов питания они принимают. Автомобильные аккумуляторы и аккумуляторы от UPS/ИБП принимают только в автосервисах и в магазинах, которые продают новые аппараты.

В Великом Новгороде на данный момент приёмом старых батареек занимаются следующие организации [4]:

− ООО «Энергия», г. Великий Новгород, Псковская ул., д. 109;

− ООО «НовАК», г. Великий Новгород, Северная ул., д. 15;

− ООО «Возрождение+», г. Великий Новгород, Большая Санкт-Петербургская ул., д. 107;

− ООО «Энергия № 2», г. Великий Новгород, д. Григорово, Центральная ул., д. 1;

− ООО «Эльдорадо», г. Великий Новгород, Колмовская набережная, д. 3;

− ИП «Иванов В.Н.», г. Великий Новгород, Александра Корсунова пр., д. 14Б;

− ООО «ЭкоСити», г. Великий Новгород, Газон ул., д. 5/2;

− ООО «Чистый город», г. Великий Новгород, Великая ул., д. 22, корп. 3;

− ООО «Меркурий», г. Великий Новгород, Нехинская ул., д. 61.

Отработанные аккумуляторы принимают [5]:

− ООО «МетИнвест», Великий Новгород, Рабочая ул., 23, ст. 1;

− ООО «Легион Шин», Великий Новгород, Лужское шоссе, д. 17;

− ООО «НовАК», Великий Новгород, Северная ул., 15, ст. 2;

− ООО «Вторичные ресурсы», Великий Новгород, Индустриальная ул., д. 21а;

− ООО АТЦ «Северо-Западный», Великий Новгород, Рабочая ул., д. 53;

− ООО «Экотехнологии», Великий Новгород, Якова Павлова ул., д. 3;

− ООО «Новгородская промышленная группа», Великий Новгород, Магистральная ул., д. 3.

Для увеличения эффективности сбора отработанных элементов питания в России проводятся различные экологические акции по сбору старых батареек. С 2015 года во многих школах нашей страны проводится акция «Сдай батарейку – спаси ёжика». В ходе акции волонтёры проводят беседу с подрастающим поколением о том, какой вред наносит неправильная утилизация источников питания природе и человеку. Они рассказывают ученикам, что одна батарейка может сделать необитаемым место, где живет один ёжик, несколько тысяч дождевых червяков, два крота, растёт пара деревьев. Эта информация призвана сформировать у детей правильное понятие об экологически чистых условиях жизни, воспитать бережное отношение к природе и своему здоровью [1].

В Великом Новгороде хорошим примером такого мероприятия является акция под названием «Батарейка, сдавайся!», проводимая в 2018 году. Её идея состояла в том, что любой человек мог прийти в удобный для него пункт приёма и сдать все накопившиеся у него старые батарейки. Боксы для приёма батареек были установлены в следующих отделах-центрах по работе с населением: Западном (ул. Коровникова, д. 3, корп. 4), Восточном (ул. Большая Московская, д. 37/9, каб. 131), Центральном (ул. Октябрьская, д. 26), Псковском (ул. Псковская, д. 44, корп. 2). По результатам данной акции за 7 дней, с 5 по 11 марта, было собрано 253 килограмма батареек. Они были переданы предприятию ООО «Меркурий» на утилизацию [6]. Подобная деятельность необходима, так как она помогает не только увеличивать объёмы собираемых батареек, но и помогает информировать граждан о необходимости сдачи старых элементов питания на переработку.

Когда организация, занимающаяся сбором, получила необходимое количество старых батареек и аккумуляторов, она отправляет их на перерабатывающий завод.

На данный момент в России переработкой отработанных элементов питания занимаются три предприятия: компания ООО «Меркурий» в Санкт-Петербурге, ООО «Национальная экологическая компания» в Ярославле, ГК «Мегаполисресурс» в Челябинске и их представитель сервис «Бокси» [7, 8, 9].

До недавнего времени только одно предприятие, находящееся в Челябинске, занималось переработкой отработанных элементов питания. Это увеличивало время и материальные расходы на транспортировку старых батареек и аккумуляторов из Великого Новгорода. Но появление новых перерабатывающих заводов в Санкт-Петербурге и Ярославле помогло значительно сократить временные и денежные затраты.

На начальном этапе переработки батарейки и аккумуляторы сортируют в соответствии с составом. Работы проводятся вручную людьми, которые разбираются в особенностях производства и хорошо знают состав всех элементов питания. Далее их помещают в металлический колодец. Наверху располагается электромагнит, а снизу – сетка. Благодаря магниту обеспечивается притягивание лишнего металла, а с помощью сетки происходит сбор электролитов в контейнер.

В специальную ёмкость набирается каустическая сода, в которую помещаются электролиты. При их взаимодействии образовывается свинцовая паста, для переплавки которой применяется специальный бункер. Процесс плавки обеспечивает получение твёрдого и мягкого свинца.

Для извлечения кадмия на перерабатывающем заводе используется две технологии – гидрометаллургическая и пирометаллургическая. Оба этих способа являются экологичными, но у них есть свои недостатки.

Первый способ требует использовать аммиак, солевые растворы и серную кислоту. Его недостаток заключается в том, что кадмий получается в малом количестве.

Второй метод – пирометаллургический – заключается в применении вакуумной дистилляции. Недостаток этого способа в низком качестве получаемого сырья.

Для извлечения графита батареи помещают в специальную дробильную камеру, где их измельчают на мелкие части. Крупные куски металла на конвейере отделяются электромагнитом. Крошку помещают в дробильную машину для повторного измельчения. После всего этого она подвергается процессу гидрометаллургии, благодаря которому нейтрализуется электролит, отделяется цинк, марганец и графит.

После переработки полученное сырьё используются в различных производствах:

- железо отправляется на металлургические заводы, из него делают разнообразные детали и предметы;
- графит предназначается для изготовления запчастей автомобильного транспорта, щеток электрических двигателей, смазочных материалов, минеральных красок;
- марганец широко применяется в красильной промышленности, из него изготавливают минеральные добавки и новые элементы питания; марганец применяется также в полиграфии;
- цинк используется в различных отраслях – медицине, фармацевтике, сельском хозяйстве;
- свинцовый сплав предназначен для изготовления керамики, стекла, электродов [2].

Стоит отметить, что в настоящее время не существует полностью экологически чистых методов утилизации отработанных батареек и

аккумуляторов. Переработка на данный момент является лучшим вариантом, эта отрасль быстро развивается и ведёт постоянный поиск новых методов утилизации. Но самое главное на сейчас – эффективнее информировать население о вреде отработанных источников питания, чтобы люди в полной мере осознавали и чувствовали ответственность за вред, который могут нанести своему здоровью и окружающей среде, если продолжат выкидывать старые батарейки и аккумуляторы на свалки.

Литература

1. Переработка и утилизация старых аккумуляторных батарей [Электронный ресурс]. URL: https://bezotxodov-ru.turbopages.org/s/bezotxodov.ru/jekologija/utilizacija-batareek (дата обращения: 30.04.2020).
2. Утилизация батареек в России и сколько это стоит? [Электронный ресурс]. URL: https://batareykaa.ru/utilizatsiya-batareek/ (дата обращения: 30.04.2020).
3. Куда сдать батарейки и как происходит их утилизация [Электронный ресурс]. URL: https://musorish.ru/utilizatsiya-batareek/ (дата обращения: 30.04.2020).
4. Сдать батарейки в Великом Новгороде [Электронный ресурс]. URL: http://vtorsyre-v.ru/batareyki-velikij-novgorod.html (дата обращения: 30.04.2020).
5. Сдать старый аккумулятор в Великом Новгороде [Электронный ресурс]. URL: http://vtorpunkt.ru/sdat-staryj-akkumuljator-v-velikom-novgorode/ (дата обращения: 30.04.2020).
6. Новгородцы сдали более 250 килограммов отработанных батареек [Электронный ресурс]. URL: https://news.novgorod.ru/news/novgorodcy-sdali-bolee-250-kilogrammov-otrabotannykh-batareek--163279.html (дата обращения: 30.04.2020).
7. ООО «Меркурий» [Электронный ресурс]. URL: http://battery.mercury-spb.ru/ (дата обращения: 30.04.2020).
8. ООО «Национальная экологическая компания» [Электронный ресурс]. URL: https://nec.eco/ (дата обращения: 30.04.2020).
9. ГК «Мегаполисресурс» [Электронный ресурс]. URL: https://eco2eco.ru/ (дата обращения: 30.04.2020).

Статья рекомендована к печати
старшим преподавателем Бычковой Е.В.

УДК 796.5(470)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.12

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПОРТИВНОГО ТУРИЗМА В РОССИИ

Холматова Л.Х.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: lolaholmatova1997@gmail.ru

PROBLEMS AND PROSPECTS OF SPORTS TOURISM DEVELOPMENT IN RUSSIA

Kholmatova L.Kh.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: lolholmatova1997@gmail.ru

Аннотация. В исследовании рассматриваются вопросы, связанные со спортивным туризмом. Рассматривается спортивный туризм как общенародное физкультурно-спортивное общественное движение, пользующееся большой популярностью среди всех слоёв населения. Определяется место этого вида туризма в системе физической культуры, спорта и туризма.
Ключевые слова: *спортивный туризм, физическая культура, спортивно-оздоровительный туризм, активный отдых, социальное явление, оздоровление.*

Abstract. The research deals with issues related to sports tourism. Sports tourism is considered as a nationwide physical culture and sports social movement that is very popular among all segments of the population. The place of this type of tourism in the system of physical culture, sports and tourism is determined.
Keywords: *sports tourism, physical culture, sports and health tourism, active recreation, social phenomenon, health improvement.*

В России по количеству занимающихся спортом спортивный туризм входит в первую десятку мест среди всех видов спорта. Вместе с тем в последние годы имеет место тенденция снижения популярности спортивно-туристического массового движения. Также отсутствует в спортивном туризме преемственность в поддержке неолимпийских видов спорта, в работе органов исполнительной власти по физкультуре и спорту. Для того чтобы восстановить прежние позиции, необходима поддержка Федеральных программ по развитию спортивного туризма в России, реализация которых напрямую связана с повышением безопасности в спортивном туризме. Россия с ее богатыми природными ресурсами имеет уникальные возможности для развития спортивного туризма как спорта, как технологии оздоровления населения, воспитания молодёжи и возрождения индустрии туризма [1, 4, 5].

Необходимо сказать, что деятельность спортсмена-туриста протекает в непрерывно меняющихся условиях и ситуациях, при этом постоянно возникает необходимость срочного изменения привычных действий путём перестройки координационных отношений, необходимости формирования двигательных навыков, которые отличались бы вариативностью [2, 3, 4].

Мировой рынок спортивного туризма оценивается в $800 млрд. По прогнозам британского аналитического агентства Technavio, его оборот до 2021 года вырастет на 41% и составит $4,31 трлн. Ежегодно в него вовлекаются от 12 до 15 млн человек, и в краткосрочной перспективе каждый год прирост будет составлять 6%. Это следствие трёх причин: повышение уровня благосостояния населения; повышенное предпочтение спортивного туризма как способа выйти из зоны комфорта; растущий вклад отрасли в рост ВВП и занятость населения. Подтверждением тому и рост рынка оздоровительного (wellness) туризма. Если в 2015 году сектор оценивался в $563 млрд, то в 2017-м – уже в $639 млрд.

«Как и в каждой отрасли, здесь есть свои страны-лидеры. В спортивном туризме это США, Великобритания, Германия, Италия, Испания, Дания, Швеция и Финляндия. В некоторых странах доходы от спортивного туризма превысили порог 25% от общей суммы туристских поступлений. А в Австралии поставили рекорд – 55%», – говорит декан факультета международного туризма, спорта и гостиничного бизнеса Финансового университета при Правительстве РФ Константин Поздняков.

Спортивный туризм в мире преследовал не рекреационную, а практическую цель – географы и исследователи изучали горные ландшафты, растительность, воду озёр, скрытых от глаз человека. Перспективы развития спортивного туризма уже тогда были весьма значительными, а в годы Советской власти влияние этого направления только усилилось.

В СССР придавали особое значение спортивному туризму, он был ориентирован на молодёжь. Отдых совмещали с работой, активными играми – чаще командными соревнованиями. Спорт не был связан с экстримом, его главная задача – сплотить народ, улучшить его физическую подготовку.

И тогда, и сегодня функции спортивного туризма включают:

− оздоровление – восстановление духовных и физических сил, улучшение самочувствия, зарядка энергией. Человек, который занимается спортом, болеет реже, ему не страшны многие патологии;

− совершенствование тела; конечно, можно улучшить формы и в спортзале, но на природе, свежем воздухе это удастся сделать значительно быстрее, а польза будет выше;

− общественное воспитание; актуальность спортивного туризма в том, чтобы сформировать личностные качества человека. Привлекая

ребёнка к такому виду деятельности, можно воспитать самодостаточного и активного гражданина.

Спортивный туризм включает разнообразные виды – конный, пеший, водный, вело-, мото- и автотуризм. Такие виды спорта подразумевают хорошую физическую подготовку и готовность к риску. Спортивный или активный, туризм представляет собой передвижение по определённым маршрутам с заданным уровнем сложности в условиях соревнования и преодоления природных препятствий. Его целью является повышение мастерства туристов, оптимизация маршрутов, совершенствование разных видов снаряжения. В активном туризме, как и в спорте, существуют разряды и звания. Если рост мастерства и физическая нагрузка оказываются на втором плане, а на первый выходит поиск новых впечатлений и острых ощущений, то активный туризм превращается в экстремальный. К таким видам туризма можно отнести, к примеру, дельтапланеризм.

Различают следующие виды активного туризма:

– пешеходный;

– горный.

Под вторым чаще всего подразумевают альпинизм, но сюда входят также минералогический и геотуризм. Альпинизм больше относится к экстремальным видам спорта, особенно опасен он в зимнее время. Наиболее популярные районы в России для горного туризма – Северная Осетия, Кабардино-Балкария, Ингушетия, Краснодарский и Ставропольский края, Мурманская область, Алтай.

Спелеотуризм – это посещение природных либо искусственных пещер и лабиринтов. Этот вид туризма интересен многообразием рельефа по пути маршрута и экстремальными условиями (высокой влажностью и отсутствием естественного освещения). Благодаря присутствию элемента приключений он очень популярен среди молодёжи.

Водный – представляет собой переходы по рекам, водохранилищам и озёрам на байдарках, надувных лодках и т.д. Широко распространен на больших равнинных реках (Волга, Ока, Енисей) и горных реках Алтая, Урала, Кавказа.

Лыжный (в том числе горнолыжный) – один из самых массовых, так как на большей части России по несколько месяцев в году лежит снег. Многодневные лыжные походы совершаются по лесам, полям, тундре и льдам.

Конный – оказывает оздоровительное действие. Хорошо развит там, где традиционно разводят лошадей – на Алтае, в Адыгее, в Башкирии, Чувашии, Бурятии, в Орловской области (центр России) и Кемеровской области (Сибирь).

Велосипедный – наиболее экологичный вид туризма. Велотуры осуществляются на дорожных, горных и спортивных велосипедах. Самые

популярные маршруты – асфальтовые и песчаные дороги Центрального региона и Поволжья, горные лесные дороги Среднего и Южного Урала.

Всеобщая декларация прав человека и другие международные нормативные акты признают право каждого человека на отдых и, в частности, право на отпуск и свободу путешествий и туризма как неотъемлемые элементы развития личности. Реальные, эффективные и не дискриминационные возможности должны соответствовать приоритетам, законодательству и традициям каждой демократической страны, поскольку туризм является фактором, положительно воздействующим на физическое и психологическое здоровье людей, формирующим социальное равновесие, повышающим трудовую активность индивидов, личное и общественное благосостояние [1].

В настоящее время индустрия туризма становится одной из самых высокодоходных и динамично развивающихся сфер национальной экономики. Несмотря на это, речь не идёт речь об истощении природных ресурсов, в отличие от промышленной сферы, а лишь о содействии росту эффективности национальной экономики.

Идея объединения спорта и развития индустрии туризма заключается в том, чтобы максимально реализовывать потенциал популярности спорта в туристическом мире. Привлечение огромного количества людей к местам проведения спортивных соревнований практикуется по настоящее время на протяжении веков с момента создания древних Олимпийских игр. Спортивные мероприятия, в том числе зимние и летние Олимпийские игры, способствуют повышению интереса к туристическим путешествиям и пропаганде здорового образа жизни.

Эксперты отмечают, что после сочинской Олимпиады популярность горнолыжного туризма серьёзно возросла. В частности, в минувшие новогодние праздники «Роза Хутор» посетили 1,3 млн человек, и это на 16% больше показателей предыдущего года. И если сейчас на горных лыжах и сноубордах катаются 3% россиян, в перспективе их число возрастёт до 8%. Но минус подобных курортов в сезонности, тогда как общемировая тенденция в том, чтобы привлекать посетителей круглогодично.

Впрочем, многие другие виды спортивного туризма такими показателями похвастаться вряд ли смогут. Ведь его развитие напрямую связано с ростом благосостояния граждан, а с этим у нас пока, мягко говоря, не очень.

Некоммерческие турклубы по-прежнему держатся на энтузиазме. Символические взносы (примерно по 5 тыс. рублей в год) позволяют их членам путешествовать практически бесплатно, но и развития при такой бедности сложно ожидать. Незарегистрированные коммерческие спортивные фирмы почти не контролируются, зато у легальных турфирм

масса бюрократических препятствий и соприкасаются в своей деятельности минимально.

Спортивно-экстремальный туризм имеет ряд достоинств, которые и обеспечивают его популярность. Такой отдых способен решить несколько задач:

– провести время насыщенно и необычно;

– получить выброс адреналина, что в обычных условиях невозможно или трудно;

– улучшить своё здоровье, так как требуется серьёзная подготовка, физическая активность.

Проблемы и перспективы экстремального туризма имеют и некоторые недостатки. Так, эта отрасль отдыха развита недостаточно хорошо: лишь единичные турфирмы предлагают отдых «с огоньком», чаще людям приходится самостоятельно организовывать свой досуг. Как итог, непрофессиональные действия приводят к негативным последствиям.

Безопасность – ещё одна проблема в экстремальном туризме. Этот отдых всегда связан с риском, можно травмироваться, лишиться жизни, быть втянутым в неприятности. И ожидаемый прекрасный отпуск превратится в кошмар – к сожалению, такие случаи нередки. Но не стоит так драматизировать: актуальность экстремального туризма повышается с каждым днём. Это значит, что для любителей в скором времени найдется всё больше развлечений и способов, как себя занять.

Самые экстремальные места для туризма на сегодня – это:

– туры в Чернобыль в Украине – особенно нелегально, пробравшись в зону отчуждения скрытно;

– Дорога смерти в Боливии – имеет дурную славу, но ее популярность от этого только растёт;

– Сак Актун в Мексике – огромная пещера, затопленная водой, настоящий рай для дайверов;

– Пещера Ласточек в Мексике – пользуется интересом у бейсджамперов. Взобравшись к входу в пещеру и обвязавшись веревкой, нужно прыгнуть вниз, получив колоссальный выброс адреналина;

– поселение Аркаим в Челябинской области – здесь обнаружены руины древнего города, где на собственном примере можно убедиться, что человек – лишь песчинка в безграничной истории цивилизаций;

– Кольский полуостров в Мурманской области – тут отлично развит туризм, создано много пеших маршрутов со спусками в ущелье и полосами препятствий.

В развитии современного спортивного туризма наблюдается возникновение некоторых проблем, которые не были характерны для советского периода. Назовём некоторые из них.

Прежде всего это коммерческая сторона в развитии спортивного туризма. Деловые люди в сфере бизнеса пытаются извлечь для себя

прибыль с помощью некоторых видов спортивного туризма, особое внимание уделяя экстремальным его видам (причём не особо утруждая себя вопросами безопасности потребителей). Естественно, что при этом они также отнюдь не стремятся развивать массовость физкультурного движения в стране, реализуя поставленную в государственных программах по развитию спорта и туризма цель.

В качестве второй проблемы можно назвать исчезновение некоторых запретов и ограничений в связи с демократизацией общества и появление в связи с этим новых подвидов спортивного туризма (например, тех же экстремальных видов).

Не менее важной проблемой является и отсутствие или недостаточная подготовка специалистов в сфере новых подвидов спортивного туризма, а также их законодательное обеспечение.

Можно сделать вывод о том, что спортивно-оздоровительный туризм оказывает большое влияние на индустрию туризма, поэтому в своей деятельности туристские предприятия должны учитывать данный факт.

Литература

1. Галкин, В.В. Экономика и управление физической культурой и спортом: учеб. пособие для вузов. Ростов н/Д: Феникс, 2016. 448 с.
2. Староста, В., Хиртц, П., Павлова-Староста, Т. Сенситивные и критические периоды в развитии двигательных координационных способностей у юных спортсменов // Физическая культура. 2015. № 2. С. 2–3.
3. Зорин, И.В., Каверина, Т.П., Квартальнов, В.А. Менеджмент туризма. Туризм как вид деятельности: учебник. М.: Финансы и статистика, 2017. 288 с.
4. Королёв, А.Ю. Географические и тактические аспекты спортивного туризма // Географический вестник. 2018. № 2. С. 1–9.
5. Холодов, Ж.К., Кузнецов, В.С. Теория и методика физического воспитания и спорта: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательский центр «Академия», 2016.

Статья рекомендована к печати
канд. географ. наук, доцентом Степановой А.А.

УДК 664.651.6
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.13

РАЗРАБОТКА НОВОГО ВИДА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПЕЧЕНЬЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ТЫКВЕННОГО ПЮРЕ

Шевцова А.Н.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: anastasiashevt@gmail.com

DEVELOPMENT OF A NEW TYPE OF FUNCTIONAL COOKIES WITH THE ADDITION OF PUMPKIN PUREE

Shevtsova A.N.

Yaroslav the Wise Novgorod State University
E-mail: anastasiashevt@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрена актуальность пищевых продуктов с функциональной направленностью, изучена возможность применения тыквенного пюре, как функционального ингредиента, а также представлены результаты по разработке нового вида функционального печенья с добавлением тыквенного пюре.
Ключевые слова: *печенье, функциональное печенье, тыквенное пюре, бета-каротин, функциональные продукты.*

Abstract. This article examines the relevance of food products with a functional orientation, examines the possibility of using pumpkin puree as a functional ingredient, and presents the results of the development of a new type of functional cookies with the addition of pumpkin puree.
Keywords: *cookies, functional cookies, pumpkin puree, beta-carotene, functional products.*

В последние годы начало активно развиваться относительно новое направление в пищевой индустрии – это разработка и производство особой группы продуктов, отличающихся различными функциональными свойствами. В Европе это направление существует уже на протяжении 20 лет, у нас же оно на государственном уровне появилось в 2005 году, когда вышел официальный документ, утвердивший понятие функциональных продуктов. Согласно национальному стандарту функциональный пищевой продукт – это пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющий и улучшающий здоровье за счёт наличия в его составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов.

Не для кого уже не является секретом, что рацион питания существенно влияет на здоровье человека. В последние годы, в связи с возросшим ритмом жизни, питание большинства людей стало несбалансированным. Современный суточный рацион не может полностью удовлетворить потребность человека в белках, пищевых волокнах, витаминах, а также минералах.

По мнению академии питания РАМН, несбалансированное питание наносит современному человеку больший вред, чем плохая экология. Именно по этой причине у 70% населения России определяется дефицит витамина С, у 60% – дефицит β-каротина и витамина А, почти у трети населения – витаминов В-комплекса, и абсолютно у всех – минерала селена. Давно оказано, что рациональное потребление нутриентов снижает риск возникновения многих заболеваний либо облегчает симптоматику уже проявившихся. Так, всем известно, что витамин С обладает антиоксидантным действием, и его особенно рекомендуют принимать в сезон простуд [1].

На новый этап развития тенденции функциональных продуктов во многом оказала влияние банальная мода. Известно, что миром и людьми правят три вещи: мода, стиль и тенденции. Это касается всех сфер жизни и производства. В питании и образе жизни сейчас главенствует тенденция «health & wellness» – «здоровье и здоровое питание». В связи с этим потребители стали внимательно изучать состав продуктов и искать информацию о том, как влияют различные компоненты на здоровье. От изготовителей ждут «прозрачной» этикетки и качественный полезный продукт. Производители отвечают ожиданиям и увеличивают ассортимент здорового питания. Ещё одним современным направлением является «healthonism» – это тренд, связанный с желанием совместить потребление продуктов питания, доставляющих удовольствие, с пользой для здоровья. Учитывая, что для многих людей словосочетание «функциональный продукт» является синонимом здорового питания, востребованность этого направления на потребительском рынке продержится ещё долго [2].

Во многих странах разрабатываются функциональные продукты как с широким спектром применения, так и направленным на конкретный орган, систему или заболевание. Более того, создание и внедрение в производство таких продуктов является одним из направлений гуманистической программы питания человека, провозглашённой ООН.

Иными словами, продукты функционального питания – это особая группа, которая не относится к категории лекарственных препаратов и лечебной пище, хотя и используется для улучшения функционирования систем организма и повышения здоровья человека. Поэтому они занимают промежуточное место между обычными продуктами, изготовленными по традиционной технологии, и продуктами лечебного питания.

Преимущество функциональных продуктов по сравнению с лекарственными средствами (витаминно-минеральными комплексами) и

БАДами заключается в том, что концентрация функциональных добавок в продуктах близка к физиологическим нормам, а значит, на функциональные продукты не действует ограничение по длительности употребления. Пищевой продукт считается функциональным, если в одной его порции содержание функционального ингредиента находится в количестве не мене 15% от суточной физиологической потребности человека в соответствующем нутриенте.

Функциональными добавками могут являться как синтезированные вещества, так и вещества растительного происхождения. Очевидно, что большую ценность и значимость играют функциональные ингредиенты растительного происхождения, так как они содержат большое количество различных витаминов и минералов, пектинов, пищевых волокон, углеводов, ферментов, органических кислот и эфирных масел [1].

На современном рынке представлен большой ассортимент функциональных продуктов, но большую его часть занимают продукты повседневного спроса.

Традиционные продукты кондитерской промышленности не вписываются в современные тенденции, так как содержат большое количество сахара и жира, которые не несут пользы здоровью. Следовательно, разработка новых кондитерских изделий, которые будут нести определённую пользу и функциональность, является актуальной. В связи с этим предлагается разработка нового вида функционального печенья с добавлением тыквенного пюре.

Тыква является ценнейшим пищевым и диетическим продуктом питания, источником богатого набора биологически активных веществ. Она отличается высоким содержанием пектиновых веществ, клетчатки, богата минеральными веществами – Mg, P, Ca, K, Cu, Fe, Co. Но самым главным достоинством тыквы, обусловливающим ее участие в исследовании, является наличие β-каротина. Как уже упоминалась выше, у 60% населения наблюдается дефицит этого элемента. Бета-каротин в организме трансформируется до витамина А, которой назван его открывателем как «эликсир красоты и молодости». Действительно, этот витамин полезен для кожи, волос и ногтей, так как повышает их барьерные функции. Также витамин А является одним из составляющих отличного зрения и повышает иммунитет, а β-каротин является ещё и антиоксидантом.

В соответствии с рекомендациями Института питания РАМН среднесуточное потребление β-каротина с пищей должно составлять не менее 5–6 мг. В разных же сортах тыквы содержится от 1,5 до 16 мг β-каротина на 100 г продукта. Рекордсменом по содержанию каротина является тыква с говорящим названием сорта – «Витаминная». В ней может содержаться от 11,5 до 16 мг β-каротина [3].

Тыква уже давно используется в кондитерской и хлебобулочной промышленности, проводились различные исследования по применению

тыквенного пюре в качестве добавки для продуктов этих отраслей. Однако возможность применения тыквенного пюре в производстве печенья еще не была изучена.

Атамуратовой Т.И. изучались возможности использования тыквенного пюре в хлебопекарной промышленности. Было выявлено, что применение продуктов переработки тыквы способствует сокращению технологического процесса, улучшает качество хлеба, а также появляется возможность «утилизации» пищевого растительного сырья с ценным химическим составом. На базе Воронежского государственного аграрного университета проводились исследования по обогащению булочек тыквенным пюре. Было выявлено, что добавление тыквенного пюре в тесто приводит к улучшению цвета, пористости, эластичности мякиша и формы готовых изделий [4]. Типсиной Н.Н. и Селезневой Г.К. проводились исследования по возможности применения тыквенного пюре в пряниках с целью повышения пищевой ценности. В результате был сделан вывод о том, что «тыквенный пряник» по сравнению с обычным сырцовым содержал наибольшее количество углеводов, как усвояемых, так и не усвояемых, клетчатки, магния, фосфора, железа, а также витаминов β-каротина, РР и Е [5].

Целью научно-исследовательской работы является изучение возможности использования тыквенного пюре в производстве печенья. Все исследования проводились на базе учебной лаборатории кафедры «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого под руководством Ларичевой К.Н. На данном этапе уже разработан компонентный состав тыквенного печенья, определены дозировки внесения тыквенного пюре, обеспечивающие функциональность продукта, а также установлены параметры технологического процесса.

Моделирование окончательной рецептуры и дозировки внесения тыквенного пюре складывалось из множества шагов. Изначальный вариант тыквенного печенья представлен в таблице 1.

Таблица 1. Процентное соотношение используемых компонентов в первом образце печенья

Наименование компонента	Содержание компонентов, %
Мука пшеничная цельнозерновая	41,8
Тыквенное пюре	34,8
Сахар	13,9
Подсолнечное масло	6,7
Разрыхлитель	1,4
Корица	0,7
Мускатный орех	0,4

Как видно из таблицы, по составу задумывалось необычное печенье, с более вписывающимся в современные потребности составом. Это печенье отличается от традиционного не только функциональной направленностью β-каротина, но также меньшим содержанием сахара и жира. Однако ожидания и реальность по поводу органолептических достоинств печенья не совпали. Готовое печенье оказалось твёрдым, плотным и по консистенции схожим с пряником.

После этого было решено заменить муку, так как именно цельнозерновая мука определяла такие специфические особенности. Проводились пробные выпечки печенья с использованием кукурузной муки, а также смесью кукурузной и пшеничной муки высшего сорта, также происходила замена мускатного ореха и корицы на корень имбиря. Эти образцы печенья не устроили по свойствам теста. Тесто выходило не особо пластичным и довольно рассыпчатым, а готовые изделия получались с чуть резинистой консистенцией и специфическим привкусом кукурузной муки и имбиря.

Итоговый вариант печенья представлен в таблице 2.

Таблица 2. Процентное соотношение используемых компонентов в итоговом образце печенья

Наименование компонента	Содержание компонентов, %
Мука пшеничная высшего сорта	44,1
Тыквенное пюре	30
Сахар	17,6
Подсолнечное масло	5,9
Разрыхлитель	1,8
Лимонная цедра	0,6

Как показало исследование, итоговое тыквенное печенье обладает отличными органолептическими характеристиками. Оно отличается мягкой и немного воздушной консистенцией, приятным сладким вкусом с нотками лимона, а также приятным золотисто-оранжевым цветом. Окончательный вариант печенья выбирался между тремя вариантами печенья со следующим процентным содержанием тыквенного пюре: 20, 25 и 30%. Третий вариант оказался обладателем наиболее выигрышных органолептических показателей. Также одна порция тыквенного печенья (30 г – 2 шт.) обеспечивает суточную потребность организма в β-каротине на 30%.

На следующем этапе работы планируется провести физико-химические исследования, дегустационный анализ, рассчитать оптимальную рецептуру, разработать технологическую схему производства, определить пищевую ценность нового вида печенья,

установить гарантийный срок годности, рассчитать экономическую эффективность и разработать техническую документацию.

Литература

1. Дыдыкин, А., Асланова, М. Функциональное питание – новая концепция здорового образа жизни [электронный ресурс]. URL: https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/23406-funktsionalnoe-pitanie/ (дата обращения: 21.03.2020).
2. Исследование российского рынка продуктов здорового питания-2018 [электронный ресурс]. URL: http://t-laboratory.ru/2018/05/01/issledovanie-rossijskogo-rynka-produktov-zdorovogo pitanija-2018/ (дата обращения: 21.03.2020).
3. Борисенко, В.В., Фолиянц, Б.В. Изучение биохимического состава плодов тыквы сорта «Витаминная» / Молодой ученый. 2015. № 22. С. 98–100. URL: https://moluch.ru/archive/102/22870/ (дата обращения: 20.03.2020).
4. Ухина, Е.Ю., Мараева, О.Б. Исследование возможностей использования тыквенного пюре в хлебопечении // Индустрия хлебопечения, 2012. № 3. С. 50–52.
5. Типсина, Н.Н., Селезнева, Г.К. Использование пюре из тыквы в пищевой промышленности // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2013. 14 с.

Статья рекомендована к печати
канд. экон. наук, доцентом Ларичевой К.Н.

ИЭИС – ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 681.586.783
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.14

РАЗРАБОТКА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ

Бурцева Д.Я.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: burset@yandex.ru

DEVELOPMENT OF A MAGNETOELECTRIC POSITION SENSOR

Burtseva D.Y.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: burset@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию магнитоэлектрического эффекта в асимметричных и симметричных МЭ градиентных структурах, предназначенных для применения в датчиках положения. Были проведены исследования рынка датчиков, что позволило сделать заключение о востребованности данного изделия. В результате исследований подтверждено, что значительно лучшие характеристики магнитоэлектрического коэффициента у асимметричных структур, наблюдаются на частотах вблизи изгибного резонанса. На основе исследованных структур могут быть разработаны датчики положения. Самонамагниченный или градиентный материал является двухфазной композицией магнитострикционного материала с градиентом намагниченности и сегнетоэлектрического материала с градиентом поляризации, скрепленных между собой. Самонамагниченные магнитоэлектрические датчики имеют ряд преимуществ перед традиционными, в частности имеют более высокую чувствительность, меньшие габариты и массу, обеспечивают работу без дополнительных источников энергии.
Целью данной работы является разработка датчика положения на основе слоистой пьезо-магнитострикционной структуры. Исследованные структуры были применены для разработки датчиков положения.
Ключевые слова: *магнитоэлектрические датчики положения, магнитоэлектрические структуры, магнитоэлектрический эффект.*

Abstract. The article is devoted to the study of the magnetoelectric effect in asymmetric and symmetric ME gradient structures intended for use in position sensors. Studies of the sensor market were conducted, which allowed us to draw a conclusion about the relevance of this product. As a result of studies, it was confirmed that significantly better characteristics of the magnetoelectric coefficient, for asymmetric structures, are observed at frequencies near

bending resonance. Based on the structures studied, position sensors can be developed. A self-magnetized or gradient material is a two-phase composition of a magnetostrictive material with a magnetization gradient and a ferroelectric material with a polarization gradient bonded together. Self-magnetized magnetoelectric sensors have a number of advantages over traditional ones, in particular, they have a higher sensitivity, smaller dimensions and weight, ensure operation without additional energy sources.
The aim of this work is to develop a position sensor based on a layered piezoelectric magnetostrictive structure. The investigated structures were used to develop position sensors.
Keywords: *magnetoelectricposition sensor, magnetoelectric structure, magnetoelectric effect*.

Постоянное совершенствование технологий – основная цель большинства вовлеченных в науку людей, стремящихся повысить технологичность, надёжность, безопасность и качество устройств, используемых человеком, а также снизить их себестоимость. Для этого исследуются новые компоненты и средства производства. На данный момент датчики занимают одну из важнейших позиций в производстве современных устройств и выполняют разные задачи.

Одним из таких датчиков является датчик положения, работающий на магнитоэлектрическом эффекте.

Целью данной работы является разработка датчика положения на основе слоистой пъезо-магнитострикционной структуры.

Датчики положения и перемещения – незаменимые компоненты для построения следящих систем. Они широко применяются для поддержания работоспособности машин и повышения их экономичности.

Сфера применения таких устройств очень обширна:

- Строительство, машиностроение.
- Контрольно-измерительная аппаратура.
- Автомобильная техника и транспортная промышленность.
- Робототехника и медтехника.
- Сфера науки и образования.
- Сельское хозяйство и спецтехника.
- Дерево- и металлообработка.
- Системы слежения и позиционирования.
- Охранные системы.
- Гидравлические и пневматические системы.
- Весовое оборудование.

Датчики положения могут решать очень разные задачи:

- Измерение положения и перемещения рабочих органов машин или механизмов и передача данных об их состоянии далее в систему.

Реализация в качестве звена обратной связи в АСУ, робототехнике, следящих системах:

- Информирование о степени открытия/закрытия регулирующих элементов.
- Регулирование направляющих шкивов.

- Работа в составе электропривода.
- Диагностика и проверка работоспособности механизмов в лабораториях, проведение испытаний.
- Мониторинг положения цилиндров в пневматических и гидравлических системах.
- Измерения в контрольно-измерительной технике.

Характеристики датчиков

Таблица 1. Сравнение датчиков

	Индуктивные	**На эффекте Холла**	**Магниторезистивные**	**Контактные резистивные**	**Магнитоэлектрические**
Надёжность	Высокая	Высокая	Высокая	Меньше	Высокая
Влияние температуры на снижение производительности	Слабое	Высокое	Высокое	Высокое	Слабое
Компенсация	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Слабая	Хорошая
Отклик	Быстрый	Быстрый	Быстрый	Медленный	Быстрый
Точность	Высокая	Высокая	Высокая	Ниже	Высокая
Устойчивость к электромагнитным помехам	Отличное	Средняя	Слабая	Слабая	Средняя
Бесконтактное действие	Да	Да	Да	Нет	Да
Влияние на загрязнение окружающей среды	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
Стоимость	Средняя	Средняя	Дороже	Дешевле	Средняя

Таблица 2. Сравнение магнитных датчиков [1]

Магнитные датчики	Детектируемое поле (Гаусс)								
	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^{2}	10^{4}	10^{6}
1. Индукционные катушки		■	■	■	■	■	■	■	■
2. Феррозонды				■	■	■	■		
3. Магнитные датчики с оптической накачкой		■	■	■	■	■			
4. Атомный магнитометр на щелочных металлах			■	■	■	■	■		
5. СКВИД	■	■	■	■					
6. Датчики на эффекте Холла				■	■	■	■	■	
7. Магниторезистивные датчики			■	■	■	■	■		
8. Магнитодиоды					■	■	■	■	
9. Магнитотранзисторы				■	■	■	■	■	
10. Волоконно-оптические магнитометры		■	■	■	■	■			
11.Магнитооптические датчики						■	■	■	■
12. Магнитоэлектрические датчики		■	■	■	■	■	■	■	

Перспективы будущего рынка

Рынок датчиков положения имеет огромнейший потенциал роста в промышленности ввиду всё большего распространения систем умного движения. По данным аналитиков TechNavio, объём мирового рынка датчиков в 2013 году достиг 71,2 млрд долларов. Из всех описанных инновационных ниш эта – вторая по величине. К 2015 году продажи сенсоров выросли до 82,4 млрд долларов. Причем наиболее динамичным сегментом стали бесконтактные устройства.

Опережающими темпами растёт рынок стран БРИК (Бразилия, Россия, Индия, Китай): в 2011-м он составлял 9,2% мирового, к 2015-му вырос до 25,1%.

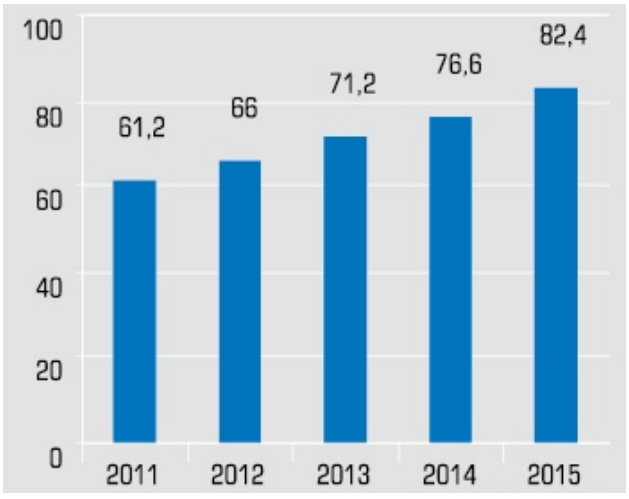


Рисунок 1. Объём мирового рынка, млрд долларов [1]

Больше половины продаж приходится на пять видов датчиков.



Рисунок 2. Структура мирового рынка датчиков, % [1]

Датчики положения (сенсоры) уже давно применяются в большинстве отраслей экономики. Наиболее востребованы они в промышленности и автомобилестроении. С развитием робототехники и виртуальной реальности потребность в датчиках будет лишь возрастать.

Магнитоэлектрический эффект и его применение в науке и технике

Магнитоэлектрический (МЭ) эффект заключается в индуцировании электрической поляризации во внешнем магнитном поле или в появлении намагниченности во внешнем электрическом поле. Общим для монокристаллических материалов является то, что МЭ-эффект наблюдается в большинстве из них при температурах, значительно ниже комнатной. Это объясняется низкими температурами Нееля или Кюри для данных материалов. МЭ-коэффициенты обращаются в нуль, как только температура приближается к точке перехода в неупорядоченное состояние. Монокристаллические материалы характеризуются также малыми значениями МЭ-коэффициентов, величина которых недостаточна для практического использования этих материалов. От указанных недостатков в большей степени свободны композиционные материалы на основе ферритов и пьезоэлектриков. Для композиционных материалов открываются широкие возможности изменения их физических свойств, а значит, и оптимизации характеристик устройств на их основе.

Широкая область применения таких датчиков связана с использованием различных свойств магнитного поля для их реализации. Виды датчиков магнитного поля:

- использующие эффект Виганда;
- магниторезистивные;
- индукционные;
- работающие на эффекте Холла;
- магнитоэлектрические.

Магнитоэлектрические датчики

Рассмотрим конструкцию МЭ-датчика [2]. Конструкция представляет собой структуру, состоящую из тонкой пластины пьезокерамики ЦТС ($0{,}9[Pb(Zr0{,}52Ti0{,}48)O_3]–0{,}1[Pb(Zn1/3Nb2/3)O_3]$ + 3 mol%MnO_2) и двух металлических магнитострикционных обкладок из аморфного магнито-мягкого сплава на основе железа – метглас (FeBSiC). Слоёв метгласа может быть в одной обкладке не один, а несколько, в зависимости от необходимой чувствительности.

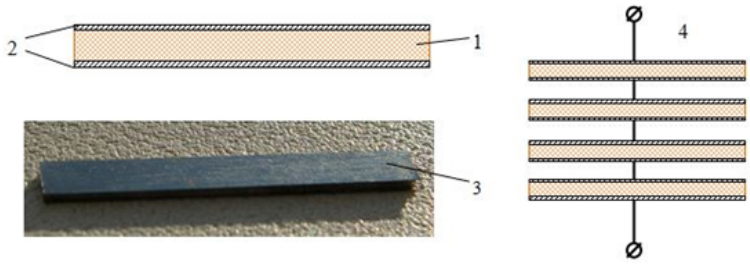


Рисунок 3. Конструкция МЭ-датчика:
1 – ЦТС; *2* – метглас; *3* – МЭ-датчик; *4* – составной МЭ-датчик

Обкладки метгласа соединяются с ЦТС посредством клеевого соединения. Клей подбирается из соображений технологичности и надёжности. Оптимальным клеем является эпоксидный двухкомпонентный быстросохнущий клей. Толщина клеевого соединения должна по возможности стремиться к минимуму и не превышать нескольких микрон. Толщина клея определяется в основном технологией склеивания. Хорошие результаты показывает технология прессования.

Достоинства приборов магнитоэлектрической системы: высокая чувствительность; большая точность; относительно небольшое влияние внешних магнитных полей; малое потребление энергии; малое влияние температуры; равномерность шкалы; простота и дешевизна; высокая надёжность за счёт возможности съёма выходного сигнала без скользящих контактов; возможность питания от промышленной сети частотой 50 Гц; возможность получения достаточно высокой мощности выходного сигнала.

Экспериментальные и теоретические результаты

Ниже на рисунке показаны экспериментальные и теоретические зависимости МЭ-коэффициента (точки – экспериментальные данные, сплошная линия – теоретическая зависимость) по напряжению от частоты переменного магнитного поля f, *кГц* для структур Ni/ЦТС и Метглас/Ni/ЦТС.

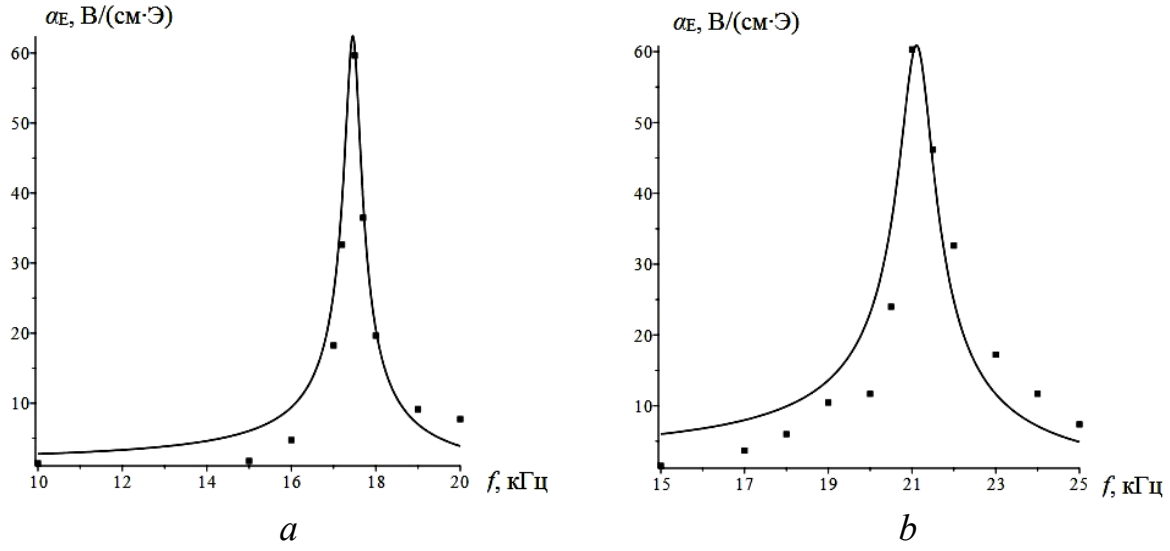


Рисунок 4. Зависимость МЭ-коэффициента по напряжению от частоты переменного магнитного поля для образца с толщиной никеля: *a* – 0,07 мм, *b* – 0,15 мм. Подмагничивающее поле 55 Гс.

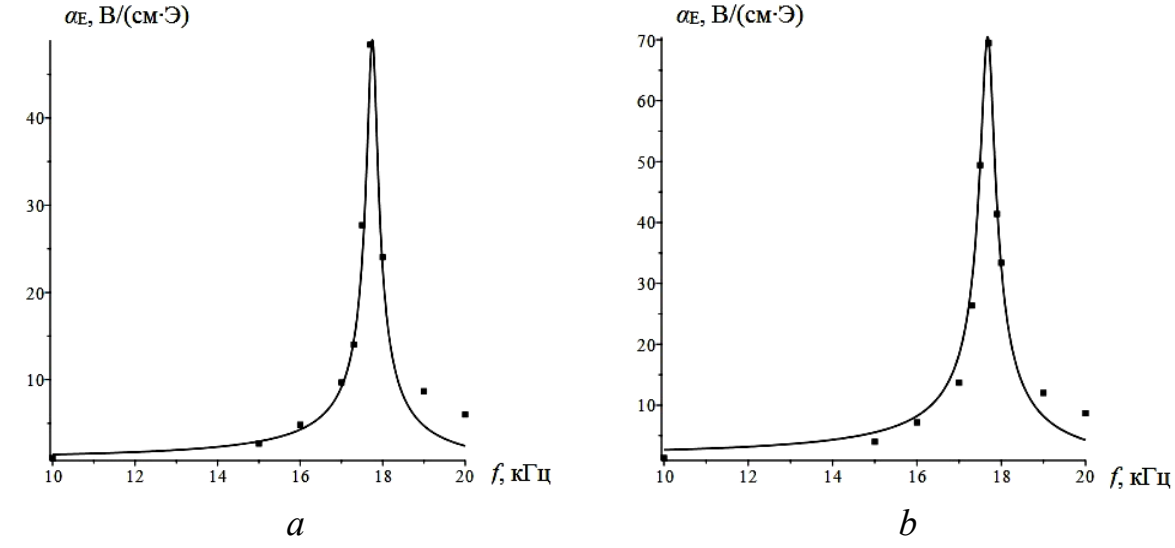


Рисунок 5. Зависимость МЭ-коэффициента по напряжению от частоты переменного магнитного поля для асимметричного образца с метгласом и толщиной никеля 0,07 мм: *a* – без внешнего подмагничивающего поля, *b* – с внешним подмагничивающим полем 55 Гс

Теоретический МЭ-коэффициент по напряжению был рассчитан по формуле:

$$\alpha_E = \frac{E_3}{h_1} = \frac{2^m t^2 p_t^2 \langle q_{11} \rangle \langle h_{31} \rangle \langle \beta_{33}^S \rangle (r_1 r_4 + r_2 r_3 - r_2 - r_4)}{t\left[\langle c_{11} \rangle k d t^3 \langle \beta_{33}^S \rangle (1 - r_1 r_3) - 2^p t^3 \langle h_{31} \rangle^2 (r_1 r_4 + r_2 r_3 - r_2 - r_4) \right]}.$$

Результаты проведённых исследований подтверждают, что на частотах около изгибного резонанса наблюдаются более лучшие характеристики МЭ-коэффициента у асимметричных структур. В исследованных градиентных МЭ-структурах удалось уменьшить величину подмагничивающего поля с 55 Гс до 0 Гс. Исследованные структуры могут использоваться для разработки датчиков положения.

Конструкция

Корпус датчика представляет собой полый цилиндр. Опорная балка расположена внутри цилиндра, жёстко закреплена с обеих сторон. МЭ-элемент расположен на панели. Постоянные магниты (NdFeB) с размерами 6 × 3 × 1 мм закреплены под МЭ-элементом в нижней части корпуса. Внутри корпуса – печатная плата с компаратором. Датчик устанавливается в непосредственной близости от синхронного диска на расстоянии около 1 мм. Форма и размеры датчика полностью соответствуют аналогу, изготовленному по индукционному принципу VC-CS 0112. Это позволяет заменить один датчик другим без каких-либо существенных изменений в монтажной конструкции. Преимущество конструкции данного датчика заключается в относительно низкой стоимости из-за низкой цены комплектующих. Конструкция МЭ-датчика запатентована.

Кроме того, асимметричные магнитоэлектрические структуры обладают более высоким магнитоэлектрическим эффектом по сравнению с симметричными магнитоэлектрическими структурами на низких частотах и в области электромеханического резонанса изгибной моды колебаний. Сильное влияние также оказывает технология изготовления МЭ-структур и используемые при этом материалы.

Принцип действия датчика положения на основе слоистой пъезо-магнитострикционной структуры заключается в следующем: датчик положения неподвижно закреплён на ровной поверхности или в точке контроля (движущаяся часть изготовлена из материала, имеющего выраженные магнитные свойства, например, стали или никеля, допустимо использование постоянного магнита); как только движущаяся магнитная деталь приближается к МЭ-элементу, в котором за счёт магнитострикционного эффекта возникает механическое напряжение, передающееся на пъезофазу структуры. Что вызывает образование заряда

на поверхности МЭ-элемента за счёт пъезоэффекта. Физически наблюдается скачок напряжения на обкладках структуры, это фиксируется измерительным прибором, а затем обрабатывается в электронной схеме по определённому алгоритму.

Датчики могут быть расположены на разном удалении от движущейся части. Они не требуют питания и поэтому энергоэффективны. Наилучшее применение прогнозируется в робототехнике.

Заключение

В ходе работы были проведены исследования МЭ-эффекта в асимметричных и симметричных МЭ градиентных структурах на основе Метглас/Ni/ЦТС. В результате проведённых исследований подтверждено, что на частотах вблизи изгибного резонанса наблюдаются значительно лучшие характеристики МЭ-коэффициента у асимметричных структур. Исследованные структуры были применены для разработки датчиков положения. Учитывая результаты существующих прогнозов в сфере развития устройств виртуальной реальности, датчики положения будут приобретать всё большую значимость производства и усовершенствования. Данные устройства уже начали постепенно внедряться в различные сферы человеческой жизнедеятельности, что привело к потребности в энергоёмких и бесконтактных датчиках.

В заключение следует отметить, что разработка датчиков положения в настоящее время относится к числу таких научно-практических направлений, для которых характерно постоянное обновление и совершенствование. Можно предвидеть, что уже в ближайшем будущем в этой области исследований мы будем свидетелями многих интересных технологий и новых методов.

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=5367 (дата обращения: 19.02.2020).
2. Алейников, А.Ф., Гридчин, В.А., Цапенко, М.П. Датчики (перспективные направления развития): учеб. пособие / под ред. М.П. Цапенко. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2001 г. С. 60–91.

Статья рекомендована к печати
доктором ф.-м. наук, профессором Петровым Р.В.

УДК 621.382.323
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.15

ФОРМИРОВАНИЕ ИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СЛОЁВ GaN, ЛЕГИРОВАННЫХ КРЕМНИЕМ И МАГНИЕМ

Боченков Г.М.[1,2], Фёдоров Д.Г.[2]

[1]Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
[2]АО «ОКБ-Планета»
Email: gbochenkov@yandex.ru

FORMATION OF ION-DOPED GaN LAYERS DOPED WITH SILICON AND MAGNESIUM

Bochenkov G.M.[1,2], Fedorov D.G.[2]

[1]Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
[2]JSC OKB-Planeta
Email: gbochenkov@yandex.ru

Аннотация. В рамках данной работы было проведено исследование структур GaN p- и n^+-типа после ионной имплантации магнием и кремнием. В работе проведены измерения структур нитрида галлия и получены значения электрофизических параметров.
Ключевые слова: *ионная имплантация, нитрид галлия, магний, кремний.*

Abstract. In the framework of this work, we studied the p- and n^+-type GaN structures after ion implantation with magnesium and silicon. In this work, we measured the structures of gallium nitride and obtained the values of electrophysical parameters.
Keywords: *ion implantation, gallium nitride, magnesium, silicon.*

1. Введение

Нитрид галлия (GaN) обладает совокупностью свойств, позволяющих получать на его основе приборы, превосходящие по параметрам приборы на классических полупроводниках. Использование нитридных полупроводников в областях высокотемпературной, высоковольтной, высокочастотной и сильноточной электроники позволяет существенно расширить пределы работы полупроводниковой техники. Уникальное сочетание физических свойств, включающие большую ширину запрещённой зоны, высокую дрейфовую скорость насыщения электронов, высокое напряжение пробоя, высокую теплопроводность, высокую химическую и термическую стойкость позволяет рассматривать нитридные полупроводники как наиболее перспективные материалы для создания микроприборов нового поколения. Именно с внедрением GaN в настоящее время связывается прорыв в СВЧ- и сильноточной электронике [1].

Целью данной работы является формирование и исследование p- и n^+-слоев в GaN, полученных с помощью ионной имплантации Mg и Si.

2. Результаты экспериментальных исследований

Исследуемые образцы GaN были выращены методом MOCVD (химическое осаждение из газовой фазы с использованием металлорганических соединений) на сапфировой подложке диаметром 2 дюйма. Толщина высокоомного активного слоя GaN составляла 2,5 мкм, буферного слоя – 1,5 мкм. Объёмная концентрация носителей заряда в исходных образцах, по данным холловских измерений, составила $1 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$. На рисунке 1 представлена исходная эпитаксиальная структура GaN.

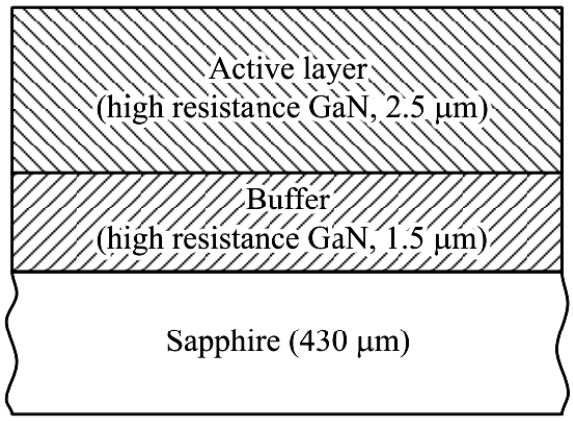


Рисунок 1. Исходная эпитаксиальная структура GaN

Для успешного использования в силовой микроэлектронике гетероструктур на основе GaN ключевым является контролируемое формирование слоёв n^+- или p-типа. В этом аспекте технология ионного легирования является подходящим методом.

Имплантация Si^+ в GaN позволяет создавать сильнолегированные n^+-области, на которых можно формировать омические контакты с малым сопротивлением.

Перед ионным легированием были просчитаны профили Si в GaN с помощью программы SRIM для двух режимов имплантации (50 кэВ, 100 кэВ). Результаты расчётов представлены на рисунке 2.

Из рисунка видно, что максимум концентрации при энергии 50 кэВ находится на глубине примерно 50 нм, при энергии 100 кэВ на 90 нм. Предпочтительней использовать режим легирования с энергией 50 кэВ, так как примесь располагается близко к поверхности.

По результатам моделирования ионная имплантация ионов Si^+ проводилась с энергией 50 кэВ. Доза имплантации составляла 1×10^{15}см$^{-2}$. Для минимизации эффекта каналирования образцы GaN располагались под углом 7° к падающему лучу.

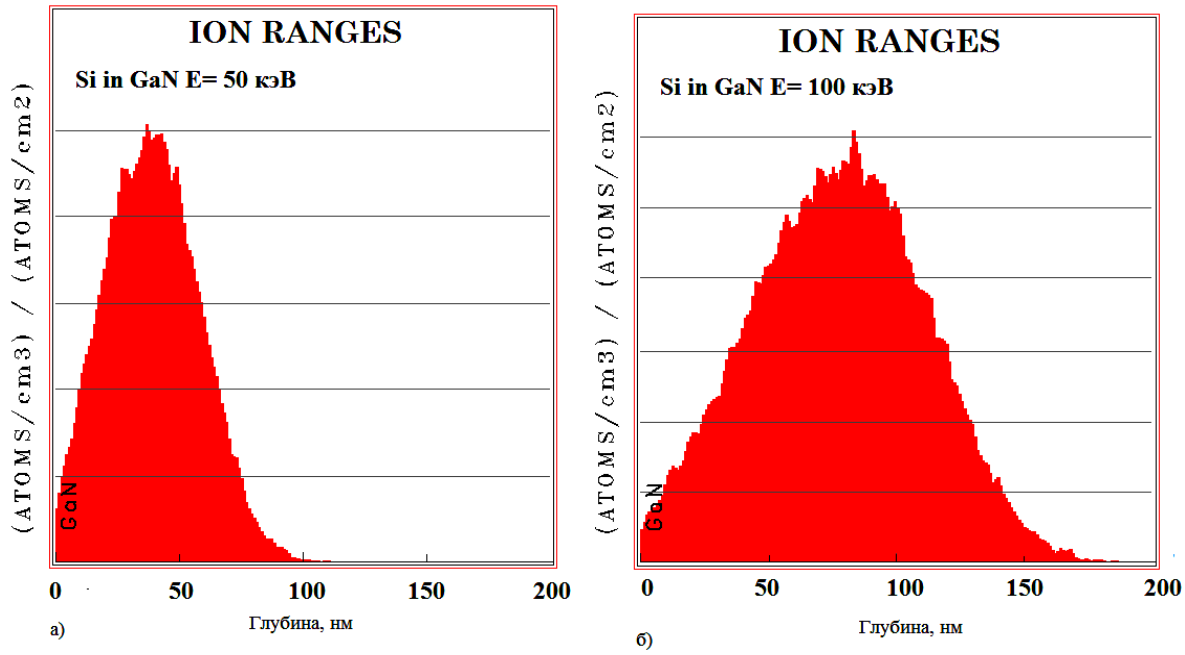


Рисунок 2. Распределение Si в GaN при разных энергиях внедряемых ионов:
а) 50 кэВ; б) 100 кэВ

После проведения процесса ионной имплантации необходим высокотемпературный отжиг с применением защитных диэлектрических покрытий. Отжиг ионно-имплантированных слоёв приводит к устранению дефектов в полупроводниковой пластине, а также отжиг необходим также для перевода примесных ионов в электрически активное состояние.

Фотонный отжиг проводился в течение 1 минуты при температуре 1250 °С в среде азота. В качестве защитного диэлектрического покрытия при отжиге использовалась плёнка SiO_2 толщиной 0,4 мкм. Выбор данного диэлектрика обусловлен высокой термической стойкостью.

Далее были замерены электрофизические параметры ионно-легированных слоёв GaN. Для измерения эффекта Холла использовалась установка HMS-5000/0/55 T с магнитостатическим магнитом. Так как столик установкиимеет малые габариты, пластина GaN была разрезана на кусочки размером 6×6 мм. В дальнейшем по углам образца были сформированы контакты вплавлением In в образец GaN.

При измерении электрофизических параметров образцов GaN коэффициент Холла оказался отрицательным, что свидетельствует об электронной электропроводности. Измеренные концентрация и подвижность основных носителей заряда оказались равны $4{,}46 \cdot 10^{14}$ см$^{-2}$ и 26 см^2/ В·с, что говорит о сравнительно высокой активации внедрённой примеси, примерно 44%.

Далее были проведены работы по формированию ионно-легированных слоёв GaNp-типа.

Для формирования слоёв p-типа GaN чаще всего используют Mg. Ионная имплантация Mg^+ в GaN имеет различные применения для

формирований приборов на GaN. Например, имплантация Mg+ в GaN применяется для формирования инвертированной p-GaN области для получения диода на p-n переходе. Также внедрение Mg в GaN нашло применение для формирования охранных колец структур диодов Шоттки для повышения пробивного напряжения.

Перед ионным легированием были просчитаны профили Mg с помощью программы SRIM для двух режимов имплантации (50 кэВ, 100 кэВ). Результаты моделирования GaN представлены на рисунке 3.

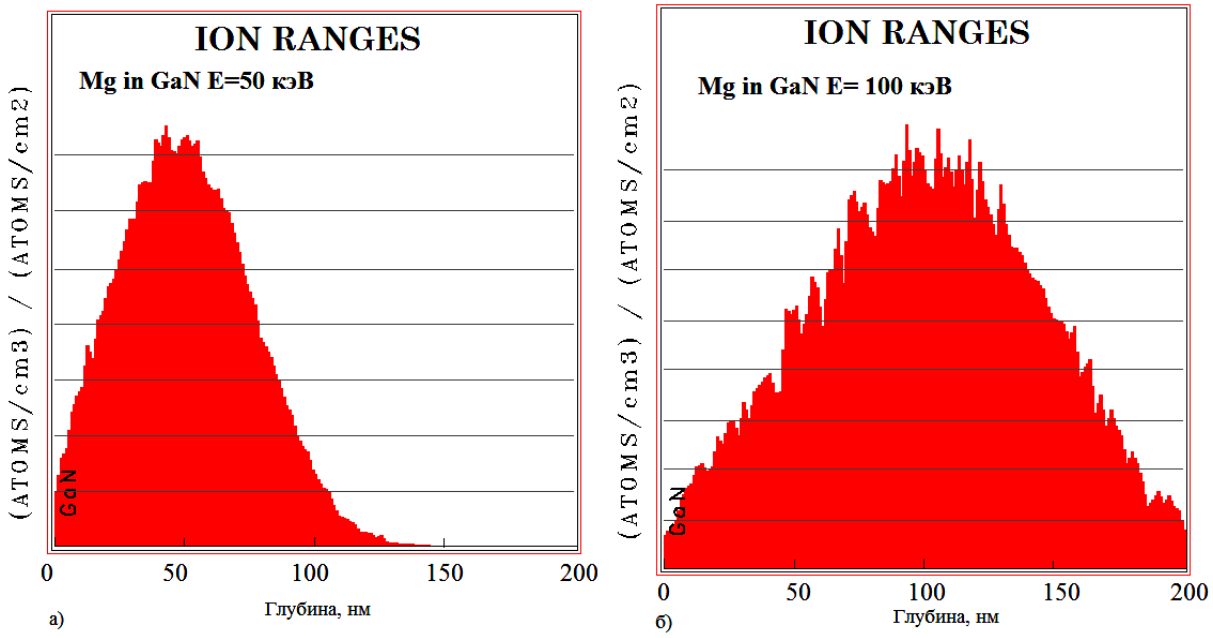


Рисунок 3. Распределение Mg в GaN при разных энергиях внедряемых ионов:
а) 50 кэВ; б) 100 кэВ

Исходя из результатов моделирования, при энергии E = 50 кэВ пик концентрации Mg находится на глубине 50 нм, при E = 100 кэВ − на глубине 100 нм.

Ионная имплантация Mg проводилась в эпитаксиальные высокоомные нелегированные слои GaN с энергией 50 кэВ. Доза имплантации составляла 5×10^{15} см$^{-2}$. Для минимизации эффекта каналирования образцы GaN располагались под углом 7° к падающему лучу. После имплантации образцы GaN, для активации внедрённой примеси, подвергались термическому отжигу при температуре 1100 °C в течение 30 минут. В качестве защитного диэлектрического покрытия при отжиге использовалась плёнка Si_3N_4 толщиной 0,35 мкм. Выбор этого покрытия обусловлен тем, что данная плёнка не имеет в своем составе кислорода, который является донором для GaN, поэтому может вносить дополнтельную концентрацию электронов, которуюсложно перекомпенсировать магнием. При этом, при выборе Si_3N_4 в качестве защитного диэлектрического покрытия, возникает проблема с удалением

плёнки с поверхности образца. Полное удаление плёнки с поверхности GaN происходило только при травлении в сильной кислоте HNO_3+3HCl («царской водке»).

Следующим этапом после снятия плёнки Si_3N_4 стало формирование контактов на ионно-легированный образец. Была разработана методика формирования контактов экспресс-методом. В качестве металла для контактов использовался Zn (цинк). Данный металл является омическим контактом к p-GaN, кроме того, имеет низкую температуру плавления.

Перед нанесением на образец металл был нагрет до температуры плавления (450 °C). К тому же, для увеличения адгезии, сам образец был нагрет до температуры 350 °C. Для нанесения расплавленного металла на полупроводник использовалась паяльная станция с тонким жалом, которое предварительно было обезжирено в этиловом спирте. Расплавленный цинк с помощью жала вплавлялся по углам образца в виде точечных контактов.

После нанесения контактов для измерения электрофизических параметров на образцах GaN были проведены холловские измерения. Методика измерения аналогична той, что описывалась для n^+-типа.

В связи с высоким омическим сопротивлением контактов металл–полупроводник холловские измерения оказались недостоверны, поэтому было принято решение применить послойное травление, но так как нитрид галлия является химически стойким, то использовался метод электрохимического вольт-фарадного профилирования, который позволяет получить информацию о распределении носителей заряда по глубине. Суть метода заключается в послойном травлении образца с нанесением контактов на слои для измерения вольт-фарадных характеристик, с помощью которых в дальнейшем можно получить информацию о концентрации основных носителей заряда по глубине полупроводника.

Так как нитрид галлия обладает высокой стойкостью к химическому травлению при комнатной температуре и травится только в расплавах щелочей и некоторых солей, то единственным способом, дающим приемлемую скорость травления GaN при комнатной температуре, является электрохимическое травление в растворах щелочей. Из-за большой плотности дефектов в слоях GaN возникают сложности с электрохимическим травлением. В области дефектов происходит локальное изменение тока травления при использовании традиционного метода анодного растворения (рисунок 3, *а*). При этом происходит неоднородное травление и образование микроскопических «вискеров» на поверхности слоя. Образование таких «вискеров» увеличивает эффективную область измерения, приводя к постепенному увеличению измеренной концентрации по мере травления. Избежать вышеуказанных недостатков позволяет метод импульсного травления [2].

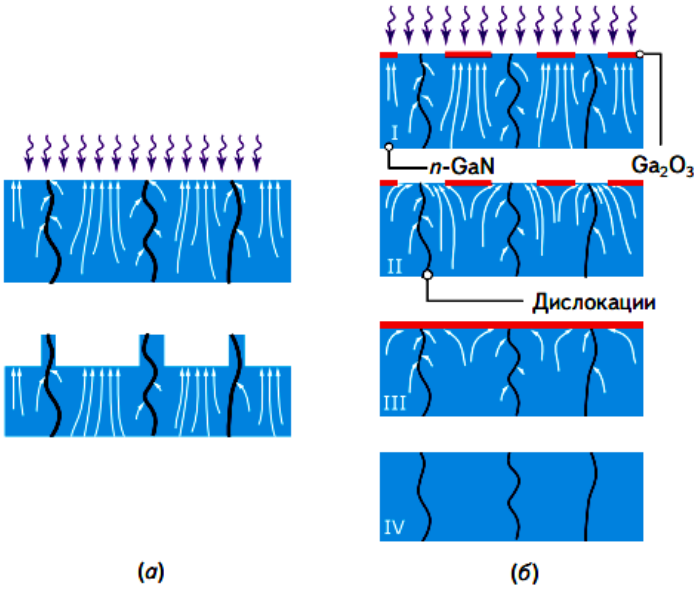


Рисунок 4. Особенности электрохимического травления слоя GaN:
а) традиционное травление; б) импульсное травление

На рисунке 5 показан эффект импульсного травления при ECV-измерениях эпитаксиального GaN. Гладкость поверхности значительно улучшилась при применении импульсного травления по сравнению с традиционным травлением [2].

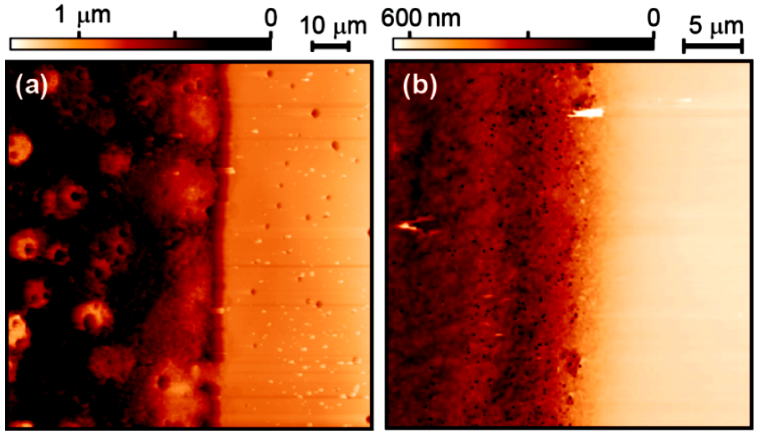


Рисунок 5. АСМ-сканирование краевой травильной ямы для эпитаксиального p-GaN:
а) традиционное травление; б) импульсное травление

С помощью метода электрохимического вольт-фарадного профилирования информацию о концентрации основных носителей заряда также не удалось получить. Для того, чтобы убедиться, что в образце GaN присутствует примесь Mg, был проведён анализ ВИМС (вторичная ионная масс-спектроскопия).

ВИМС является одним из физических методов исследования поверхности твёрдых тел. Его принципиальная схема представлена на рисунке 6. Анализ образца проводится в условиях высокого вакуума.

Образец бомбардируется пучком первичных ионов с энергией 0,1–100 кэВ. Сталкиваясь с поверхностью, первичные ионы выбивают вторичные частицы, часть из которых (обычно менее 5%) покидают поверхность в ионизированном состоянии. Эти ионы фокусируются и попадают в масс-анализатор, где они разделяются в соответствии с отношением их массы к заряду. Далее они попадают на детектор, который фиксирует интенсивность тока вторичных ионов и передаёт информацию на ЭВМ [3].

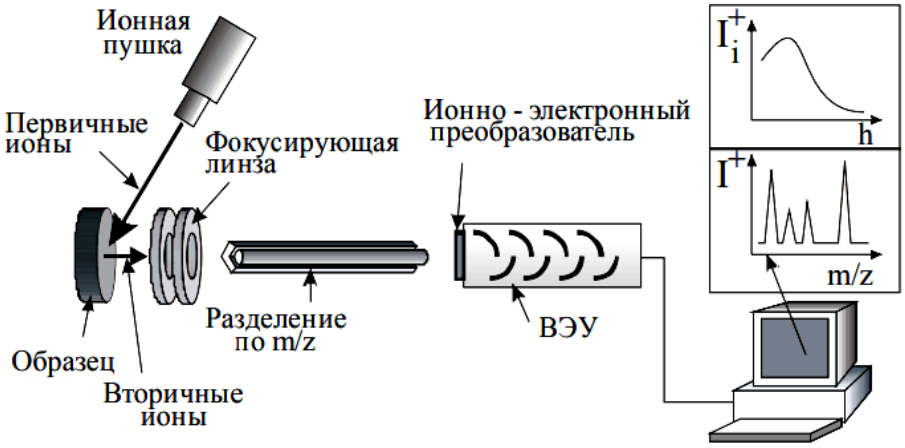


Рисунок 6. Принципиальная схема ВИМС

По данным результатов анализа ВИМС был построен график распределения Mg в GaN, который представлен на рисунке 7. Из этого графика следует, что Mg присутствует в эпитаксиальных слоях нитрида галлия и пик концентрации магния находится на глубине примерно 100 нм.

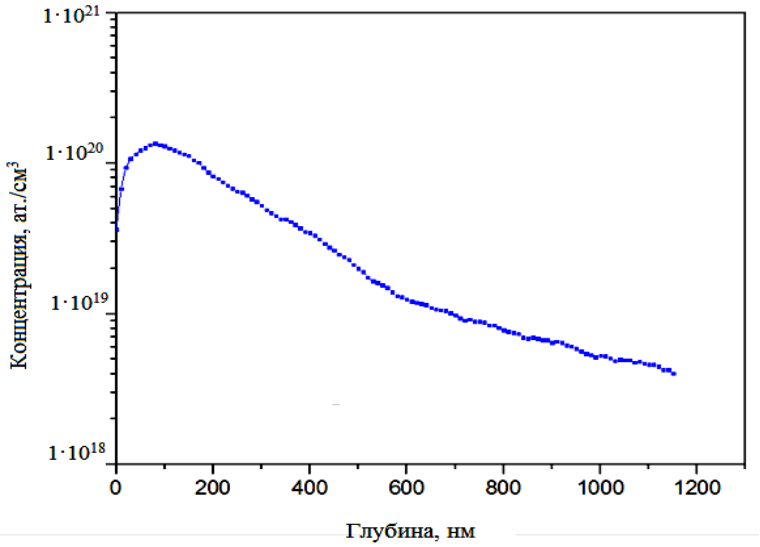


Рисунок 7. Распределение Mg в GaN

Кроме анализа методом ВИМС, информацию о распределении примеси после ионной имплантации можно получить расчётным методом, а именно с помощью распределения Гаусса (формула 1). Недостатком

этого метода является то, что в данной формуле не учитываются многие факторы, которые могут повлиять на распределение примеси. Например, не учитываются такие факторы, как наклон образца по отношению к падающему лучу или плотность легируемого материала.

$$N_x = \frac{N_s}{\Delta R_x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-R_x)^2}{2 \cdot \Delta R_x{}^2}\right], \quad (1)$$

где R_x – проекция пробега иона на направление x; ΔR_x – среднеквадратичное отклонение величины R_x; N_s – поверхностная концентрация.

Поверхностная концентрация может быть определена по следующей формуле:

$$N_s = \frac{Q_{\text{обл}}}{q}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{обл}}$ – доза облучения, Кл·см$^{-2}$; q – заряд электрона, Кл [4].

С помощью программы Mathcad, используя формулу (1), было посчитано распределение концентрации и построен график, изображённый на рисунке 8:

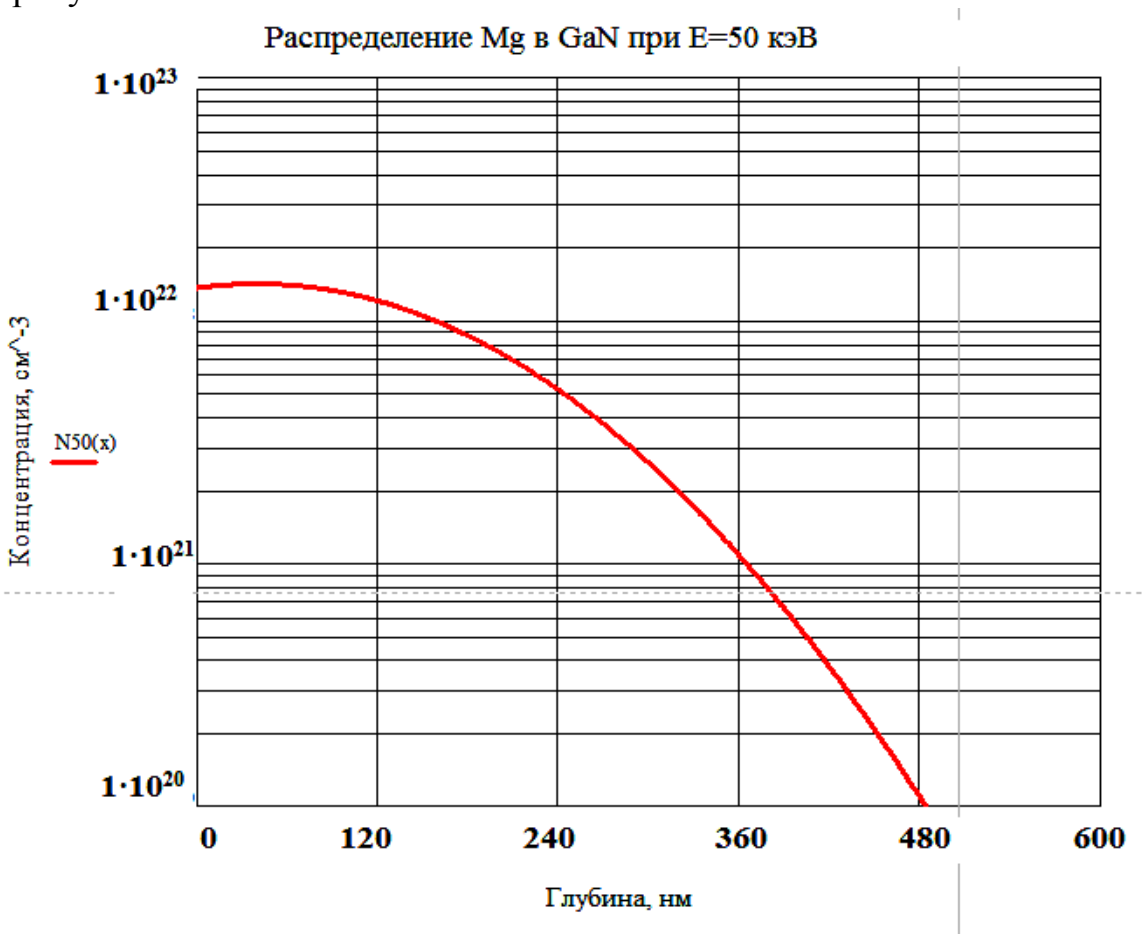


Рисунок 8. График распределения примеси Mg в GaN

Из графика видно, что на глубине примерно 100 нм находится пик концентрации, который примерно равен $1 \cdot 10^{22} см^{-3}$. Данный результат совпадает с результатом, который был получен методом ВИМС.

В данной работе были сформированы ионно-легированные слои p- и n^+- GaN с помощью внедрения ионов Si^+ и Mg^+ для n-типа и p-типа, соответственно. Образцы GaN n-типа были отожжены с помощью фотонного отжига в течение минуты при температуре 1250 °C в среде азота. В качестве защитного диэлектрического покрытия при отжиге использовалась плёнка SiO_2 толщиной 0,4 мкм. Далее на образцах были сформированы контакты для измерения электрофизических параметров, величина концентрации равна $4{,}46 \cdot 10^{14}$ $см^{-2}$, а подвижность 26 $см^2/ В \cdot с$.

Образцы GaN p-типа были отожжены с помощью термического отжига при температуре 1100 °C в течение 30 минут. В качестве защитного диэлектрического покрытия при отжиге использовалась плёнка Si_3N_4 толщиной 0,35 мкм, после чего также были нанесены четыре точечных контакта и проведены холловские измерения, с помощью которых не удалось получить значения концентрации и подвижности основных носителей заряда. С помощью метода электрохимического вольт-фарадного профилирования электрофизических параметров получить также не удалось. Вероятно, это связано с некачественными сформированными омическими контактами либо с размытием профиля Mg при высокотемпературном отжиге.

Также методом ВИМС был получен профиль Mg в GaN, который показал, что пик концентрации находится на глубине примерно 100 нм, который совпал с расчётным методом.

Литература

1. Использование технологии микропрофелирования при формировании приборных структур на нитриде галлия / А.В. Желаннов, А.С. Ионов, А.В. Петров, Б.И. Селезнёв // Нано- и микросистемная техника. 2017. № 7. С. 399–405.

2. Яковлев, Г.Е., Фролов, Д.С., Зубков, В.И. Диагностика GaAs pHEMT гетероструктур методом электрохимического вольт-фарадного профилирования // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2016. Т. 1. С. 15–18.

3. Фирменс, Л. Электронная и ионная спектроскопия твёрдых тел: коллективная монография / ред. Л. Фирменс, Дж. Венник, В. Декейсер. М.: Мир, 1981. С. 345–464.

4. Попов, В.Ф., Горин, Ю.Н. Процессы и установки электронно-ионной технологии: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1988. 255 с.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Селезнёвым Б.И.

УДК 621.396.96
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.16

ОБРАБОТКА АМПЛИТУДНО-ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ С ВЗВЕШИВАНИЕМ СЖАТЫХ СЕГМЕНТОВ

Бурбах А.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s225169@std.novsu.ru

PROCESSING WITH WEIGHING OF COMPRESSED SEGMENTS OF THE AMPLITUDE- AND PHASE-SHIFT KEYING SIGNALS

Burbakh A.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s225169@std.novsu.ru

Аннотация. В статье рассматривается корреляционно-фильтровая обработка амплитудно-фазоманипулированных сигналов с взвешиванием сжатых сегментов. При обработке отражённого сигнала предложено выполнять интерполяцию с одновременной нормировкой сжатых сегментов. В результате слабый эхо-сигнал быстродвижущейся цели лучше выделяется из аддитивной суммы с мощным сигналом, отражённым с неподвижного или медленно движущегося объекта, расположенного на той же дальности. Представлены результаты моделирования обработки сигналов. Получены оценки отношения «сигнал/(шум+помеха)».
Ключевые слова: *амплитудно-фазоманипулированный сигнал, боковые лепестки, оконные функции, корреляционно-фильтровая обработка, сегментная корреляционно-фильтровая обработка.*

Abstract. In the paper, a correlation-filter processing with weighing of compressed segmentsof the amplitude- and phase-shift keying signals is considered. It is proposed to perform interpolation with simultaneous normalization of compressed segments when the reflected signalisprocessed. As a result, a weak echo signal of a fast-moving target is better distinguished from an additive sum with a powerful signal reflected from a stationary or slow-moving object located at the same range. The results of modeling are presented. Estimates of the “signal/(noise+interference)” ratio are obtained.
Keywords: *amplitude- and phase-shift keying signals, side lobe, window functions, correlation-filter processing, segment correlation-filter processing.*

Введение

Сфера применения радиолокационной техники в настоящее время очень широка, но основным её назначением до сих пор остаётся поиск и обнаружение целей. Решение поставленных задач радиолокационные станции (РЛС) должны обеспечивать в сложной помеховой обстановке. В

частности, остро стоит проблема селекции быстро движущихся точечных целей на фоне неподвижных или медленно движущихся крупных объектов.

Обычно обнаружение движущихся целей производится импульсно-доплеровскими РЛС с высокой или средней частотой зондирующих импульсов. Применение оконных функций во время корреляционно-фильтровой обработки когерентной пачки импульсов является эффективным методом улучшения селекции радиолокационных целей по скорости [1].

Однако импульсно-доплеровские РЛС обладают существенными недостатками: неоднозначностью измерения дальности и «слепыми» дальностями. Для устранения неоднозначности измерения дальности закон модуляции зондирующих импульсов изменяют от импульса к импульсу. Изменение от зондирования к зондированию частоты излучения импульсов позволяет снизить вероятность пропуска цели из-за «слепых» дальностей.

Полностью лишены данных недостатков РЛС с псевдослучайным законом амплитудно-фазовой манипуляции (АФМ) зондирующего сигнала на длительности когерентного накопления.

АФМ-сигналы обладают кнопочной формой функции неопределённости (ФН) с практически равномерным уровнем боковых лепестков в плоскости «задержка–частота». Это обеспечивает однозначное измерение дальности и скорости обнаруживаемых целей многоканальным корреляционным приёмником в широком диапазоне временных и частотных сдвигов отражённого сигнала. Ограниченный диапазон частотно-временных сдвигов обнаруживаемых сигналов позволяет выполнить их сегментную корреляционно-фильтровую обработку.

В реальной обстановке потенциальная чувствительность приёмника РЛС с квазинепрерывным режимом излучения и приёма АФМ-сигналов ограничена воздействием мешающих отражений, которые создают в корреляционных каналах обработки помехи по боковым лепесткам ФН-сигнала. Улучшение характеристик обнаружения и разрешения сигналов достигается увеличением базы зондирующего сигнала, т.е. за счёт увеличения длительности сигнала и/или расширения его спектра.

Применение оконных функций во время сегментной корреляционной обработки отражённых АФМ-сигналов снижается из-за «пауз», расположение которых на длительности когерентного накопления определяется псевдослучайным законом амплитудной манипуляции, а также коммутацией приёмного тракта на момент излучения очередного зондирующего фазоманипулированного импульса. Вероятность появления «пауз» при обработке АФМ-сигнала с фиксированным временным сдвигом определяется его параметрами: средней скважностью и коэффициентом кратности длительностей импульсов амплитудной и фазовой манипуляций, а также параметрами обработки.

Для решения описанной проблемы необходим эффективный алгоритм взвешивания, учитывающий структурные свойства АФМ-сигнала.

Целью настоящих исследований стала разработка модификации алгоритма сегментной корреляционно-фильтровой обработки АФМ-сигналов, реализующего эффективное взвешивание сжатых сегментов [3].

Алгоритм обработки

Необходимость повышения помехоустойчивости РЛС и достоверности обнаружения целей за счёт увеличения базы зондирующего АФМ-сигнала ведет к возникновению проблем с технической реализацией многоканальных устройств обработки. В связи с этим выполняют сегментную корреляционно-фильтровую обработку АФМ-сигнала.

Алгоритм сегментной корреляционно-фильтровой обработки сигналов можно представить в виде двух этапов. На первом этапе обработки в заданном диапазоне задержек осуществляется сжатие сегментов АФМ-сигнала без учёта возможного смещения доплеровской частоты в обрабатываемом сигнале. На втором этапе для каждого элемента разрешения по задержке над результатами корреляционной обработки всех сегментов сигнала выполняется доплеровская фильтрация на основе БПФ.

Отметим, что длительность сегмента определяется максимальной скоростью обнаруживаемой цели, а следовательно, максимальным доплеровским сдвигом частоты отражённого от неё сигнала.

Функциональная схема сегментной корреляционно-фильтровой обработки представлена на рисунке 1.

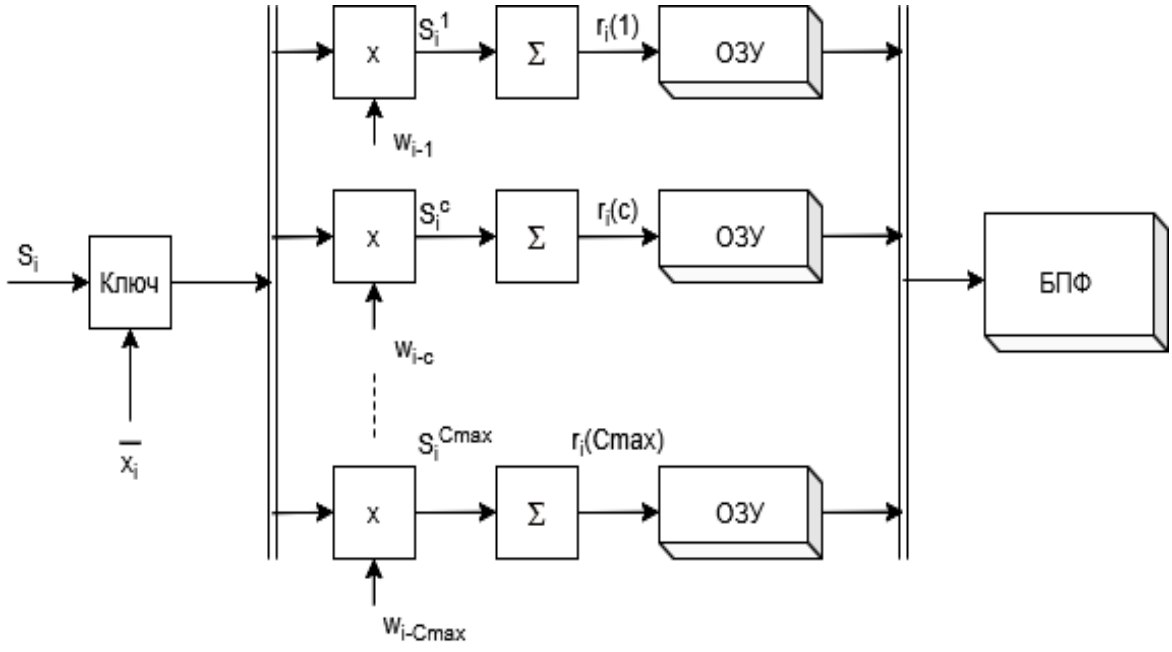
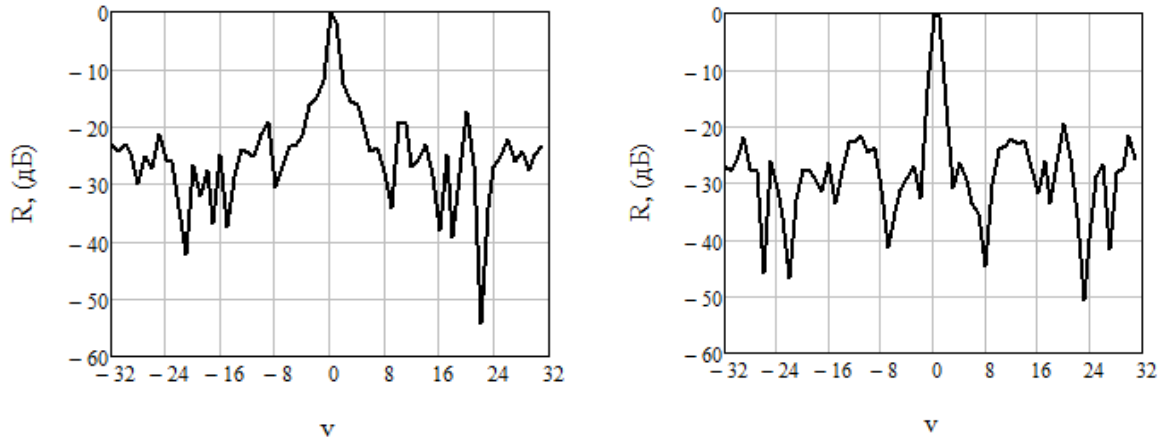


Рисунок 1. Функциональная схема сегментной корреляционно-фильтровой обработки сигналов

Характерный вид сечений функции отклика при сегментной корреляционно-фильтровой обработке аддитивной смеси полезного сигнала (доплеровская частота $F_c = 20/T$), помехи и шума с взвешиванием и без взвешивания оконной функцией Хемминга, представлены на рисунке 2, *а* и *б* соответственно (при длине АФМ-сигнала N = 2^{16}, скважности Q = 5, соотношении длительностей импульсов амплитудной и фазовой манипуляции kx = 16, длине сегмента Ns = 1024).



а) б)

Рисунок 2. Сечения функции отклика при сегментной корреляционно-фильтровой обработке АФМ-сигнала с параметрами N = 216, Q = 5, kx = 16, Ns = 1024

При сравнении представленных результатов моделирования (таблица 1) можно заметить, что среднеквадратическое отклонение (СКО) боковых лепестков ($\overline{R}$) уменьшилось на 3,3 дБ и отношение «сигнал/(шум+помеха)» (q) при обработке с оконной функцией незначительно увеличилось на 1,1 дБ, что, в свою очередь, не даёт явного выигрыша при обнаружении полезного сигнала на фоне помехи.

Таблица 1. Результаты сегментной обработки АФМ-сигнала

Параметры АФМ-сигнала	$(Q \cdot k_x)/N_s$	q, дБ	$\overline{R}$, дБ	q, дБ (окно Хэмминга)	$\overline{R}$, дБ (окно Хэмминга)
Q=5, k_x=16	0,0078	5,7	–23,3	6,8	–26,6

Исследования по множеству реализаций АФМ-сигнала показали следующее: при постоянных заданных параметрах АФМ-сигнала $N = 2^{16}$, $N_s = 1024$ с увеличением kx и/или Q эффективность обнаружения полезного сигнала существенно снижается. Максимальный выигрыш в отношении «сигнал/(шум+помеха)», который можно получить при сегментной корреляционно-фильтровой обработке с взвешиванием, оконной функцией

достигается вне зависимости от значений Q, k_x и N_s не превышает 4 дБ, что недостаточно в реальной помеховой обстановке.

Также если проанализировать, как изменяются в квадратурах значения сжатых сегментов сигнала с некоторым доплеровским сдвигом частоты, то можно наблюдать (рисунок 3) значительный разброс значений, обусловленный различием в энергии сегментов. Для устранения флюктуации амплитудных значений целесообразно выполнить нормировку сжатых сегментов к значению энергии сегментов опорного АФМ-сигнала.

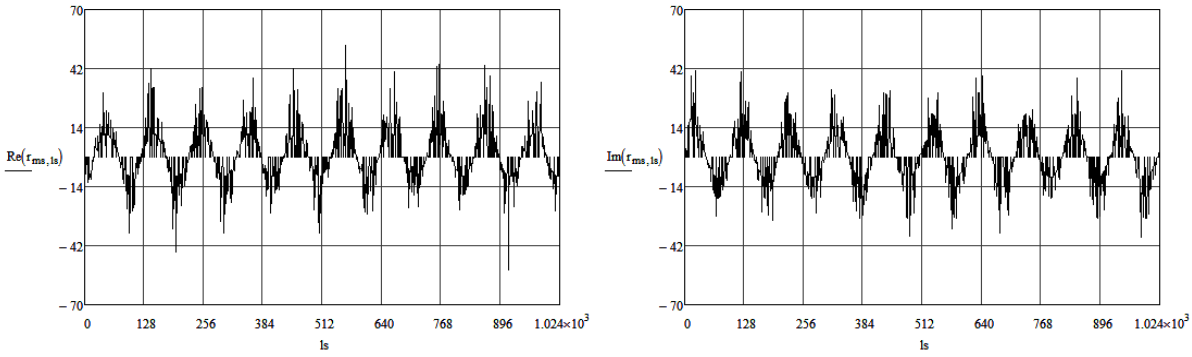


Рисунок 3. Квадратуры сжатых сегментов сигнала с флюктуацией значений

При обнаружении высокоскоростных целей, когда обработка ведётся в большом диапазоне доплеровских сдвигов частоты, а длина сегмента сопоставима с коэффициентом кратности длительностей дискретов амплитудной и фазовой манипуляций, в АФМ-сигнале могут встречаться сегменты, не содержащие ни одного фазоманипулированного импульса (рисунок 4). Если в таком случае ограничиться нормировкой, полезный сигнал не обнаруживается даже при взвешивании оконной функцией. Для устранения проблемы обработки «нулевых» сегментов после процедуры нормирования следует включить процедуру сглаживания (интерполяции) сегментов сигнала. С помощью процедуры интерполяции «нулевые» сигнальные сегменты могут быть устранены, что позволит эффективно использовать нормировку и взвешивание оконными функциями.

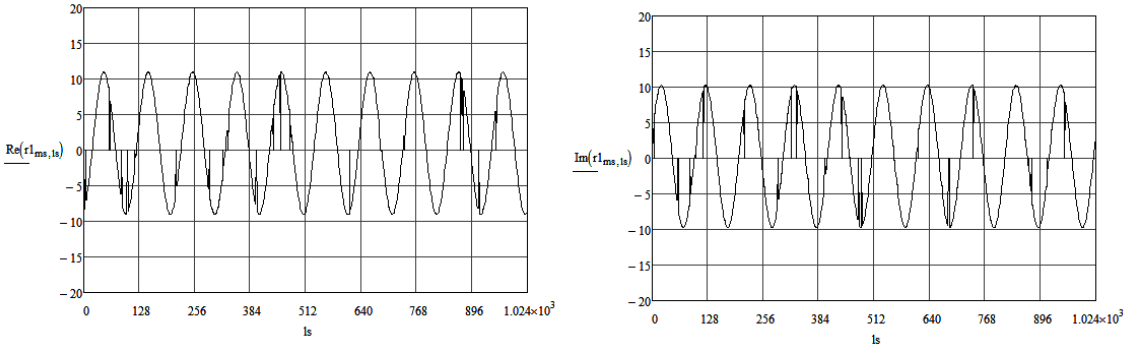


Рисунок 4. Квадратуры с «нулевыми» сигнальными сегментами

Конечной процедурой обработки АФМ-сигналов будет быстрое преобразование Фурье (БПФ) с применением оконных функций, которые позволят снизить уровень боковых лепестков спектральной обработки для возможности обнаружения целей с малой мощностью.

Функциональная схема алгоритма обработки АФМ-сигналов представлена на рисунке 5.

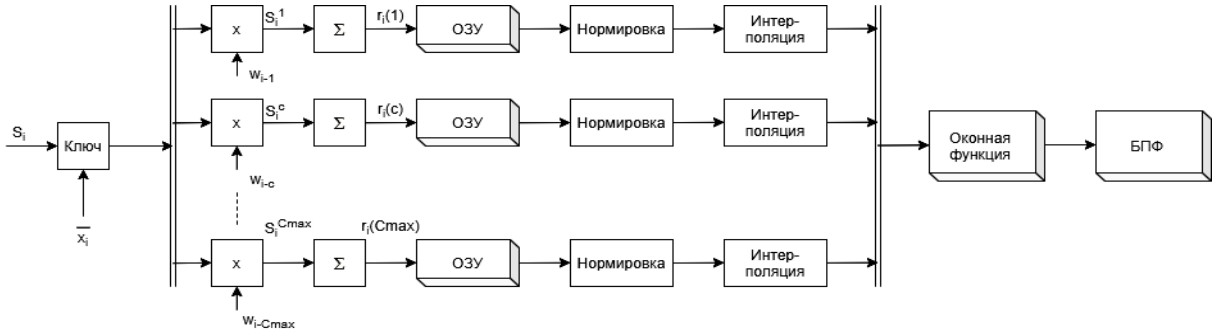


Рисунок 5. Функциональная схема алгоритма обработки АФМ-сигналов

Результаты моделирования

Эффективность взвешивания и интерполяции сжатых сегментов АФМ-сигнала демонстрируют частотные функции отклика устройства обработки, полученные при обработке аддитивной смеси эхо-сигналов неподвижной и движущейся целей и представленные на рисунке 6. Уровень собственных шумов приёмника мал и не оказывает существенного влияния на результаты обработки.

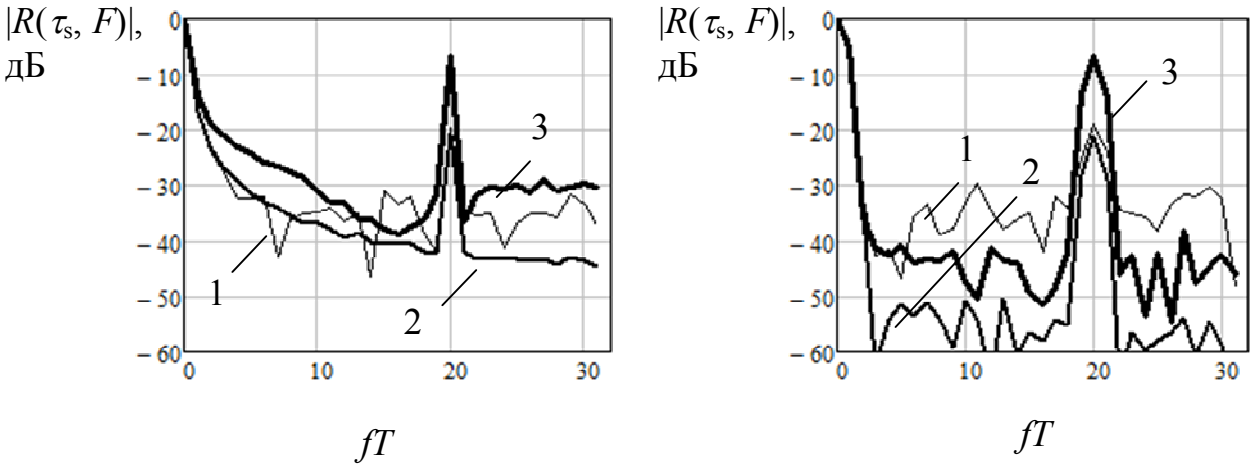


Рисунок 6. Результат моделирования:
а) с оконной прямоугольной функции; б) с окном Хэмминга

На рисунке 6 кривыми 1 отображён результат применения сегментной корреляционно-фильтровой обработки без применения

нормировки и интерполяции. Как можно заметить, эффективность применения оконных функций при определении слабой цели достаточно низка. Уровень помех, созданных отражениями от неподвижного объекта, высок. Отношение «сигнал/(шум+помеха)» составляет 9 дБ и 15 дБ при взвешивании прямоугольным окном и окном Хемминга соответственно.

Нормировка сегментов без применения интерполяции (кривые 2 на рисунке 6) позволяет увеличить отношение «сигнал/(шум+помеха)» до 16 дБ и 32 дБ соответственно. Интерполяция сжатых сегментов позволяет повысить эффективность применения оконных функций, повышая отношение «сигнал/(шум+помеха)» до 28 дБ и 40 дБ соответственно.

Выигрыш в отношении «сигнал/(шум+помеха)», $N = 2^{16}$, $Ns = 1024$ при применении окна Хэмминга представлен в таблице 2.

Таблица 2. Результаты обработки

Q	Диапазон kx	$\bar{\mu} = \frac{\bar{q}_{норм+окно}}{\bar{q}_{сегм.обр.}}$, дБ	$\bar{\mu} = \frac{q_{норм+окно}}{q_{норм}}$, дБ
3	1–64	17,5	16,1
5	1–32	18,9	16,4
7	1–16	17,8	15,7
9	1–16	20,6	15,4
11	1–16	19,5	14,1
13	1–8	20,8	16,9

Однако стоит отметить, что процедура интерполяции эффективна в случае единичных «нулевых» сегментов, когда $0,2 \le (Qx \cdot kx)/Ns \le 0,5$.

Когда $(Qx \cdot kx)/Ns < 0,2$, на длительности когерентного накопления нет ни одного «нулевого» сегмента. В этом случае при обработке АФМ-сигнала достаточно только процедуры нормировки.

Когда $0,5 < (Qx \cdot kx)/Ns$, на длительности когерентного накопления появляется большое число «нулевых» сегментов. При их следовании друг за другом эффективность интерполяции пропадает.

Таким образом, установлено соотношение параметров АФМ-сигнала, при котором целесообразно применение нормирования, нормирования и интерполяции во время корреляционно-фильтровой обработке АФМ-сигналов.

Выводы

При квазинепрерывном режиме их излучения и приёма АФМ-сигналов с определённым соотношением параметров введение интерполяции с одновременной нормировкой сжатых сегментов позволяет повысить эффективность применения оконных функций приспектрально-

корреляционной обработке. В результате существенного увеличения отношения «сигнал/(шум+помеха)» удаётся повысить достоверность обнаружения цели, движущейся с высокой скоростью, на фоне мощной помехи, созданной неподвижным или медленно движущимся объектом.

Литература

1. Ширман, Я.Д., Манжос, В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.
2. Гантмахер, В.Е., Быстров, Н.Е., Чеботарев, Д.В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка. СПб.: Наука и Техника, 2005. 400 с.: ил.
3. Быстров, Н.Е., Жукова, И.Н. Сегментная обработка сложных сигналов в ограниченном дальностно-доплеровском диапазоне // Вестник Новгородского государственного университета. № 19. 2001.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, доцентом Жуковой И.Н.

УДК 621.397.331.2
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.17

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК БУМАЖНОЙ ОСНОВЫ ДОКУМЕНТОВ

Борисов Д.И.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s231264@std.novsu.ru

OPTOELECRONIC DEVICE FOR EVALUATIONPAPER BASEOF DOCUMENTS

Borisov D.I.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s231264@std.novsu.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы технических исследований документов, имеющих культурную ценность. Анализируются методы оценки характеристик бумажной основы документов. Рассматриваются оптико-электронные методы, а также известные приборы, пригодные для проведения подобного рода исследований. Приводятся технические требования к оптико-электронному устройству для оценки характеристик бумажной основы документов с расширенными функциональными возможностями по отношению к известным приборам. Описывается его структурная схема и алгоритм работы.
Ключевые слова: *анализ бумажной основы, оптико-электронные методы и средства, телевизионные методы и средства.*

Abstract. Considered are questions of technical research of documents of cultural value. Methods for evaluating the characteristics of the paper basis of documents are analyzed.Optoelectronic methods and well-known devices suitable for use in this kind of research are described.Given are the technical requirements for an optoelectronic device for evaluating the characteristics of paper-based documents with extended functionality in relation to known devices.Described are devices block diagram and algorithm of operation are described.
Keywords: *analysis of the paper basis of documents, optoelectronic methods and tools, television methods and tools.*

В настоящее время весьма актуальным является применение естественнонаучных методов при изучении объектов культурного наследия, в частности исторических документов. Исследование бумажной основы документа имеет особое значение, поскольку позволяет уточнить датировку, определить происхождение документа, оценить подлинность и пр.

При исследованиях документов широко применяются телевизионные и оптико-электронные методы и средства [1–11]. Как показано в [1, 2],

оптико-электронные приборы, позволяющие оценивать светопропускание материала, могут быть весьма эффективно использованы при обработке больших массивов исторических бумаг. В основе данных приборов лежит фотоэлектронное преобразование с последующим измерением параметров электрического сигнала, несущего информацию об оптических характеристиках. Так, например, в результате апробации оптико-электронного измерителя светопропускания в видимой области спектра «Свет» были получены зависимости коэффициента светопропускания от удельной массы бумаги (рисунок 1) и ее концентрации при отливе [1, 2, 11].

В качестве оценки применения измерителя светового пропускания автомобильных стекол «Свет» в использовании при исследовании исторических бумаг было проведено три вида испытаний [11]:

1. Контроль светового пропускания модельного бумажного клина.
2. Контроль исторических бумаг XVI–XVII вв.
3. Контроль светового пропускания исторических бумаг «Штемпельного периода» (1830–80-х гг.).

Результаты, полученные во время испытаний, показаны в таблице 1.

Таблица 1 – результаты испытаний измерителя светового пропускания «Свет» при оценке светового потока бумажной основы

Номер измерения, №	Образец	Масса отливки, г/м²	Концентрация при отливке, %	Коэффициент светового пропускания, %			
1	1	6,72	0,1	0	0	0	0
2	2		0,2	0	0	0	0
3	4		0,3	0	0	0	0
4	3		0,4	0	0	0	0
5	5	5,02	0,1	0	0	0	0
6	6		0,2	0	0	0	0
7	8		0,3	0	0	0	0
8	7		0,4	0	0	0	0
9	9	3,76	0,1	3	3	3	3
10	10		0,2	4	4	4	4
11	12		0,3	3	4	4	4
12	11		0,4	4	4	4	4
13	13	2,51	0,1	8	6	8	7
14	14		0,2	6	8	7	7
15	16		0,3	7	7	8	7
16	15		0,4	7	7	8	7
17	17	1,25	0,1	17	18	17	17
18	18		0,2	17	19	17	18
19	20		0,3	18	18	20	19
20	19		0,4	17	20	17	18

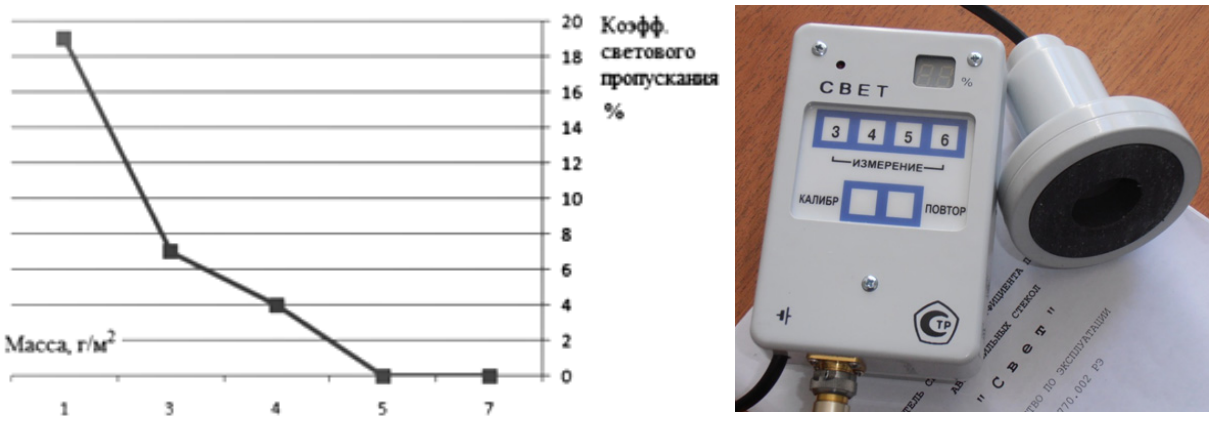


Рисунок 1. Пример зависимости коэффициента светового пропускания от удельной массы бумаги (слева), полученной при применении оптико-электронного прибора «Свет» (справа)

Исходя из результатов, можно сделать вывод, что прибор «Свет» применим для исследования исторических бумаг ручного отлива с массой от 3,76 г/м². Оценив коэффициент светопропускания, можно с уверенностью сказать, что результаты коррелируют с массой образца. Это подтверждает возможность использования данного прибора в исследованиях бумажных материалов. Также можно отметить, что для образцов с малой массой отливки наблюдается связь параметров пропускания с концентрацией массы при отливке это позволяет нам утверждать о самостоятельной значимости данной характеристики, при проведении технико-технического и экспертного анализа исторических бумаг.

Измеритель светового пропускания [10] предназначен для измерения светового коэффициента пропускания стёкол толщиной от 3 до 6 мм в диапазоне 380–780 нм.

Принцип работы рассматриваемого устройства заключается в измерении в относительных единицах величины светового потока, пропускаемого исследуемым стеклом, относительно величины общего падающего светового потока. Прибор представляет собой мобильный комплект, состоящий из узла фотоприёмника, узла устройства излучения и источника питания.

В качестве источника светового потока выступает лампа накаливания типа ОП 6,3-0,22. Приёмником светового потока служит фотодиод ФД 263-01. Коррекцию диапазона спектральной чувствительности видимой области спектра обеспечивает фильтр СЗС-21, установленный перед фотодиодом. Полученный сигнал проходит через усилитель и поступает на аналоговый вход микроконтроллера, который в свою очередь при помощи встроенного аналого-цифрового преобразователя преобразует сигнал с фотоприёмника в цифровой для дальнейшей обработки в соответствии с программой, записанной в его постоянную энергонезависимую память. Окончательным процессом

является вывод и отображение результатов измерения на цифровом индикаторе.

Технологические и метрологические характеристики измерителя светового пропускания «Свет» представлены в таблице 2.

Таблица 2. Метрологические и технические характеристики

Наименование	Значение характеристики
Диапазон измерений светового коэффициента пропускания, %	от 1 до 99
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений светового коэффициента пропускания, %	±2
Толщина тестируемого стекла, мм	от 3 до 6
Напряжение питания, В	от 10,5 до 14,5
Потребляемая мощность, Вт	не более 3,6
Время работы от аккумулятора, ч	не менее 200
Габаритные размеры, мм, не более – излучатель; – фотоприёмник; – аккумулятор типа GS 1.2-12	 63 × 63 × 90 110 × 70 × 50 50 × 50 × 100
Масса прибора в комплекте с аккумулятором, кг, не более	1,4
Рабочие условия эксплуатации: – температура окружающей среды, °С; – относительная влажность воздуха при 25 °С, %, не более	 от минус 40 до плюс 40 98
Средняя наработка на отказ, час, не менее	80 000
Средний срок службы, лет	10

Согласно руководству [10], порядок определения коэффициента светопропускания стекла устройством определяется двумя основными функциями – «калибровка» и «измерение». Функция калибровки позволяет определить попадающий на фотоприёмник световой поток, при отсутствии измеряемого объекта. В таком случае измерение происходит со значением светового потока, при соответствии 100% светопропусканию. Данная операция необходима для определения внешней засветки, которая впоследствии вычитается из полученной величины, что позволяет значительно минимизировать влияние внешних факторов на точность показаний. Функция измерения определяет значение светового потока, изменённого непосредственно анализируемым стеклом, находящимся между излучателем и фотоприёмным узлом. Световой коэффициент пропускания тестируемого стекла определяется автоматически (1):

$$T, \% = \frac{\Phi_x \cdot 100}{\Phi_0}, \quad (1)$$

где Т – полученный коэффициент пропускания тестируемого стекла, Φ_x – измеренное значение светового потока, проходящего через тестируемое стекло, а Φ_0 – значение светового потока, измеренное при калибровке.

Что касается питания, то существует две возможности осуществить питание устройства, а именно от аккумулятора, или же от аккумулятора автомобиля через прикуриватель. Наличие индикации заряда аккумулятора позволяет определять работоспособность устройства. При наличии питания менее 10,5 В световой индикатор оповестит о неисправности наличием мерцания индикационной лампочки.

Оптико-электронные измерители светопропускания обладают малыми габаритами, просты и надёжны в эксплуатации, имеют невысокую стоимость, что создаёт предпосылки для их массового использования в специализированных лабораториях и исследовательских центрах, архивах, музеях и т.п. Вместе с тем набор функций приборов типа «Свет» весьма ограничен, как с точки зрения количества спектральных диапазонов, так и с точки зрения набора измеряемых параметров. Так, например, для более полного анализа бумажных материалов требуется определение показателей цветности и белизны бумажной основы, а также коэффициентов ее отражения и поглощения [8]. Наличие такой возможности существенно увеличит количество необходимых критериев для однозначной оценки. Использование свойства отражения и поглощения позволит определить цветность и белизну исследуемого объекта. Например, анализ бумажной основы в диапазонах RGB обеспечит возможность оценить характеристику цветности бумаги и показателя ее белизны. Проводя измерения в диапазоне 400–700 нм при нескольких выбранных светофильтрах, например красном и зелёном, несовпадение результатов объясняют наличием того или иного оттенка [8].

В данной статье предлагаются технические требования к оптико-электронному устройству с расширенными функциональными возможностями по отношению к прибору «Свет».

Формулируются следующие технические требования по измеряемым характеристикам бумажной основы:

- Оценка коэффициента пропускания.
- Оценка коэффициента отражения.
- Оценка коэффициента поглощения.
- Оценка показателя цветности.
- Оценка показателя белизны.
- Оценка спектральной характеристики в диапазоне 365–1000 нм.

Предлагается реализовать следующие режимы работы:

- Фиксация полученных данных.
- Анализ и обработка полученных значений.
- Сортировка исследуемых материалов по полученным значениям.
- Управление конфигурацией сортировки.
- Вычисление корреляции материалов по полученным данным.

Вариант структурной схемы работы устройства представлен на рисунке 2.

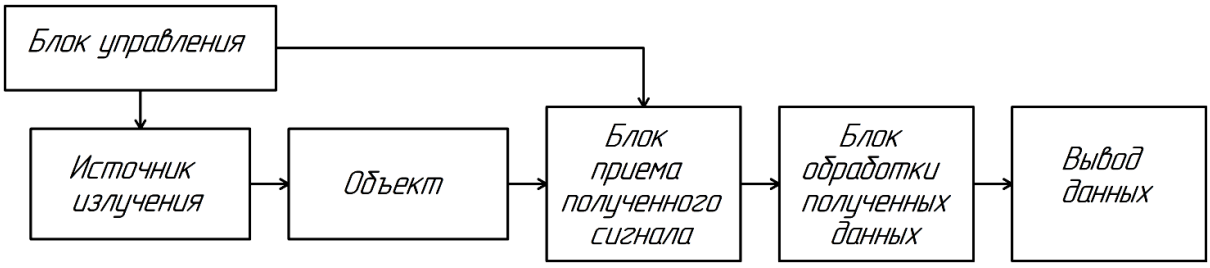


Рисунок 2. Структурная схема устройства оценки бумажной основы

Устройство работает следующим образом. Объект подвергается облучению световым потоком различных длин волн со стороны источника излучения. Блок управления обеспечивает выбор длины волны источника излучения. Оптический сигнал поступает в фотоприёмник, который формирует электрический сигнал, пропорциональный потоку излучения. Далее полученный сигнал подвергается коррекции, оцифровке, преобразованию и фиксации данных. Полученные данные используются для создания каталога полученных значений, определения различного рода зависимостей и поиска возможной корреляции.

По отношению к ближайшему аналогу – прибору «Свет» – предлагаемое устройство имеет более широкие функциональные возможности. Использование источника излучения с различным набором длин волн позволит более точно оценивать исследуемые объекты. Так, в частности, дополнительно обеспечивается оценка показателей белизны и цветности бумажной основы, а также возможность получения спектральных характеристик в пределах диапазона спектральной чувствительности фотоприёмника.

Достоинством предлагаемого устройства также является его малые габариты, масса, надёжность и простота в использовании.

Литература

1. Телевизионные и оптико-электронные методы исследования исторических бумаг. Системы и средства связи телевидения и радиовещания / Н.П. Корнышев, А.В. Лифар, Е.А. Ляховицкий, И.С. Родионов, Д.О. Цыпкин, Г.М. Шеин. М.: ЭКОС, № 1–2, 2013. С. 153–158.

2. Корнышев, Н.П., Ляховицкий, Е.А., Родионов, И.С. Оптико-электронные и телевизионные методы и средства в историко-бумаговедческих исследованиях рукописно-книжных памятников // Фотография. Изображение. Документ. СПб.: РОСФОТО. Вып. 4 (4), 2013. С. 65–72.
3. Приборы дооснащения телевизионных спектральных систем. Телевизионные лупы / В.В. Бутусов, Н.П. Корнышев, В.П. Кузьмин, Н.С. Никитин, В.И. Челпанов // Системы и средства связи телевидения и радиовещания. М.: ЭКОС, 2007. № 1, 2. С. 98–99.
4. Телевизионные аппаратно-программные комплексы для криминалистических исследований / Е.В. Андреева, В.В. Бутусов, Н.П. Корнышев, В.П. Кузьмин, Н.С. Никитин, В.И. Челпанов // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. СПб., 2008. № 2. С. 50–57.
5. Модернизированная телевизионная спектральная система для экспресс-анализа подлинности и целостности документов / Е.В. Андреева, В.В. Бутусов, И.Г. Иванов, Н.П. Корнышев, В.П. Кузьмин, Н.С. Никитин, А.В. Тимофеева, В.И. Челпанов // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. СПб., Вып. 1. 2010. С. 44–50.
6. Модернизация телевизионной спектральной системы для экспресс-анализа документов / Е.В. Андреева, В.В. Бутусов, И.Г. Иванов, Н.П. Корнышев, В.П. Кузьмин, Н.С. Никитин, А.В. Тимофеева, В.И. Челпанов // Системы и средства связи телевидения и радиовещания. М.: ЭКОС, 2010. Вып. 1, 2. С. 115–118.
7. Гаврилов, А.Л., Исаев, В.А., Корнышев, Н.П. Камеры ИК-диапазона ЗАО «ЭЛСИ» (Великий Новгород) и предложения по их использованию в исследовании музейных объектов // Фотография. Изображение. Документ: научный сборник. Вып. 7 (7). СПб.: РОСФОТО, 2016. С. 62–66.
8. Губарев, А.А., Зильберглейт, М.А. Методы и оборудование контроля качества полиграфических материалов // Издательское дело, 1-47 02 01. Технология полиграфических производств. Минск: БГТУ, 2012. С. 30–32.
9. Корнышев, Н.П. Новые возможности телевизионных спектральных систем: научный сборник. СПб.: РОСФОТО, 2015. Вып. 6 (6).
10. Измеритель светового коэффициента пропускания автомобильных стекол «Свет». Руководство по эксплуатации УШ2.770.002 РЭ.
11. Отчёт о результатах применения измерителя светового коэффициента пропускания автомобильных стекол «СВЕТ» (НИИ ПТ «РАСТР») в решении задач исследования документов.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, доцентом Корнышевым Н.П.

УДК 621.311.6
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.18

МАКЕТИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Иванов А.Д.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: antonio15@mail.ru

BREADBOARDING OF A HYSTERESISCONTROLLED SECONDARY POWER SUPPLY

Ivanov A.D.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: antonio15@mail.ru

Аннотация. В данной статье описывается макет источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением. Приводятся характеристики работы макета. Проводится анализ осциллограмм входного и выходного напряжений источника, сигналов управления.
Ключевые слова: *источник вторичного электропитания, гистерезисное управление.*

Abstract. The layout of a hysteresis controlled secondary power source is described in this article. The layout characteristics are given. The analysis of the input and output voltage waveforms of the source and control signals is performed.
Keywords: *secondary power supply, hysteresis control.*

Введение

Макетирование является одним из важнейших этапов проектирования радиотехнических устройств, поскольку позволяет выявить недостатки и оценить характеристики разрабатываемого устройства. На макете можно отработать различные схемотехнические решения и выбрать из них наилучшее.

В данной статье представлены результаты макетирования источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением.

Гистерезисное управление реализуется на двухпороговом компараторе, расположенном в цепи обратной связи источника. Данный тип управления отличается повышенной устойчивостью работы обратной связи, не требующей введения коррекции. В отличие от других типов управления, в частности управления по напряжению и току, источник с гистерезисным управлением имеет наилучший отклик при изменении

нагрузки. Это достигается за счёт минимальной задержки в цепи обратной связи [1].

Пульсации выходного напряжения являются основным недостатком гистерезисного управления. Их снижение достигается путём оптимизации параметров компаратора и LC-фильтра. Оптимальность выбора элементной базы при проектировании источника проверяется его макетированием.

Основные характеристики макета

Разрабатываемый источник вторичного электропитания реализует понижающую топологию: выходное напряжение ниже входного. Происходит преобразование постоянного напряжения в постоянное (DC–DC-преобразование).

Характеристики источника следующие:

- входное напряжение 12 В;
- выходное напряжение 3,3 В;
- выходной ток 1 А;
- мощность 3,3 Вт;
- рабочая частота более 1 МГц.

Управление источником построено на контроллере LM3485 [2]. Данный контроллер представляет собой высокоэффективный PFET переключатель, основанный на гистерезисном управлении.

На рисунке 1 представлена функциональная блок-схема контроллера LM3485.

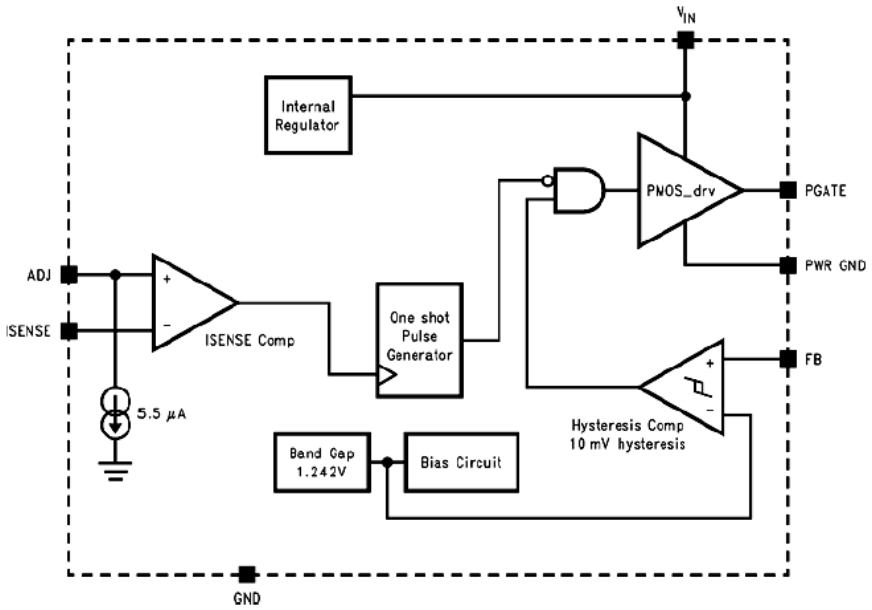


Рисунок 1. Блок-схема контроллера LM3485

Принцип работы данного контроллера основан на двухпороговом компараторе с гистерезисом около 10 мВ. Данное значение является фиксированным именно для данного контроллера. При проектировании

возможно изменение значения в зависимости от параметров требуемого источника. В зависимости от напряжения на контакте FB затвор (контакт PGATE) включает или выключает внешний PFET транзистор. При увеличении тока индуктора срабатывает защита, которая включает и отключает транзистор на 9 мкс.

Также гистерезисное управление не требует внутреннего генератора. Частота управления регулируемая.

С помощью внешних резисторов обратной связи возможно отрегулировать выходное напряжение на требуемое значение.

На рисунке 2 представлен макет источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением. Схема электрическая принципиальная источника изображена на рисунке 3.

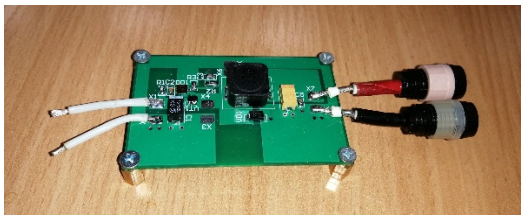


Рисунок 2. Макет источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением

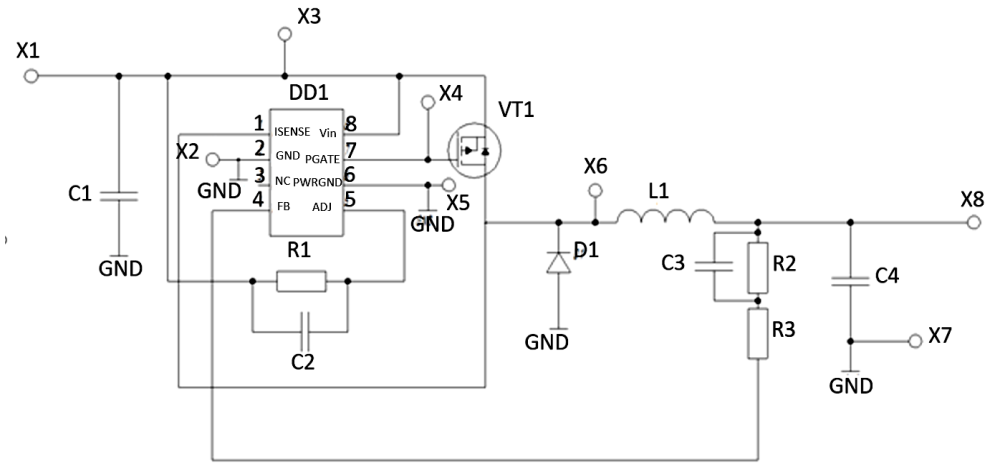


Рисунок 3. Схема электрическая принципиальная макета источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением.

Для проведения исследования характеристик источника на схеме макета предусмотрены четыре контрольные точки X3–X8. На плате данные точки представлены площадками для щупа осциллографа.

Анализ входных и выходных характеристик макета источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением

Осциллограмма входного напряжения (контрольная точка X3 на схеме, рисунок 3) при включении макета источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением представлена на рисунке 4.

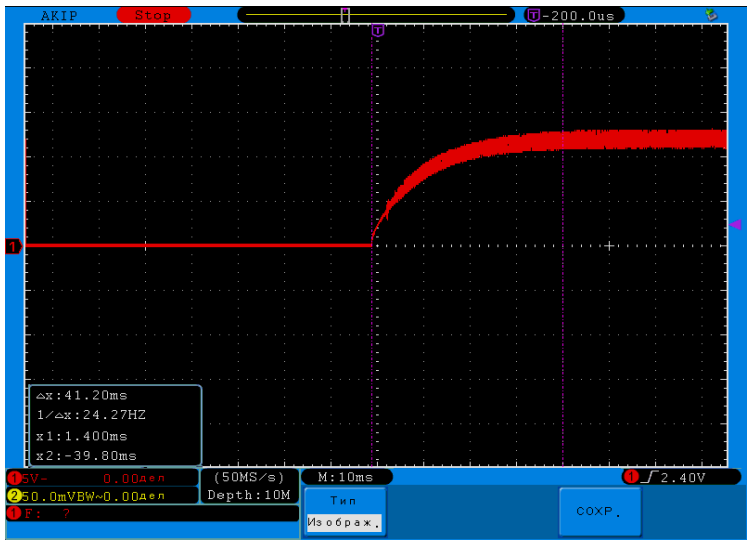


Рисунок 4. Осциллограмма входного напряжения включения источника

Осциллограмма демонстрирует плавный пуск источника, то есть плавное нарастание напряжения до рабочего значения 12 В. Время включения составляет 41 нс, что практически в два раза меньше типового значения времени включения данного типа контроллера. Отметим, что такой тип включения используется для исключения скачкообразного изменения напряжения и импульсных выбросов. При плавном пуске выходное напряжение источника (контрольная точка X8 на схеме, рисунок 3) также плавно изменяется. Его нарастанием до рабочего значения 3,3 В отображает осциллограмма на рисунке 5. Время включения составляет 0,5 мс. Разница времени включения входного и выходного напряжения связано с переходными процессами внутри источника питания.

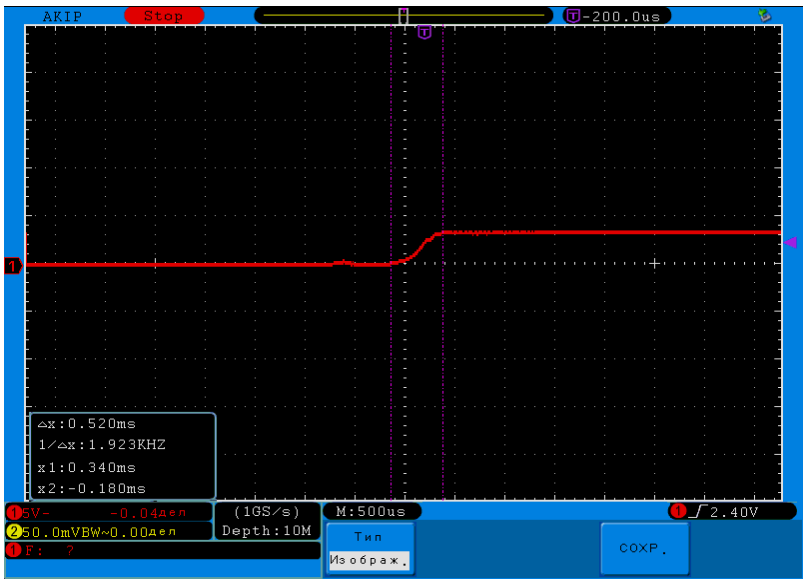


Рисунок 5. Осциллограмма выходного напряжения включения источника

Одной из важнейших особенностей гистерезисного управления является использование частотно модулированных импульсов для включения/выключения ключа при повышении или снижении входного, а также выходного напряжения источника. Осциллограммы импульсов на входе транзистора VT1 (контрольная точка X4 на схеме, рисунок 3) представлены на рисунках 6, 7 при входных напряжениях 12 В и 18 В соответственно.

Частота работы источника питания при входном напряжении 12 В составляет 2,564 МГц. При увеличении напряжения до 18 В частота импульсов снижается и составляет 1,946 МГц. В отличие от преобразователей с широтно-импульсной модуляцией данный тип управления имеет наилучший отклик на изменение нагрузки.

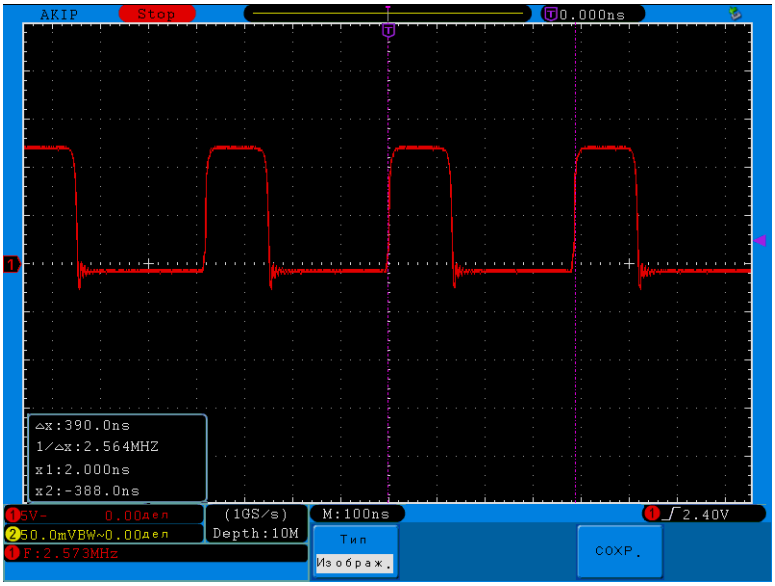


Рисунок 6. Сигнал на ключе макета источника вторичного электропитания при входном напряжении 12 В

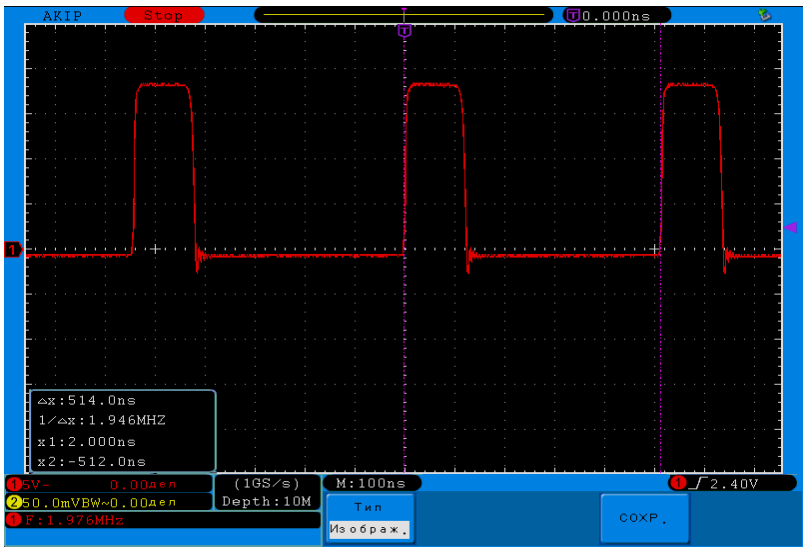


Рисунок 7. Сигнал на ключе макета источника вторичного электропитания при входном напряжении 18 В

В режиме холостого хода наблюдается не только снижение частоты импульсов переключения ключа, но и увеличение их длительности, что подтверждает осциллограмма на рисунке 8.

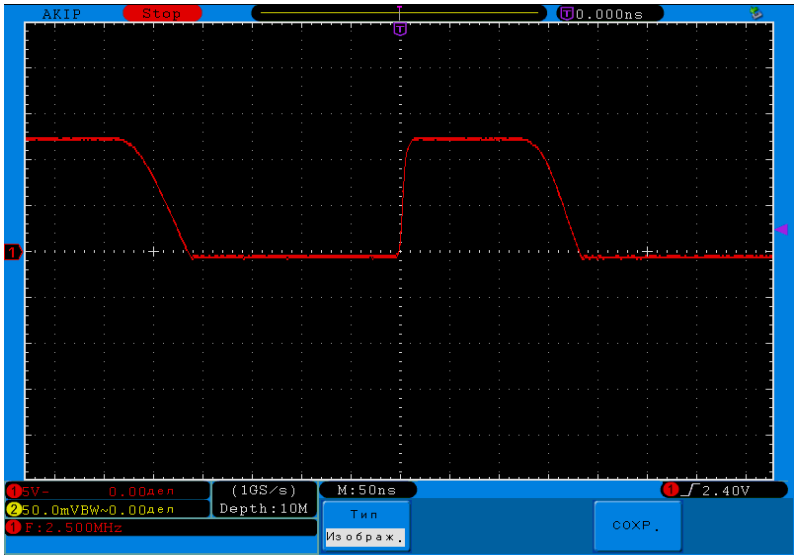


Рисунок 8. Осциллограмма работы ключа при холостом ходе

На рисунках 9, 10 представлены осциллограммы работы контроллера LM3485 при прерывистом и непрерывном режиме работы по току.

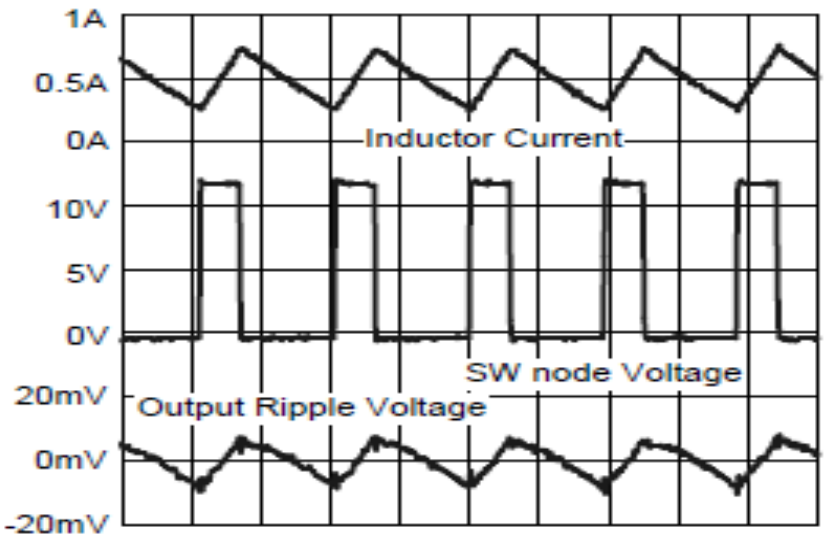


Рисунок 9. Осциллограмма непрерывного режима работы
по току контроллера LM3485

Контроллеры с гистерезисным управлением имеют прерывистый или постоянный режим работы по току. В зависимости от значения нагрузки значение тока на дросселе может опускаться до нуля при прерывистом режиме. При непрерывном режиме ток не успевает снижать значение до нуля.

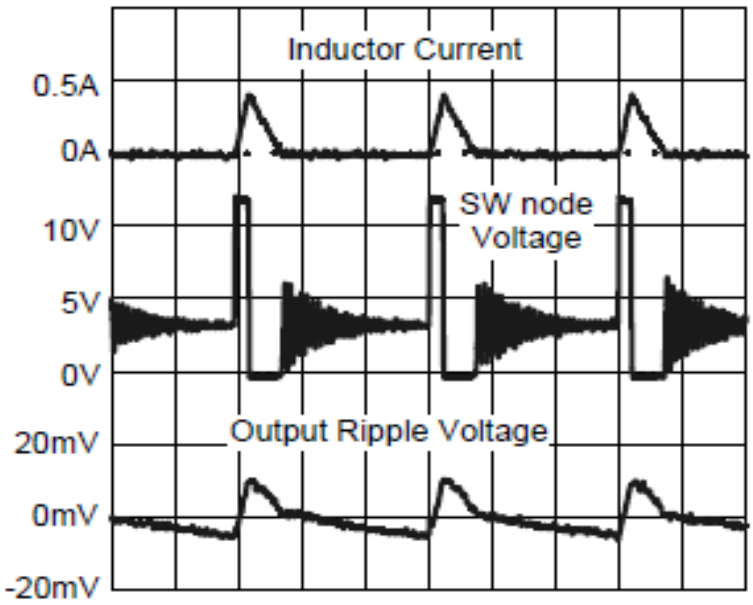


Рисунок 10. Осциллограмма прерывистого режима работы
по току контроллера LM3485

Пульсации выходного напряжения данного источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением представлены на рисунке 11.

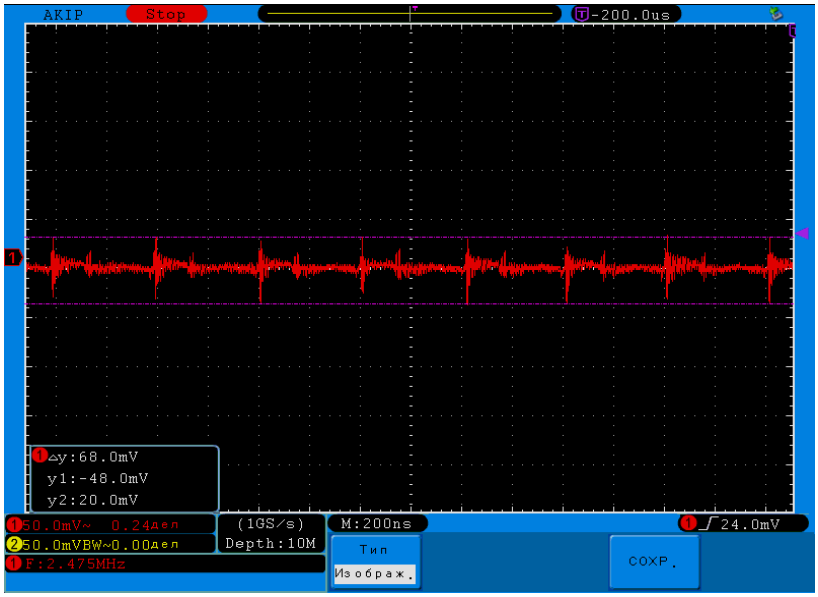


Рисунок 11. Пульсации выходного напряжения источника
вторичного электропитания с гистерезисным управлением

Значение пульсаций фиксируется в полном диапазоне. Значение пульсаций данного источника питания 68 мВ. Снижение пульсаций возможно путём добавления ещё одного конденсатора или выбора конденсатора из линейки с низким уровнем ESR.

Отклик источника вторичного электропитания на изменение нагрузки

Как правило, преобразователи с любым типом управления имеют изменения значения выходного напряжения в зависимости от изменения значения нагрузки, так называемый отклик. Изменение значения нагрузки вызывает снижение или увеличение выходного напряжения. В свою очередь изменение напряжения показывает, насколько быстро схема управления может реагировать на изменение выходного тока. В точке максимального провала напряжения регулятор выдает максимум тока в индуктивность. В результате этого ток в индуктивности оказывает большое влияние на нагрузку, что в свою очередь позволяет увеличить заряд и напряжение выходного конденсатора. Преобразователи напряжения с гистерезисным управлением имеют самый быстрый отклик, так как для него напряжение достигает минимального значения раньше, чем в случае с остальными типами управления. На рисунках 12, 13 представлен отклик выходного напряжения на изменение нагрузки.

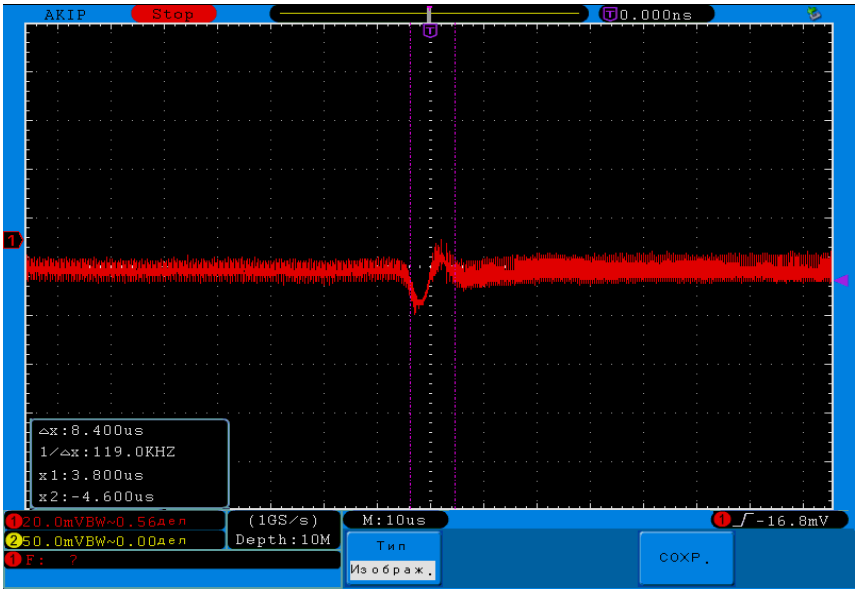


Рисунок 12. Отклик выходного напряжения при увеличении тока нагрузки

Значение снижения выходного напряжения зависит от ёмкости выходного конденсатора: чем больше ёмкость, тем меньше снижение значения выходного напряжения. Ёмкость выходного конденсатора для гистерезисного управления имеет наименьшее значение в сравнении с остальными типами управления. Причина кроется в том, что преобразователи с гистерезисным управлением обеспечивают минимальную задержку в цепи обратной связи. Для гистерезисного управления скорость реакции на изменение нагрузки заключается лишь в скорости изменения тока в дросселе LC-фильтра. В свою очередь в преобразователях с другим типом управления система реагирует на

изменение нагрузки в два этапа. Во-первых, должен быть сформирован сигнал на выходе усилителя ошибки. Во-вторых, система управления должны скорректировать управляющий сигнал на выходе импульсного модулятора. В результате вышеперечисленного быстродействие гистерезисного управления оказывается значительно выше, чем в преобразователях с другими типами управления.

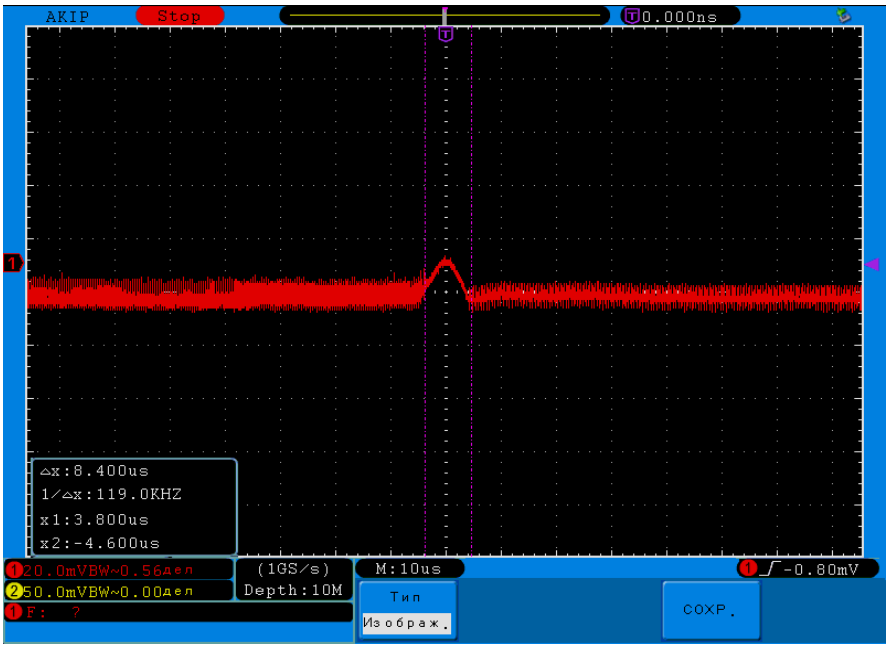


Рисунок 13. Отклик выходного напряжения при снижении тока нагрузки

Перенапряжение при снижении нагрузки

Амплитуда первого пика перенапряжения определяется параметрами LC-фильтра, а не особенностями метода управления. При снижении выходного тока накопленная в дросселе энергия перестаёт поступать в нагрузку. Вместо этого она идёт на заряд выходного конденсатора: чем меньше ёмкость, тем выше скорость нарастания напряжения. Поскольку источник вторичного электропитания с гистерезисным управлением имеет самое низкое значение ёмкости выходного конденсатора, то в свою очередь он имеет максимальный выброс напряжения в отличие от других типов управления.

Анализ регулирования преобразователя с гистерезисным управлением при минимальном входном напряжении

В отличие от источников вторичного электропитания с управлением по напряжению и току гистерезисное управление имеет так называемый звон при минимальном рабочем напряжении. Также этот звон не прекращается даже при нормальном значении выходного напряжения.

Низкое входное напряжение ограничивает скорость изменения тока в дросселе. Из-за медленного тока в индуктивности выходной конденсатор разряжается намного сильнее. Контроллер, контролирующий выходное напряжение, продолжает формировать высокий сигнал ошибки, который в свою очередь поддерживает максимальную частоту импульсов на выходе модулятора до тех пор, пока выходное напряжение не достигнет целевого значения. Когда выходное напряжение достигает требуемого значения, ток в дросселе оказывается слишком большим, что приводит к слишком большому заряду выходного конденсатора. Эту проблему можно решить путём увеличения ёмкости выходного конденсатора или включения в цепь дополнительного конденсатора.

При подключении дополнительной ёмкости диапазон изменения плотности импульсов ЧИМ оказывается меньше. Таким образом, скорость отклика преобразователя снижается. Также данный преобразователь имеет ограничение величины минимального времени выключенного состояния. Это связано с необходимостью защиты от насыщения индуктивности. Тем не менее, гистерезисное управление показывает самый быстрый отклик среди всех преобразователей.

Заключение

В статье представлен макет источника вторичного электропитания с гистерезисным управлением. Произведён анализ осциллограмм входного и выходного напряжения данного макета. Исследовано изменение параметров управляющих импульсов. Представлено описание изменения напряжения на изменение нагрузки, а также рекомендации по выбору компонентов схемы. Также представлены внутренние режимы работы контроллера и его блок-схема.

Литература

1. Иванов, А.Д., Жукова, И.Н., Байбузов, А.В. Моделирование источника питания с гистерезисным управлением / Вестник НовГУ. № 4. Технические науки. 2019.

2. Контроллер PFETLM3485 компании National Semiconductor [Электронный ресурс]. URL: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/powersuply/lm3485.htm.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, доцентом Жуковой И.Н.

УДК 621.383.52
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.19

PIN-ФОТОДИОД ИК-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ InP/InGaAs

Васильев А.А., Логинов А.С., Воропаев К.О.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: sasha575789@yandex.ru

PIN IR-PHOTODIOD BASED ON HETEROEPITAXIAL STRUCTURE InP/InGaAs

Vasiliev A.A., Loginov A.S., Voropaev K.O.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: sasha575789@yandex.ru

Аннотация. В рамках данной работы было проведено исследование по получению PIN-фотодиодов ИК-диапазона, сформированных на пластинах, содержащих гетероэпитаксиальную структуру InP/InGaAs. В работе приведены результаты измерений параметров спектральной чувствительности реальных фотодиодов.
Ключевые слова: *PIN-фотодиод, гетероэпитаксиальная структура InP/InGaAs, спектральная чувствительность, окно прозрачности.*

Abstract. As part of this work, a study was conducted to obtain PIN IR-photodiodes formed on plates containing the heteroepitaxial structure of InP/InGaAs. The paper presents the results of measurements of the parameters of spectral sensitivity of real photodiodes.
Keywords: *PIN-photodiode, heteroepitaxial structure InP/InGaAs, spectral sensitivity, transmission window.*

В настоящее время практически во всех приборах используется окно прозрачности кварца вблизи длин волн 1,3 и 1,55 мкм, имеющих большое значение для развития единой системы обработки и передачи информации [1]. Однако следует ожидать смещения в сторону больших длин волн (вплоть до 3,0 мкм), где меньше оптические потери, и передача информации будет идти с большей скоростью. В значительной степени скорость передачи зависит от принимающего оборудования, поэтому важную роль в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) играют фотоприёмники. Приёмные оптические модули (ПРОМ) являются важными элементами волоконно-оптических систем. Их функция – преобразование оптического сигнала, принятого из волокна, в электрический, который обрабатывается далее электронными устройствами.

В современных оптоволоконных системах наименьшее ослабление оптического сигнала наблюдается вблизи длины волны 1,55 мкм (рисунок 1), поэтому третье окно используется для организации связи на большие расстояния. Во втором окне сигнал затухает быстрее, однако второе окно характеризуется нулевой дисперсией, поэтому второе окно используется в городских и зоновых сетях небольшой протяжённости. Широкое применение получили фотоприёмники на основе гетероструктур $InP/In_{0.53}Ga_{0.47}As$, активная область которых имеет коэффициент поглощения $\alpha = 0{,}705$ мкм$^{-1}$ на длине волны 1,55 мкм, и, по сравнению с Ge, более низкую собственную концентрацию носителей [2].



Рисунок 1. График затухания световых волн в кварцевом оптоволокне

Преимущества техники, используемой в инфракрасном диапазоне по сравнению с работающей в видимой части спектра, а также радиотехническими и радиолокационными системами, привели к широкой востребованности фотоприёмных систем ИК-диапазона. На протяжении примерно десятилетий наибольшее применение в качестве материала матричных фотоприёмных устройств коротковолнового ИК-диапазона нашло тройное соединение $In_xGa_{(1-x)}As$. В настоящие время велика потребность в быстродействующих, малошумящих InGaAs-фотоприёмниках.

ИК-системы имеют широкую область применения. Например, многоканальные сканеры для исследования ресурсов земли, медицинские термографы и тепловизоры, ИК-дефектоскопы, радиометры, а также различные приборы и устройства, используемые в вычислительной

технике, связи, пожарном деле и т.п. Особо широко ИК-техника применяется в военном деле: обнаружение и отслеживание целей, приборы ночного видения и тепловой разведки местности и прочее специализированное оборудование.

Инфракрасная техника обеспечивает оптимальное решение многих задач в промышленности. Расширение областей применения инфракрасной техники в промышленности происходит как на базе выпускаемых и совершенствующихся в течение десятков лет инфракрасных радиометров и спектрорадиометров, так и по линии внедрения принципиально новых методов, первоначально развитых применительно к военной технике [3].

Наиболее перспективные области применения фотоприёмников: оптоволоконные линии связи, обнаружение и слежение за целью, юстировка и центрирование лазерного луча, анализ отказов в микроэлектронной промышленности и др.

Ряд основных требований, предъявляемых к фотоприёмникам, – это высокое быстродействие, высокая квантовая эффективность в заданном диапазоне спектральной чувствительности, низкий уровень шумов, низкие обратные темновые токи. Наиболее подходящим под эти требования являются PIN-фотодиоды.

PIN-фотодиод – разновидность диода, в котором между областями электронной (n) и дырочной (p) проводимости находится собственный (нелегированный, англ. intrinsic) полупроводник (i-область). P и n области, как правило, легируются сильно, так как они часто используются для омического контакта к металлу. Также i-слой называют обеднённым слоем. Фотоны вводятся в детектор через окно, имеющее тонкий слой просветляющего покрытия (толщина около $\lambda/4$) с показателем преломления, согласующим разные среды – стекловолокно и полупроводник.

На такой диод подаётся обратное смещение, т.е. напряжение плюсом к n-переходу, минусом к p-переходу.

В качестве фотодетектора PIN-диод работает при обратном смещении. При этом он закрыт и не пропускает ток (за исключением незначительного тока утечки). Фотон входит в i-область, порождая образование электронно-дырочных пар. Носители заряда, попадая в электрическое поле ОПЗ, начинают двигаться к высоколегированным областям, создавая электрический ток, который может быть детектирован внешней цепью. Проводимость диода зависит от длины волны, интенсивности и частоты модуляции падающего излучения. Величина обратного напряжения может достигать больших значений, при этом большее напряжение создаёт большее поле, которое вытягивает носители из ОПЗ i-области более быстро.

Целью данной работы является исследование технологии изготовления и методик измерений основных параметров фотодиодов, сформированных на основе гетероструктуры InP/InGaAs.

Исследуемая структура InP/InGaAs сформирована методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Конструкция фотодиода представляет собой многоступенчатую мезаструктуру. Поглощающий слой представляет собой нелегированный i-слой $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ толщиной 2 мкм (рисунок 2). Микрорельеф формируется методом жидкостного химического травления в перикисно-фосфорном растворе. Металлизация омических контактов представляет собой систему металлов Ti/Pt/Au для контактар-типа и AuGe/Mo/Au для n-типа. На структуру наносятся просветляющее покрытие и изоляционное покрытие по всей поверхности структуры.

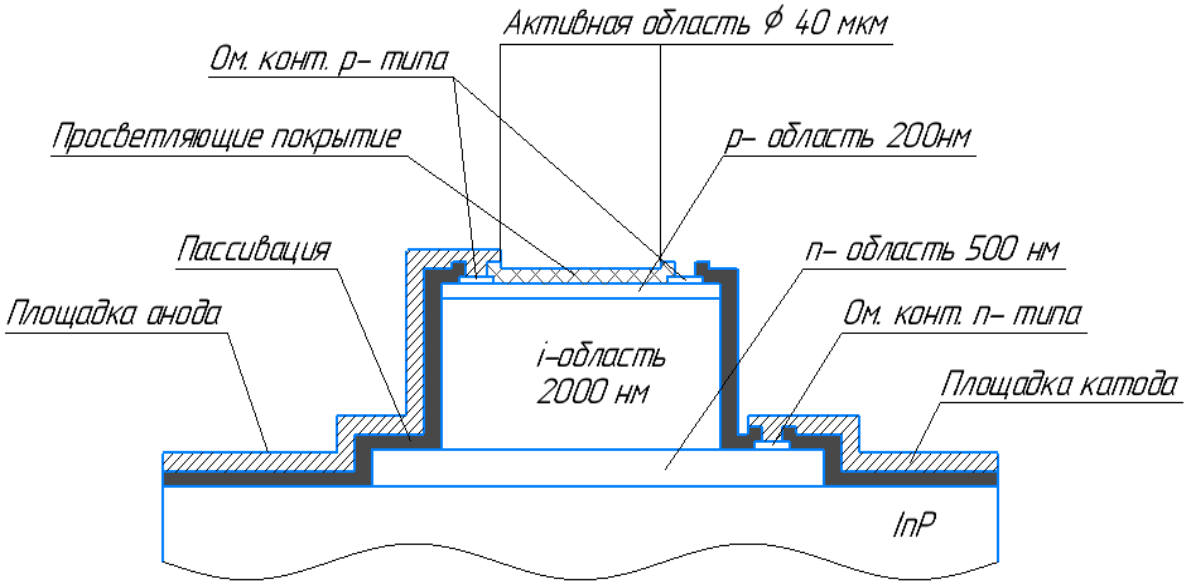


Рисунок 2. Схема поперечного сечения PIN-фотодиода

Постростовая обработка гетероэпитаксиальной структуры PIN-фотодиода включает в себя следующие основные операции:

1. Напыление и «взрыв» металлизации Ti/Pt/Au для формирования омического контакта p-типа.
2. Химическое травление полупроводниковых слоёв InGaAs/InAlAs.
3. Напыление и «взрыв» металлизации AuGe/Mo/Au с последующим вжиганием для формирования омического контакта n-типа.
4. Химическое травление полупроводниковых слоёв InGaAs/InP.
5. Пассивация поверхности структуры плёнкой SiO_2.
6. Вскрытие окон в диэлектрике к n- и p-омическим контактам.
7. Формирование контактных площадок анода и катода.
8. Нанесение просветляющего покрытия Al_2O_3.
9. Утонение подложки InP.
10. Разделение пластины на кристаллы.

Простейший анализ фотодетектора на базе PIN-диода даёт следующее выражение для квантовой эффективности:

$$\eta = (1 - R)(1 - \exp(-\alpha \cdot W_D)), \quad (1)$$

где R – это коэффициент отражения от поверхности фотоприёмника (R~0,3), α – коэффициент поглощения, W_D – толщина поглощающего слоя.

Отметим, что квантовая эффективность всегда меньше единицы вследствие отражения от поверхности фотодетектора и поглощению света вне i-области.

Если учесть величину поглощения на длине волны 1,31 мкм на уровне $1{,}16 \cdot 10^4$ $см^{-1}$, W_D ~2 мкм, величина квантовой эффективности η~(1–R) · 0,9.

Коэффициент отражения на границе $In_{0,53}Ga_{0,47}As$–воздух примерно равен 0,3, то есть порядка 30% света отражается обратно от поверхности фотодиода. Его можно существенно уменьшить, если нанести просветляющее покрытие.

Пассивация поверхности фотодиодов выполнялась плёнкой SiO_2. Для получения достаточно качественного конформного покрытия ступеней мезаструктуры кристаллов фотодиодов использовался термоактивированный метод химического осаждения диоксида кремния в результате реакции окисления моносилана кислородом.

Для формирования пассивирующей плёнки подложка помещается в пары моносилана и кислорода при температуре 300 °С, которые вступают в реакцию. В результате на поверхности подложки осаждается диоксид кремния. Метод имеет преимущества, такие, как возможность получения высокоплотных и чистых материалов, однородных плёнок с хорошими адгезией и воспроизводимостью при достаточно высоких скоростях осаждения, создание однородных покрытий на изделиях сложной формы. Ниже приведена формула (2) химической реакции:

$$SiH_4 + O_2 \rightarrow SiO_2 + 2H_2\,. \quad (2)$$

Просветляющее покрытие Al_2O_3 было нанесено методом «взрыва».

Взрывная литография (Lift-offprocess) – метод формирования изображения на поверхности, при котором плёнка вещества наносится поверх слоя проявленного фоторезиста, после чего резист удаляется в растворителе, а плёнка остаётся на поверхности пластины только в тех местах, где резист был проявлен. Данный процесс позволяет исключить травление, поэтому используется для материалов, травление которых представляет определённые сложности.

Напыление непосредственно просветляющего покрытия Al_2O_3 было осуществлено электронно-лучевым методом. При электронно-лучевом нанесении вакуумных покрытий нагрев и испарение вещества осуществляются в результате теплового действия электронов,

бомбардирующих испаряемую мишень. Данным методом получают покрытия из сплавов металлов, полупроводников и даже диэлектриков.

В результате проведённых операций были получены кристаллы фотодиодов. Фотография одного из кристаллов приведена на рисунке 3.



Рисунок 3. Фотография полученного кристалла

Измерительный стенд для определения абсолютной спектральной чувствительности ФД и темновых токов включал в себя зондовую станцию Cascadesummit 12 000 с закреплённым на ней оптическим зондом Cascade LWP, оптический анализатор спектра Anritsu MS9740A, анализатор полупроводниковых приборов Keysight B1500A и источник лазерного излучения с длиной волны 1,31 мкм, который был подключен к оптическому зонду через оптический разъём типа FC.

Измерения характеристик ФД проводились следующим образом. На площадки анода и катода кристалла фотодиода устанавливались DC-зонды, через которые в дальнейшем подавалось обратное смещение, зонды были соединены с анализатором-характериографом B1500A. Входной разъём оптического зонда соединялся с выходным разъёмом источника лазерного излучения. Линза, сформированная на оконцовке волокна оптического зонда, располагалась над активной областью кристалла фотодиода на высоте (5–10) мкм от поверхности кристалла, после чего включался источник излучения. Затем на анализаторе-характериографе B1500A выполнялось измерение обратной ветви вольт-амперной характеристики в диапазоне напряжения от –3В до 0В. Абсолютная спектральная чувствительность ФД определялась по формуле (3).

$$S = \frac{I}{\Phi}, \tag{3}$$

где I – фототок ФД, А; Ф – мощность падающего излучения, Вт.

Измеренные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерений

Просветляющее покрытие	Темновой ток (–3В), нА	Ф, мВт	Фототок, мА	S_λ=1310 нм, А/Вт
Без покрытия	15	2	1,05	0,53
Al_2O_3 (h = 190 нм)	15	2	1,601	0,8

Для измерения относительной спектральной характеристики фотодиоды предварительно монтировались на основание корпуса типа ТО-18. После этого корпусированный фотодиод закреплялся напротив выходной щели монохроматора. Монохроматор используется для разложения света обычной лампы накаливания в спектр. Узкий участок спектра направляется на фотодиод. Возникающий ток измеряется микроамперметром. На рисунках ниже представлена схема измерительного стенда (рисунок 4).

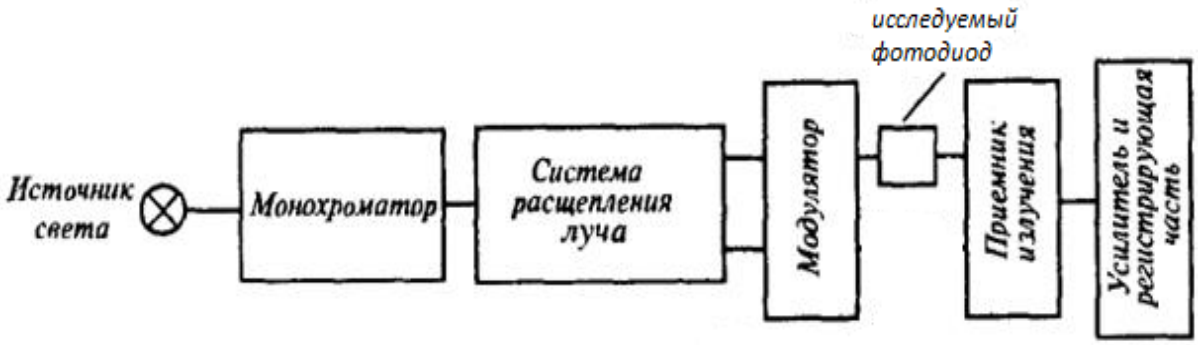


Рисунок 4. Схема измерительного стенда

По измеренным данным был построен график, демонстрирующий область спектральной чувствительности полученных фотодиодов в относительных единицах (рисунок 5).

Как видно из графика, максимальная чувствительность наблюдается на длине волны 1,55 мкм, а также довольно высока на длине волны 1,31 мкм, что соответствует третьему и второму окнам прозрачности оптоволокна, а значит, фотодиоды на основе гетероструктуры InP/InGaAs хорошо подходят для передачи информации на данных длинах волн.

В данной статье была исследована технология изготовления PIN-фотодиодов. Рассмотрены основные операции производственного цикла от пластины до приборных структур. Как видно из данных таблицы 1, с просветляющим покрытием абсолютная чувствительность фотоприёмника увеличивается в 1,5 раза. Из чего следует, что просветление фотоприёмников является необходимым.

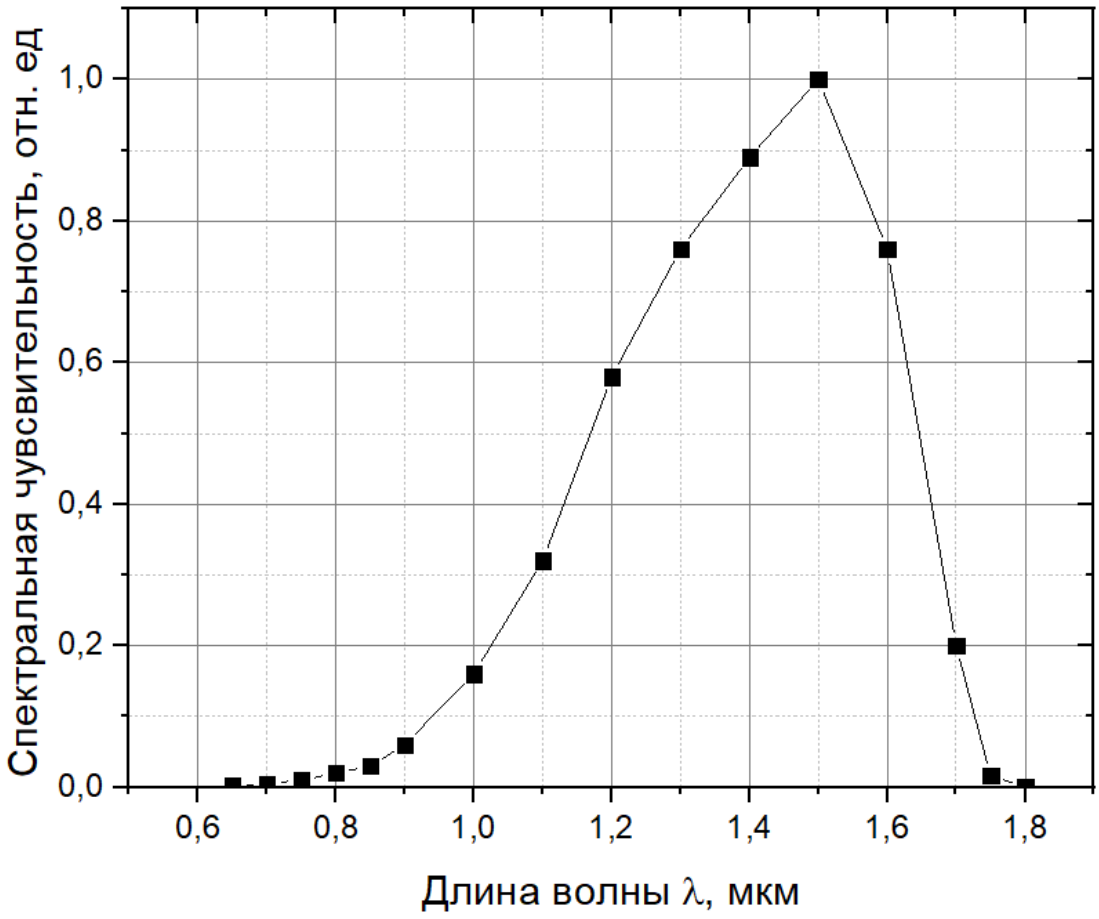


Рисунок 5. Спектральная характеристика полученных фотодиодов

Обзор характеристик аналогов показал, что спектральная чувствительность аналогичных фотодиодов на длине волны 1,31 мкм составляет 0,8–0,9 А/Вт, в то время как у исследуемых фотодиодов (исходя из данных, представленных в таблице 1) среднее значение спектральной чувствительности составляет 0,8 А/Вт. Данный результат показывает, что полученные кристаллы ФД обладают хорошей чувствительностью.

Литература

1. Фоточувствительные структуры на основе наногетероструктур Si/Ge для оптических систем передачи информации / А.В. Войцеховский, А.П. Коханенко, К.А. Лозовой, А.М. Турапин, И.С. Романов // Успехи прикл. физики. 2013. Т. 1. № 3. С. 338–343.
2. Бараночников, М.Л. Приёмники инфракрасного излучения. Аналитический обзор. М. 1985.
3. Хадсон, Р. Инфракрасные системы / пер. с англ. Я.Б. Герчикова, Ю.Е. Голубчина, С.Г. Кина; ред. Н.В. Васильченко. М.: Мир, 1972. 529 с.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Селезнёвым Б.И.

УДК 544.344.2
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.20

РАСЧЁТ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ БИНАРНЫХ РАСТВОРОВ As-Te И As-Tb В РАМКАХ ОБОБЩЁННОЙ РЕШЁТОЧНОЙ МОДЕЛИ

Герасимов Н.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: G.09072016nikita@yandex.ru

PHASE DIAGRAMS CALCULATION OF THE BINARY SOLUTIONS As-Te AND As-Tb WITHIN THE FRAMEWORK OF THE GENERALIZED LATTICE MODEL

Gerasimov N.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: G.09072016nikita@yandex.ru

Аннотация. На основе обобщённой решёточной модели описаны моновариантные фазовые равновесия в бинарных растворах As-Te и As-Tb. Найдены параметры обобщённой решёточной модели для указанных систем, выполнен расчёт диаграмм состояния бинарных растворов As-Te и As-Tb во всей области концентраций.
Ключевые слова: *диаграммы состояния, бинарные растворы, промежуточные фазы, эвтектические системы, химическая термодинамика.*

Abstract. In the framework of the generalized lattice model the monovariant equilibria in the binary solutions As-Te and As-Tb are described. The parameters of generalized lattice model for these systems are obtained; phase diagrams of the binary solutions As-Te and As-Tb was derived for the whole concentration range.
Keywords: *phase diagrams, binary solutions, intermediate phases, eutectic systems, chemical thermodynamics.*

Исследование диаграмм состояния бинарных и многокомпонентных растворов на протяжении многих десятилетий является одной из важных проблем химической термодинамики и материаловедения [1, 2]. Моделирование фазовых диаграмм бинарных и многокомпонентных растворов является значимым направлением физики для различных областей науки и техники [3]. Диаграммы состояния имеют широкое применение в различных областях науки и техники, служат научной основой при подборе сплавов, обладающих заданными свойствами, при изыскании методов термической обработки сплавов, при разработке и создании новых сплавов [3]. Так, в частности, экспериментальные диаграммы реальных систем позволяют прогнозировать физико-

химические свойства растворов и сплавов в широком интервале температур и составов. Кроме того, моделирование и изучение диаграмм состояния используют в материаловедении, металлургии, нефтепереработке, химической технологии (в частности, при разработке методов разделения веществ), производствах электронной техники и микроэлектроники и т.п. С их помощью определяют направленность процессов, связанных с фазовыми переходами, осуществляют выбор режимов термообработки, отыскивают оптимальные составы сплавов и т.п. Фазовые диаграммы состояний являются неотъемлемой частью любого обсуждения свойств материалов в тех случаях, когда речь идёт о взаимодействии различных материалов [4]. Особенно фазовые диаграммы состояния важны в микроэлектронике, т.к. для изготовления выводов и пассивирующих слоёв там приходится использовать большой набор различных материалов [4].

Бинарные полупроводниковые растворы As-Te и As-Tb начинают активно использовать в различных областях микроэлектроники [4]. Теллур и тербий относятся к редким металлам. Как правило, редкие металлы, в том числе и тербий с теллуром, восстанавливают различными методами из чистых химических соединений. В большинстве случаев теллур используют при изготовлении транзисторов и приборов, которые предназначены для измерения интенсивности гамма-излучений. Чаще всего в промышленности используется не чистый неметалл, а его соединения с металлами, т.е. теллуриды. Так, например, соединение теллурида мышьяка является полупродником. Кроме того, существуют термоэлектрогенераторы, при изготовлении которых используются теллуриды висмута, свинца и сурьмы [5, 6]. Теллуриды некоторых металлов помогают поддержать нужную температуру во многих электронных и микроэлектронных устройствах. Тербий, в свою очередь, используется в производстве лазерной техники, в качестве оптического изолятора. Широкое применение тербия связано в основном с его использованием в люминофорах, то есть OLED-устройствах, телевизионных кинескопах и многом другом, а также в качестве катализатора при окислении в химических реакциях. Тербий используется для легирования фторида кальция, кальций вольфрамата и стронций молибдата, материалы, которые используются в твердотельных устройствах. В настоящее время особый интерес представляет собой соединение теллура и тербия – теллурид тербия, так как это прекрасный термоэлектрический материал. Кроме того, большой практический интерес представляют собой и гетероструктуры на основе бинарных систем As-Te и As-Tb [5, 6]. В связи с этим исследование фазовых равновесий в системах As-Te и As-Tb в широком интервале температур и различных концентраций представляет собой важную и актуальную задачу физического материаловедения и физико-химического анализа. Однако

следует отметить, что большинство данных по фазовым равновесиям указанных бинарных системах являются экспериментальными [1], что затрудняет прогнозирование механических и тепловых свойств сплавов As-Te и As-Tb при изменении их составов и/или температуры. Данная работа посвящена теоретическому построению фазовых диаграмм растворов As-Te и As-Tb в рамках обобщённой решёточной модели (см., например, [7, 8]). Исследование бинарных эвтектических систем с ограниченной растворимостью одного из компонентов в рамках обобщённой решёточной модели было детально изложено в работе [9].

Согласно экспериментально установленным данным, фазовые диаграммы бинарных растворов As-Te и As-Tb относятся к одному типу диаграмм состояния эвтектического типа с пренебрежимо малой растворимостью компонентов в твёрдом состоянии при наличии промежуточной фазы постоянного состава, т.е. конгруэнто плавящегося химического соединения A_mB_n, приведённому на рисунке 1.

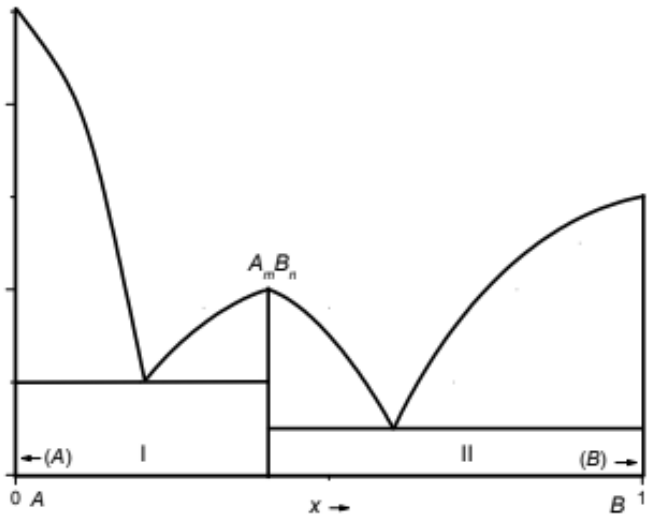


Рисунок 1. Диаграмма состояния бинарного раствора эвтектического типа с пренебрежимо малой растворимостью компонентов в твёрдом состоянии при наличии промежуточной фазы постоянного состава

Метод расчёта подобных диаграмм состояния в рамках ОРМ был предложен в работе [10]. Предложенный метод в работе [10] имеет ряд преимуществ. В первую очередь, данный метод позволяет простым геометрическим образом решить проблему учёта возможной химической связи в растворе, приводящей к образованию устойчивого химического соединения. В этом случае единственным модельным ограничением является предполагаемое отсутствие диссоциации соединения. Кроме того, предложенный подход не привязан к каким-либо модельным допущениям, касающимся явного термодинамического потенциала, тем самым допуская возможность реализации в рамках практически любой модели раствора.

Причем расчёт отдельных подсистем исходной диаграммы состояния может осуществляться стандартными методами статистической термодинамики [11, 12].

Можно заметить, что левая и правая части данной диаграммы схожи с обычной диаграммой с простой эвтектикой. Значительное различие обеих частей диаграммы на рисунке 1 от диаграммы с простой эвтектикой состоит в том, что мольные доли x компонента B меняются в интервалах $0 \le x \le n/(m+n)$ и $n/(m+n) \le x \le 1$ соответственно. Как вывод, длины отрезков оси составов, которые относятся к левой и правой частям диаграммы, равны $n/(m+n)$ и $m/(m+n)$, хотя длина концентрационной оси любой диаграммы, и эвтектической в том числе, должна быть равна единице. Поэтому указанные отличия не позволяют применять уже хорошо развитые методы расчёта диаграмм с одной эвтектической точкой к моделированию отдельных частей диаграмм с промежуточными фазами. Однако выделенная проблема может быть решена с помощью соответствующей замены концентрационных переменных, которая предложена в работе [10]. Данный метод позволяет корректным образом сводить расчёт диаграмм состояния с промежуточными фазами к цепочке диаграмм отдельных подсистем. При этом единственным модельным ограничением является предполагаемое отсутствие диссоциации соединения [10].

Так, при расчёте диаграмм состояния As-Te и As-Tb необходимо знать концентрационные зависимости ликвидуса. Согласно основным положениям обобщённой решёточной модели, концентрационные зависимости правой и левой ветвей ликвидуса диаграммы бинарной системы с простой эвтектикой определяются следующими уравнениями [13, 14]:

$$T_R = \frac{q_1 T_1 + \left(\frac{W\lambda}{R}\right)\left\{\frac{1-x}{[x+\lambda(1-x)]}\right\}^2}{q_1 - \ln x}, \qquad (1)$$

$$T_L = \frac{q_2 T_2 + (W/R)\{(x/[x+\lambda(1-x)]\}^2}{q_2 - \ln(1-x)},$$

где x – мольные доли первого компонента в жидкой фазе; $T_i = t_i + 273.15$ – температуры плавления чистых компонентов, приведённые к абсолютной шкале; λ – отношение «собственных» атомных объёмов компонентов; W – аналоги энергии смешения в жидкой фазе; $q_i = \Delta H_i/RT_i$, здесь ΔH_i – скрытая теплота перехода жидкость – твёрдое тело в чистых компонентах, R – универсальная газовая постоянная.

Параметры обобщённой решёточной модели для диаграммы состояния рассматриваемого типа определяются по координатам эвтектической точки (T_0, x_0) с помощью формул [13, 14]:

$$\lambda = \frac{q_1(T_0 - T_1) - T_0 \ln x_0}{q_2(T_0 - T_2) - T_0 \ln(1 - x_0)} \left(\frac{x_0}{1 - x_0} \right)^2, \qquad (2)$$

$$\frac{W}{R} = \frac{q_1(T_0 - T_1) - T_0 \ln x_0}{\lambda} \left(\frac{x_0 + \lambda(1 - x_0)}{1 - x_0} \right)^2.$$

Система уравнений (1), (2) является замкнутой, что позволяет исследовать гетерофазные состояния бинарных растворов данного типа в широком интервале температур и составов. При этом необходимые параметры обобщённой решёточной модели вычисляются по формулам (2), а температурные зависимости ликвидуса и солидуса определяются решениями нелинейных уравнений (1). Пользуясь техникой, представленной в работе [10], было проведено исследование фазовых равновесий в системе As-Te (см. рисунок 2).

Таблица 1. Параметры обобщённой решёточной модели для диаграммы состояния As-Te.

Система As-Te			
q_1	70,48	q_{11}	2,893
q_2	2,269	q_{22}	106,699
λ	35,94	λ_1	0,339
W_R	$3{,}608 \cdot 10^3$	W_R	$-6{,}512 \cdot 10^3$

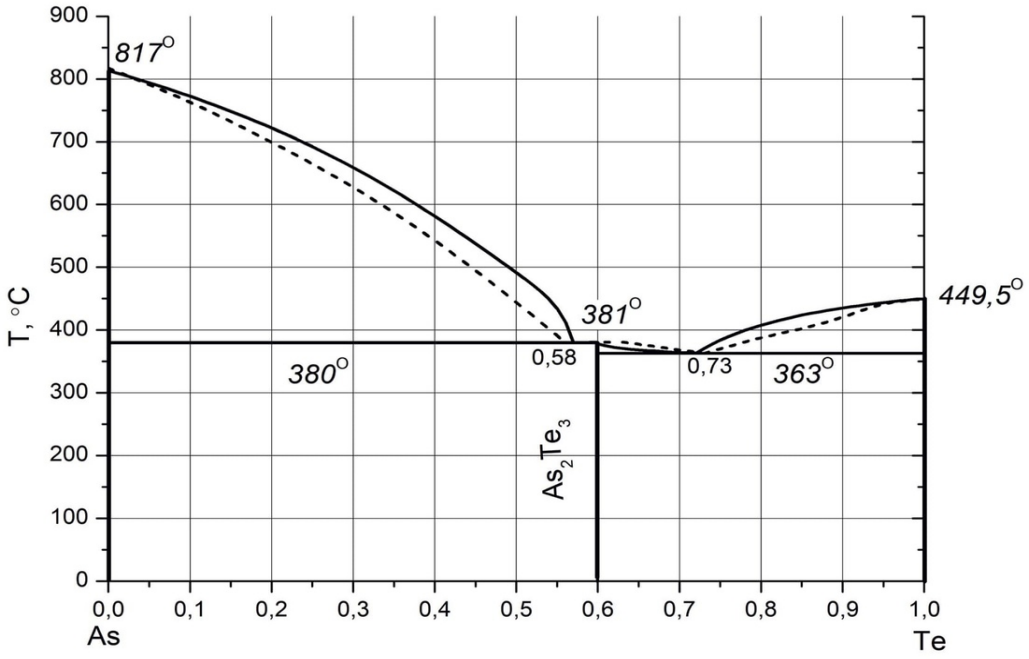


Рисунок 2. Диаграмма состояния As-Te. (Сплошная линия – теоретические данные, пунктирная линия – экспериментальные данные [1])

Аналогичным образом исследовалась система As-Tb.

В диаграмме состояния As-Tb существует граничный твёрдый раствор на основе Tb. Область существования этого раствора ограничена солидусом и сольвусом. Расчёт диаграммы состояния сводится к моделированию соответствующих двухфазных равновесий выше или ниже температуры эвтектики. Задача расчёта кривых ликвидуса, солидуса и сольвуса правой подсистемы $A_mB_n - B$ распадается на три:

1. Равновесие жидкость – твёрдый α-раствор ($x > x_0$, $y > y_0$, $T > T_0$):

$$T(x,y) = \frac{q_1T_1 + W_R\lambda\left(\frac{1-x}{x+\lambda(1-x)}\right)^2 - U_R\lambda\left(\frac{1-y}{x+\lambda(1-y)}\right)^2}{q_1 - \ln\left(\frac{x}{y}\right)} = \frac{q_2T_2 + W_R\left(\frac{x}{x+\lambda(1-x)}\right)^2 - U_R\left(\frac{y}{x+\lambda(1-y)}\right)^2}{q_2 - \ln\left(\frac{1-x}{1-y}\right)}, \quad (3)$$

2. Равновесие жидкость – химическое соединение A_mB_n($x < x_0$, $T > T_0$):

$$q_2\left(T_2 - T(x)\right) + T\ln(1-x) + W_R\frac{x^2}{(x+\lambda(1-x))^2} = 0, \quad (4)$$

3. Для двухфазного равновесия твёрдый α-раствор – химическое соединение A_mB_n($y > y_0$, $T < T_0$) имеем:

$$T(y)\ln(1-y) + U_R\frac{y_2}{\left(y+\lambda(1-y)\right)^2} = 0. \quad (5)$$

Решение уравнения (3) определяет правую ветвь ликвидуса и правую ветвь солидуса рассматриваемой диаграммы состояния. Решение уравнения (4) позволяет определить левую ветвь ликвидуса. Наконец, решение уравнения (5) определяет правую ветвь сольвуса диаграммы состояния.

Параметры обобщённой решёточной модели для диаграмм состояния As-Tb представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры обобщённой решёточной модели для диаграммы состояния As-Tb.

Система As-Tb			
q_1	14,489	q_{11}	0,744
q_2	2,269	q_{22}	14,489
λ	0,433	λ_1	1,585
W_R	$-1{,}128\cdot10^4$	W_R	$-1{,}543\cdot10^4$

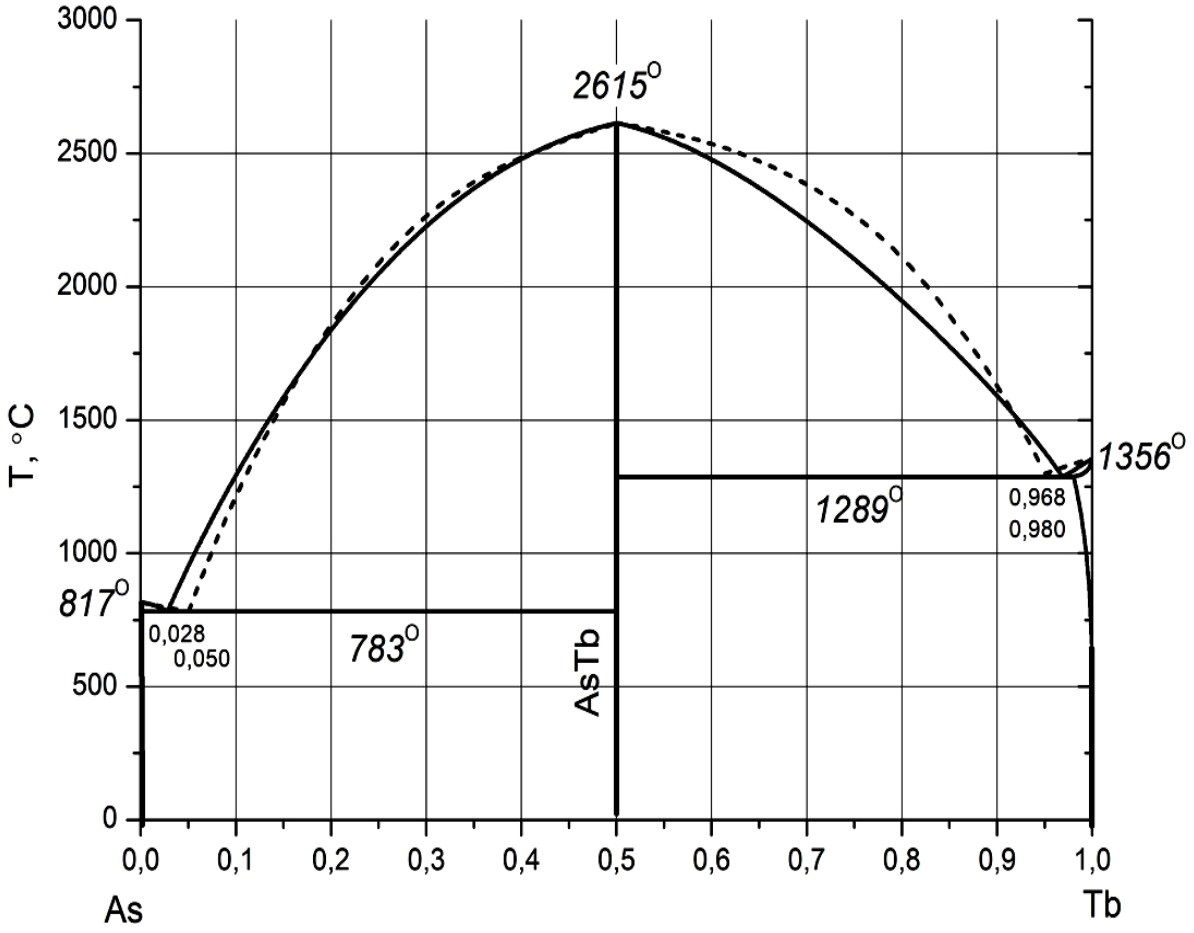


Рисунок 3. Диаграмма состояния As-Tb. (Сплошная линия – теоретические данные, пунктирная линия – экспериментальные данные [1])

Диаграммы состояния, полученные методом, описанным в работе [10], хорошо согласуются с обобщёнными диаграммами бинарных систем As-Te и As-Tb, представленными в [1]. При этом наблюдается практически полное соответствие расчётных и экспериментальных кривых ликвидуса. В заключение сформулируем основные результаты работы. В рамках обобщённой решёточной модели были рассчитаны концентрационные зависимости правой и левой ветвей ликвидуса для диаграмм состояния бинарных систем As-Te и As-Tb, а также проведено качественное сравнение с экспериментальными данными. С использованием новых концентрационных переменных стало возможно сводить построение диаграмм состояния с двумя промежуточными фазами постоянного состава к расчёту цепочки диаграмм с простой эвтектикой отдельных подсистем.

Можно отметить, что обобщённая решёточная модель может быть применена для построения фазовых диаграмм практически любых реальных бинарных растворов рассмотренного типа.

Литература

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник. В 3 т. / под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996–2000.
2. Захаров, А.Ю., Терехов С.В. Теория диффузии атомов в славах // ФММ. 1985. Т. 59. Вып. 2. С. 261–268.
3. Фазовые диаграммы [Электронный ресурс]. URL: https://studopedia.info/7-22296.html (дата обращения: 06.05.2020).
4. Фазовые диаграммы [Электронный ресурс]. URL: https://natalibrilenova.ru/blog/5492-fazovaya-diagramma.html (дата обращения: 06.05.2020).
5. Теллур [Электронный ресурс]. URL: http://sainfo.ru/chem/elem/el33.html (дата обращения: 07.05.2020).
6. Тербий [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ (дата обращения: 07.05.2020).
7. Zakharov, A.Yu., Zakharov, M.A., Loginova, O.V. Connection between generalized lattice model of multicomponent systems and Ginzburg-Landau theory // Int. J. Quant. Chem. 2004. Vol. 100. P. 435–441.
8. ZakharovA, Yu., Zakharov, M.A., Lebedev, V.V. Generalized lattice model of multicomponent equilibrium and non-equilibrium systems // Int. J. Quant. Chem. 2005. Vol. 104. P. 126–132.
9. Захаров, М.А., Бараблин, Д.О., Панов, Г.А. Моделирование эвтектических диаграмм состояния бинарных растворов при наличии растворимости одного из компонентов в твёрдом состоянии // Вестник НовГУ. 2012. № 68. С. 12–15.
10. Захаров, М.А. Термодинамика бинарных растворов эвтектического типа с промежуточными фазами постоянного состава // ФТТ. 2007. Т. 49. Вып. 12. С. 2204–2208.
11. Смирнова, Н.А. Молекулярные теории растворов. М.: Химия, 1987. 336 с.
12. Глазов, В.М., Павлова, Л.М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия. М.: Металлургия, 1988. 560 с.
13. Корзун Е.Л., Терехов С.В. Расчёт термодинамических свойств жидких растворов // ЖФХ. 1987. Т. 61. № 5. С. 1186–1189.
14. Терехов, С.В., Радченко, В.Н. Функции смешения двойных растворов тугоплавких металлов // Известия вузов. Чёрная металлургия. 1990. № 3. С. 8–11.

Статья рекомендована к печати
доктором ф.-м. н., профессором Захаровым М.А.

УДК 681.327.8:621.337.2
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.21

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА КАНАЛА МКИО ПРОТОКОЛА

Ильин А.Ю.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: rkkturn@gmail.com

DEVELOPMENT OF THE CHANNEL CONTROL OF MCIE PROTOCOL

Ilin A.Y.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: rkkturn@gmail.com

Аннотация. Разработаны алгоритм и программа ПЛИС контроллера канала на языке System Verilog для протокола мультиплексного канала информационного обмена. Была произведена отладка и симуляция модуля в программе ModelSim путём написания тестбенча.
Ключевые слова: *МКИО, контроллер канала, информационный обмен.*

Abstract. Program and algorithm of channel control was developed during this work. SimulationandtestofworkwereconductedinModelSim.
Keywords: *MCIE, channel controller, information exchange.*

Введение

На данный момент существует множество распространённых интерфейсов информационного обмена, например, SPI, RS-232, RS-485 и другие. Также используются более специфичные протоколы, в число которых входит MIL-STD-1553B или его российский аналог – мультиплексный канал информационного обмена. МКИО протокол применяется в основном в авиационной технике. Для большей надёжности в этом протоколе используется дополнительная избыточная линия передачи информации.

Описание протокола

Основная структурная схема приведена на рисунке 1. Протокол имеет шинную организацию – есть одна общая магистраль, а к ней подключаются абоненты. В качестве абонентов выступают – контроллер канала, оконечное устройство и монитор.

Рассматриваемый протокол предусматривает резервирование. То есть каждый из абонентов может быть подключен к двум каналам – основному и резервному (канал А и канал Б).

Контроллер канала – центральное устройство системы. Он инициирует весь обмен информации в протоколе, посылает команды оконечному устройству, может как передавать информацию ОУ, так и принимать.

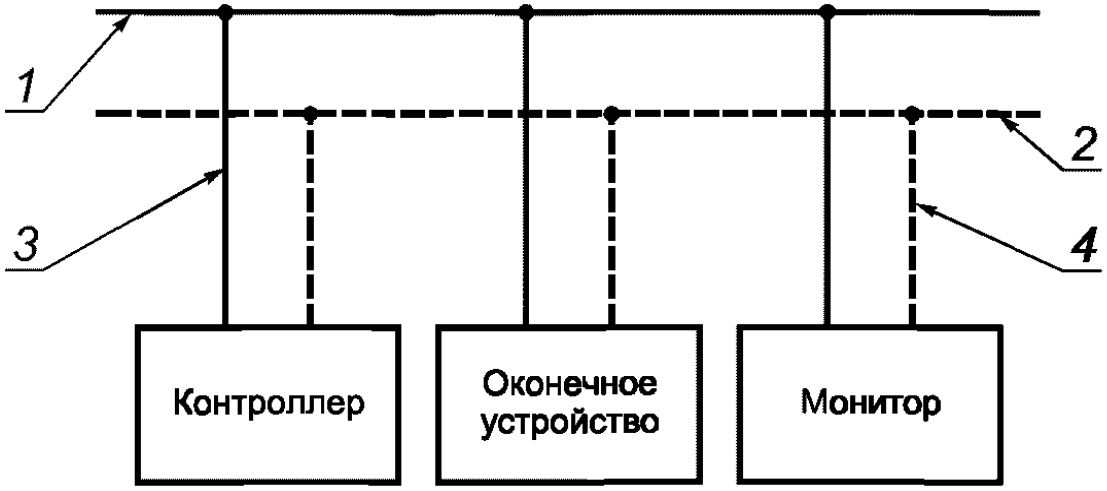


Рисунок 1. Структура магистрали: 1) магистральная шина;
2) резервная магистральная шина; 3) ответвитель; 4) резервный ответвитель

Оконечное устройство в протоколе ожидает командные слова от контроллера канала, обрабатывает их и отдаёт ответное слово обратно. Каждое ОУ имеет уникальный адрес в 5 бит. Всего оконечных устройств может быть 31 в связи с устройством протокола.

Стандарт также предусматривает возможность организации иерархической системы, то есть каждое из оконечных устройств при необходимости может стать контроллером канала, что также увеличивает надёжность работы системы.

Монитор – следит за информацией в канале, собирает статистику и прочее.

Физический уровень

Рассмотрим физический уровень подключения абонента к магистрали. Протокол предусматривает два вида подключения – с одинарной и двойной трансформаторной развязкой. Схему следует выбирать из учёта расстояния от абонента до магистрали. Схема подключения представлена на рисунке 2, где: IT – изолирующий трансформатор; CT – согласующий трансформатор; Zo – волновое сопротивление.

Следует уточнить, что одинарная трансформаторная развязка используется, если протяжённость соединения до основной магистрали не превышает 30 см. Двойная трансформаторная развязка используется, если протяжённость соединения не превышает 6 метров.

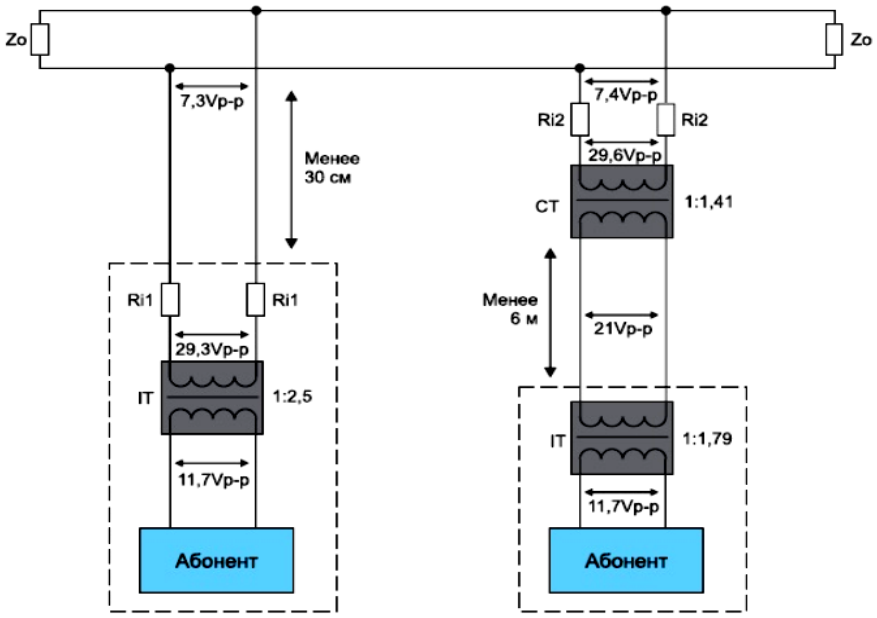


Рисунок 2. Два вида схемы подключения абонента к магистрали

Логический уровень

Информация в канале передаётся с частотой 1 МГц словами по 20 бит. Слова передаются пакетами. Количество слов в пакете может быть разным (от 1 до 32). Также стоит сказать, что вся информация в протоколе передаётся в коде «Манчестер-2». Это означает, что схема должна содержать кодер и декодер этого кода.

«Манчестер-2» относится к самосинхронизирующимся кодам и имеет нулевую постоянную составляющую. Передача нулей и единиц определяется не уровнем, а переходом с уровня на уровень.

Протокол также предусматривает два вида синхросигнала, которые позволяют отличать командные слова от информационных. Согласно стандарту протокола, слова могут иметь три различных формата: командное слово, информационное слово и ответное слово. Битовый состав этих слов изображён на рисунке 2.



Рисунок 2. Битовый состав слов

Командное слово передаётся от контроллера канала оконечному устройству. Командное слово содержит в себе адрес оконечного устройства, которому предназначена информация, субадрес и сколько именно слов будет передано на это оконечное устройство или принято с него. Бит приёма–передачи (WR) говорит о том, в каком направлении будут передаваться последующие за командным словом информационные слова. Если WR = 0, контроллер канала передаёт данные на оконечное устройство. Если WR = 1, контроллер канала принимает данные от оконечного устройства.

Если командное слово содержит не субадрес, а признак команды (все биты субадреса равны 1 или 0 – 00000, либо 11111), то вместо количества слов передаётся номер команды.

Также стоит отметить, что если в поле адреса оконечного устройства передаётся адрес со значением 1111, то это означает групповую рассылку – данное сообщение передаётся каждому подключённому оконечному устройству. Именно это объясняет то, что всего оконечных устройств может быть не 32, а 31.

Информационное слово содержит только данные разрядностью 16 бит и может передаваться как от контроллера канала к оконечному устройству, так и в обратном направлении. Что и понятно – информацию нужно передавать как на периферию, так и на центральную машину.

Ответное слово передаётся оконечным устройством на контроллер канала. Оно необходимо для подтверждения того, что периферия приняла пакет. Для того чтобы контроллер канала знал, от кого пришло ответное слово, в нём содержится адрес ОУ. Остальные биты несут служебную информацию:

A – признак ошибки в сообщении;

B – инструментальный бит;

C – запрос на обслуживание;

X – зарезервировано, может использоваться по усмотрению разработчика;

D – признак принятия групповой команды;

E – признак занятости абонента;

F – флаг неисправности абонента;

G – признак принятия управления каналом;

H – флаг неисправности.

Следует упомянуть инструментальный бит (B). Использование инструментального бита позволяет мониторам отличать командные слова от ответных. Значит, при использовании этого бита количество возможных значений SUBADDR сокращается с 30 до 14. Если в поле «количество слов» N указана цифра 0, то имеется в виду 32 слова.

В каждом из этих слов используется бит паритета (Parity, P). Бит паритета должен иметь такое значение, чтобы общее количество единиц в слове (за исключением синхросигнала) было нечётным.

На рисунке 3 приведён пример контрольного, информационного и ответного слов в виде манчестерского кода.

На рисунке 3, *а* представлена передача командного слова с требованием оконечному устройству с адресом 5 (ADDR RT = 5) принять (так как WR = 0) набор данных с субадресом 2 (SUBADDR = 2) в количестве девяти информационных слов (так как N = 9). Бит паритета в конце этого слова равен 0, потому что количество единиц в слове, не считая синхросигнала, нечётно.

На рисунке 3, *б* представлено также командное слово, но с требованием оконечному устройству с адресом 3 передать (так как WR = 1) обратно набор данных с субадресом 7, в количестве слов 32 (так как N = 0).

На рисунке 3, *в* представлено информационное слово. Напомним, что его от других слов отличает свой синхросигнал. Поле D имеет значение 1A37 hex (hex означает, что число представлено в шестнадцатеричном виде).

На рисунке 3, *г* представлено ответное слово, переданное от оконечного устройства с адресом 5.

На этих временных диаграммах видно, что спектр сигнала при обмене информацией по протоколу МКИО имеет две составляющие:

1 МГц – при передаче либо всех нулей, либо всех единиц;

0,5 МГц – при передаче чередующихся нулей и единиц.

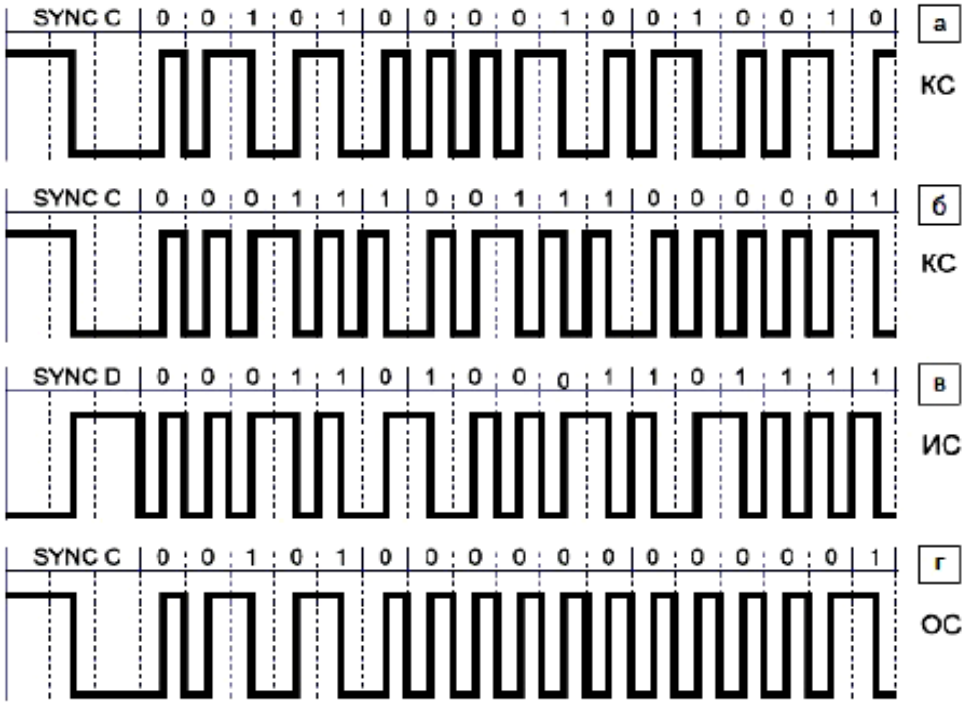


Рисунок 3. Примеры слов в манчестерском коде

Форматы передачи

В основном используется всего несколько форматов, которые приведены на рисунке 4. Всего в ГОСТе рассматривается 10 форматов сообщений, но самыми распространёнными являются форматы 1, 2 и 4. Передача слов осуществляется в строгом порядке. Также обязательна задержка времени t_1 между словом данных и ответным словом, и t_2 перед новой передачей и командным словом.

На рисунке 4 формат 1 представлен пакет передачи информации от контроллера канала оконечному устройству. Заголовком пакета в этом случае является командное слово, содержащее адрес нужного оконечного устройства, субадрес и количество слов, которые контроллер канала собирается передать. Далее, без всяких временных задержек, один за другим, передаются все информационные слова. После передачи последнего информационного слова должен быть выдержан тайм-аут t_2, перед тем как оконечное устройство отправит ответное слово, сообщающее контроллеру канала о состоянии принятых данных. Следующий пакет можно начинать передавать, только выдержав тайм-аут t_1. Необходимо добавить, что если контроллер канала собирается передать информационное слово всем абонентам, то в этом случае ответное слово в пакете отсутствует.

На рисунке 4 формат 2 представлена структура пакета при передаче данных от оконечного устройства на контроллер канала. Заголовком пакета является командное слово с соответствующим битом приёмо-передачи. Далее, выждав тайм-аут t_2, оконечное устройство сначала передаёт обратно в магистраль ответное слово и сразу за ним, без всяких задержек, нужное количество информационных слов, указанное в командном слове. Следующий пакет также можно начинать передавать только после тайм-аута t_1.

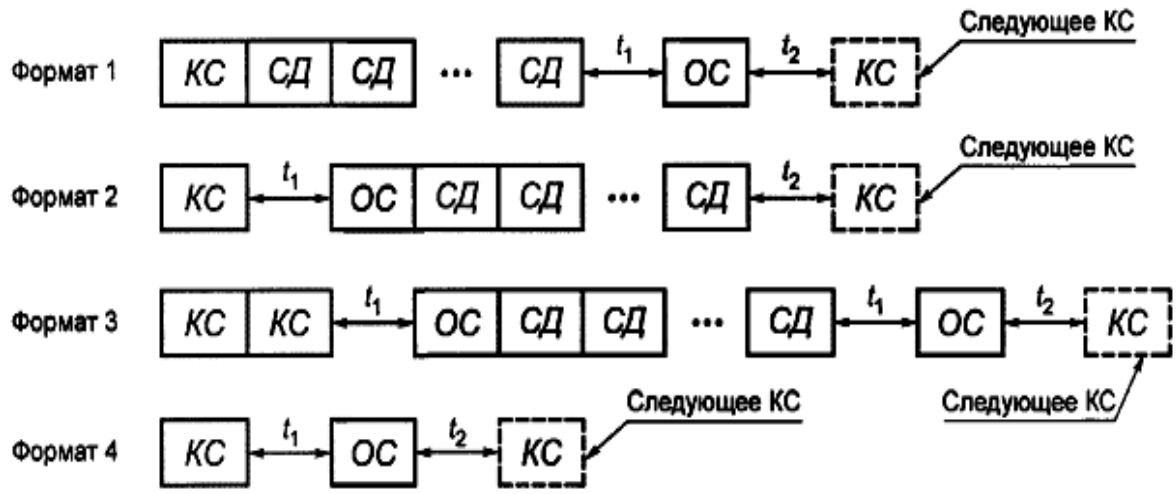


Рисунок 4. Форматы сообщений в протоколе

Ход работы

Модуль контроллера канала в ходе работы был разбит на несколько меньших частей. Для его реализации были написаны такие модули, как: передатчик, приёмник и главный управляющий модуль. Для хранения информации были использованы готовые модули памяти, которые можно найти в программе quartus. Также был использован готовый модуль фильтр помех, который гасит искажения на выходе.

Алгоритм разработанного передатчика следующий: на него из главного модуля приходит слово, которое нужно отослать, затем слово преобразуется в манчестерский код, затем передача останавливается, и передатчик ждёт сигнал для передачи следующего слова. Слово состоит из 20 бит. Необходимо обеспечить скорость передачи данных в 1 МГц. Для этого каждый бит передаётся 150 тактов кварцевого генератора ПЛИС. Передача происходит по двум линиям – прямой и инверсной.



Рисунок 5. Пример отправки командного слова передатчиком

```
always_ff @(posedge clk)
    begin : txinv_process
        if (o_rdreq == 1'd0 && i_enable)
        case (o_bit_num)
            0 : tx_inv <= 1'b0;
            1 : tx_inv <= ~i_word_type;
            2 : tx_inv <= ~(i_word_type ^ half_bit_time);
            3 : tx_inv <= i_word_type;
      BIT_NUM : tx_inv <= ~(parity ^ half_bit_time);
      default : tx_inv <= ~(i_data[BIT_NUM-1-o_bit_num] ^ half_bit_time);
        endcase
        else
        tx_inv = 1'd0;
    end
```

Основную работу выполняет данная часть кода:

Когда на модуль приходит слово, необходимое для передачи, данный автомат состояний в передатчике начинает свою работу. Он выгружает на линию сначала значение первого бита в течение 150 тактов, затем второго и так далее. Отсчёт тактов ведут счётчики. Когда номер бита доходит до 20-го, автомат состояний выставляет бит паритета.

Далее рассмотрим приёмник. Приёмник должен вовремя обнаруживать начало приёма данных, правильно их считывать и переводить их из манчестерского кода в стандартный вид. После принятия слова приёмник должен отправить его в главный модуль. Принятое слово

всегда должно соответствовать виду манчестерского кода и удовлетворять условию паритета. Приёмник имеет два основных входа – один прямой, другой инверсный. Когда передача отсутствует, на оба входа подаются нули. В момент, когда линии будут находиться в противоположных значениях – 1 и 0, либо 0 и 1 означает, что обнаружен сигнал. Так можно задетектировать начало слова.

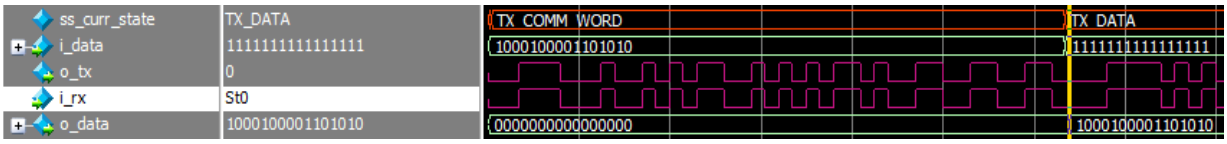


Рисунок 6. Пример работы приёмника

На рисунке 6: сигнал o_tx – это сигнал, отправленный с передатчика. Для проверки работы приёмника передатчик и приёмник были соединены. Сигнал o_tx является входным для приёмника. Вход обозначен как i_rx. Исходя из принятого сигнала, приёмник должен распознать, какая информация была передана. С передатчика отправлялось слово, которое обозначено i_data – 1000100001101010. Значение входа приёмника o_data в конце приёма изменило своё значение с 0000000000000000 на 1000100001101010. Это означает, что приёмник правильно распознал принятый сигнал и является работоспособным.

Далее рассмотрим вкратце, что делает главный модуль. Главный модуль объединяет в себе все остальные модули: приёмник, передатчик, память, фильтр. Основную часть главного модуля занимает автомат состояний. Автомат состояний – это алгоритм, цепочка действий, по которой пойдет работа модуля, чтобы передать посылку. В случае ошибки при написании автомата состояний произойдёт рассинхронизация между оконечным устройством и контроллером канала. Например, контроллер канала по ошибке перейдёт в состояние, когда ожидает приходящую информацию от оконечного устройства, при этом само оконечное устройство также ожидает приёма информации. Поэтому автомат состояний должен быть очень строго написан и множество раз проверен в различных ситуациях работы.

Главный модуль должен в нужное время посылать сигналы на передатчик для отправки информации, должен вовремя переключаться в состояние приёма информации, должен поддерживать ранее рассмотренные форматы посылок (по крайней мере, форматы 1, 2 и 4), формировать задержки между сообщениями и прочее.

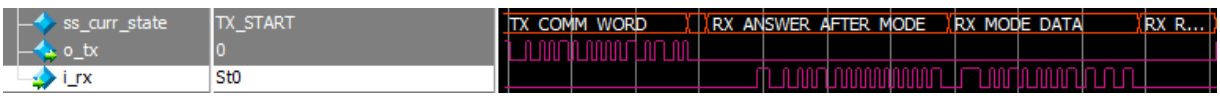


Рисунок 7. Пример работы главного модуля при работе с форматом посылки 4

На рисунке, в правой его части, показаны переходы автомата состояний. TX_COMM_WORD обозначено состояние отправки сообщения. Используется передатчик и его линия o_tx. Затем идёт время задержки. Далее идёт состояние RX_ANSWER_AFTER_MODE, в котором главный модуль передаёт сигнал в приёмник, что ожидает приёма сообщения. Сигнал приходит на линию i_rx. Приходит сначала ответное слово, а затем сразу одно слово данных. После этого автомат переходит в состояние RX_RESPONCE_TIME, которое создаёт задержку перед подачей нового командного слова.

Литература

1. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральной последовательной системы электронных модулей. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 23 с.
2. MIL-STD-1553 Tutorial. Freiburg: AIM GmbH, 2010. 82 с.
3. Разработка контроллера протокола MIL-STD-1553B на ПЛИС [Электронный ресурс]. URL: https://www.kit-e.ru/preview/pre_123_12_13_milstd_mk.php/

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, профессором Петровым М.Н.

УДК 517.5
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.22

О ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДОВ ПОИСКА ЭКСТРЕМУМОВ ФУНКЦИИ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ

Родченко Д.Д.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: dmitriy_rodchenko@list.ru

ON THE PROGRAM IMPLEMENTATION OF A SEARCH METHODS OF AN EXTREMUM OF THE FUNCTION OF MANY VARIABLES

Rodchenko D.D.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: dmitriy_rodchenko@list.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается программа, которая реализует методы случайного поиска экстремумов. Программа позволяет решать довольно широкий класс проблем поиска экстремумов целевой функции с высокой точностью.
Ключевые слова: *случайный поиск, глобальная оптимизация, стохастическая оптимизация.*

Abstract. In this thesis work discusses the software implementation ofrandom search methods of an extremum. This program allows to solve a fairly wide class of problems of finding the extremum of an objective function with high accuracy).
Keywords: *random search, global optimization, stochastic optimization.*

Пусть целевая функция $f: \mathbb{R}^d \mapsto \mathbb{R}$ принимает минимальное значение в единственной точке x_*. Рассмотрим задачу поиска точки глобального минимума x_* с заданной точностью $\varepsilon > 0$. Один из способов решения этой задачи состоит в применении алгоритмов случайного поиска экстремума функции (см. [1–5]). Такие методы давно и успешно используются при решении сложных задач оптимизации. Данная работа является продолжением работ [1–5] и посвящена компьютерной программе, реализующей рассмотренные в [1–5] алгоритмы марковского монотонного поиска экстремума. Представленная компьютерная программа дополняет программы [1–5] и использует язык программирования Java для реализации алгоритмов, которые в [1–5] реализованы на языке программирования C#.

В качестве пространства оптимизации будем рассматривать пространства $X = \mathbb{R}^d$ и $X = [a, b]^d$ с d-мерной мерой Лебега μ и метрикой

$$\rho_\infty(x,y) = \max_{1\le n\le d}|x_n - y_n|,$$

где $x = (x_1, \ldots, x_d)$ и $y = (y_1, \ldots, y_d)$. Замкнутый шар радиуса r с центром в точке x обозначим как $B_r(x) = \{y \in X: \rho_\infty(x,y) \le r\}$. Метрика ρ_∞ выбрана по соображениям простоты моделирования рассматриваемого случайного поиска.

Для поиска точки минимума используются следующие методы:

1. Алгоритм Марковского однородного монотонного случайного поиска [1];
2. Алгоритм Марковского однородного случайного поиска с нормальным распределением [2];
3. Алгоритм Марковского неоднородного случайного поиска с нормальным распределением [3].
4. Алгоритм Марковского неоднородного случайного поиска [4];
5. Алгоритм Марковского однородного случайного поиска с распределением Ингбера [5].

Рассмотрим подробнее алгоритм марковского однородного монотонного случайного поиска [1]. Опишем рассматриваемый поиск с помощью алгоритма моделирования. Обозначение «$\eta \leftarrow P(\cdot)$» читается так: «получить реализацию случайного вектора η с распределением P». Для чисел и точек в пространстве оптимизации операции вида $k \leftarrow 1$ и $\xi \leftarrow$ x обозначают обычные операции присвоения.

Алгоритм моделирования 1

Шаг 1. $\xi_0 \leftarrow$ x, $k \leftarrow 1$.

Шаг 2. $\eta_k \leftarrow P(\xi_{k-1}, \cdot)$.

Шаг 3. Если $f(\eta_k) \le f(\xi_{k-1})$, то $\xi_k \leftarrow \eta_k$, иначе $\xi_k \leftarrow \xi_{k-1}$

Шаг 4. Если $k = N$, то завершить работу алгоритма.

Шаг 5. $k \leftarrow k+1$ и перейти к шагу 2.

Здесь x – начальная точка поиска, N – число шагов поиска, $P(x, \cdot)$ – марковская переходная функция [1].

На первом шаге алгоритма 1 выполняется инициализация случайного поиска. На втором шаге алгоритма 1 получаем новую «пробную» точку в пространстве оптимизации. Новую «пробную» точку выбираем случайно, используя распределение $P(\xi_{k-1}, \cdot)$. Переходную функцию $P(x, \cdot)$ будем называть *пробной переходной функцией*.

На третьем шаге алгоритма 1 сравниваем новую пробную точку со старой точкой поиска ξ_{k-1}. Если новая пробная точка η_k не хуже старой точкой поиска ξ_{k-1}, то поиск переходит в новую точку η_k, иначе поиск остаётся в старой точке поиска.

На четвёртом шаге алгоритма 1 проверяем условие остановки поиска.

Ключевой вопрос выбора для исследуемого типа поиска – это выбор вида пробной переходной функции $P(x, \cdot)$. При выборе переходных

функций обычно используют два критерия. Во-первых, поиск должен быть достаточно эффективным (требовать не слишком большого числа шагов для решения поставленной задачи). Кроме того, моделирование распределения $P(x, \cdot)$ должно быть достаточно простым.

Рассмотрим случайный поиск алгоритма 1, функции $P(x, \cdot)$ которого обладают симметричными плотностями вида $p(x,y) = g(\rho_\infty(x,y))$, где ρ_∞ – метрика, а g – невозрастающая неотрицательная функция, определённая на полуоси (0,+ ∞). Функция g – форма поиска. Пусть при $0 < \nu < \theta \le \Theta$ (ν, θ, Θ – параметры поиска) форма поиска g задается следующей формулой:

$$g(r) = \frac{1}{2^d \lambda} \begin{cases} \nu^{-d} при\ 0 < r \le \nu, \\ r^{-d} при \nu < r \le \theta, \\ \theta^{-d} при \theta < r \le \Theta, \\ 0, если\ иначе, \end{cases}$$

где $\lambda = d\ln(\theta/\nu) + \Theta^d/\theta^d$ – нормирующая константа (обеспечивающая необходимое для плотности условие нормировки).

Через $U_r(x, \cdot)$ обозначим равномерное распределение в шаре $B_r(x)$, т.е. положим $U_r(x, \cdot) = \mu(\cdot \cap B_r(x))/\mu(B_r(x))$. Пусть α – равномерно распределённая на отрезке [0,1] случайная величина. Получим алгоритм 2 моделирования случайного вектора ζ, имеющего распределение $P(x, \cdot)$ с формой (1).

Алгоритм моделирования 2

1. Получить α.
2. Если $\alpha \ge d\ln(\theta/\nu)/\lambda$, то $r \leftarrow \Theta$, иначе $r \leftarrow \nu \exp(\lambda\alpha/d)$.
3. $\zeta \leftarrow U_r(x, \cdot)$, завершить работу алгоритма.

Рассмотрим подробнее алгоритм марковского однородного случайного поиска с нормальным распределением [2]. Очень часто в качестве пробных переходных функций используют нормальное распределение вероятностей (см., например, [2]). В данной работе мы воспользуемся смесью нормальных распределений со стандартными отклонениями, принадлежащими интервалу $[\nu, \Gamma]$, где числа ν и Γ являются параметрами метода. Для выбора пробной переходной функции осталось определить правило построения смеси нормальных распределений. Здесь мы воспользуемся в точности такой же смесью распределений, какая была использована в работе [1], но только смешивать будем не равномерные распределения в d-мерных кубах, а нормальные распределения вероятностей.

Моделирование новой пробной точки поиска проходит в два этапа. На первом этапе специальным образом моделируется стандартное отклонение σ. На втором этапе моделируем d независимых нормальных

случайных величин с нулевым средним и полученным стандартным отклонением σ.

Эти случайные величины добавляем к текущей точке поиска ξ_{k-1} для получения новой «пробной» точки η_k на втором шаге алгоритма 1.

Пусть $\gamma = \Gamma/2^{1/d}$ и $0 < \nu < \gamma \leq \Gamma$. Положим $\lambda = d\ln(\gamma/\nu) + 2$, $p = d\ln(\gamma/\nu)/\lambda$ и $q = \lambda/d$. Пусть α – равномерно распределённая на отрезке $[0,1]$ случайная величина.

Алгоритм моделирования стандартного отклонения

Шаг 1. Получить α.

Шаг 2. Если $\alpha \geq p$, то $\sigma \leftarrow \Gamma$, иначе $\sigma \leftarrow \nu \exp(\alpha q)$.

В случае, когда $\gamma \leq \nu$ полагаем $\sigma = \Gamma$.

На втором этапе для моделирования для нормальных случайных величин воспользуемся модифицированным полярным методом. Модифицированный полярный метод предназначен для моделирования двух независимых стандартных нормальных случайных величин ζ_1 и ζ_2. Пусть α_1 и α_2 – независимые равномерно распределённые на отрезке $[0,1]$ случайные величины.

Алгоритм моделирования стандартного нормального распределения

Шаг 1. Получить α_1 и α_2. $\beta_1 \leftarrow 2\alpha_1 - 1, \beta_2 \leftarrow 2\alpha_2 - 1, \delta \leftarrow \beta_1^2 + \beta_2^2$.

Шаг 2. Если $\delta > 1$, то перейти к шагу 1.

Шаг 3. $t \leftarrow \sqrt{-2\ln(\delta)\ /\ \delta}$, $\zeta_1 \leftarrow \beta_1 t$, $\zeta_2 \leftarrow \beta_2 t$.

Поскольку приведённые алгоритмы моделирования достаточно просты, то и в целом алгоритм моделирования случайного поиска достаточно легко программируются.

Рассмотрим подробнее алгоритм марковского однородного монотонного случайного поиска с распределением Ингбера [5]. Для построения распределения $P(x, \cdot)$ воспользуемся распределением, применяемым Л. Ингбером в методе сверхбыстрого отжига (very fast annealing) [7]. Сам алгоритм поиска Л. Ингбера устроен достаточно сложно. Дело в том, что Л. Ингбер использовал алгоритм отжига, а не простой монотонный поиск. Приведём цитату (см. [7]), относящуюся к методу сверхбыстрого отжига Л. Ингбера: «Среди недостатков этого метода можно назвать то, что ввиду большого количества параметров иногда требуется несколько месяцев, чтобы хорошо настроить его для решения конкретной задачи». Ясно, что столь большие трудности в выборе параметров поиска являются серьёзным препятствием для применения метода. Поэтому упростим метод Л. Ингбера, сделав его более удобным для применения.

В данной работе мы воспользуемся распределением, применяемым Л. Ингбером, но существенно упростим правила построения поиска. Во-первых, вместо алгоритма отжига мы будем использовать монотонный поиск с простым правилом перехода в новую точку поиска на третьем

шаге алгоритма 1. Во-вторых, наш поиск будет однородным, то есть нам не нужно будет менять пробную переходную функцию во время выполнения поиска (в методе Ингбера переходная функция меняется на каждом шаге поиска). Примеры применения написанной компьютерной программы показывают, что полученный простой алгоритм поиска является достаточно эффективным.

Опишем способ моделирования, выбранного для реализации однородного марковского монотонного случайного поиска. Представленный поиск имеет всего три параметра. Параметрами, задающими пробную переходную функцию, служат положительные числа ν и Γ, для которых должны выполняться неравенства $0 < \nu \leq \Gamma$. Третьим параметром служит N – число шагов поиска.

Для описания алгоритма моделирования пробной переходной функции воспользуемся результатами [5]. Пусть случайный вектор $\Psi^* = (\psi_1^*, \dots, \psi_d^*)$ со значениями в $[-1,1]^d$ имеет плотность $h(x)$, задаваемую следующей формулой

$$h(x) = \prod_{n=1}^{d} \frac{1}{2(|x_n| + \nu)\ln(1 + 1/\nu)},$$

где $x = (x_1, \dots, x_d)$, $x_n \in [-1,1]$.

Используя метод обратных функций, несложно получить моделирующую формулу для ψ_n^*:

$$\psi_n^* = \operatorname{sgn}(\alpha_n - 1/2)\nu\left((1 + 1/\nu)^{|2\alpha_n - 1|} - 1\right),$$

где через α_n обозначена равномерно распределённая на отрезке $[0,1]$ случайная величина, а sgn – сигнум-функция.

Для построения изучаемого поиска используем случайный вектор $\Psi = (\psi_1, \dots, \psi_d)$ с распределением, аналогичным вектору Ψ^* и со значениями в $[-\Gamma, \Gamma]^d$. Для получения вектора Ψ компоненты вектора Ψ^* нужно умножить на Γ. Таким образом, приходим к следующей моделирующей формуле для ψ_n:

$$\psi_n = \operatorname{sgn}(\alpha_n - 1/2)\nu\Gamma\left((1 + 1/\nu)^{|2\alpha_n - 1|} - 1\right).$$

Для получения новой «пробной» точки η_k на втором шаге алгоритма 1 этот случайный вектор $\Psi = (\psi_1, \dots, \psi_d)$ добавляем к «старой» точке поиска ξ_{k-1}. Таким образом полагаем $\eta_k = \xi_{k-1} + \Psi_k$.

Поскольку приведённая моделирующая формула достаточно проста, то и в целом алгоритм моделирования случайного поиска достаточно легко программируется. Для разработки данной программы используется среда программирования IntelliJIDEA 2016 и язык программирования Java. Среду

разработки IntelliJIDEA можно использовать бесплатно, и поэтому IntelliJIDEA может служить удобным инструментом для научных расчётов.

Для применения поиска нужно задать целевую функцию, параметры поиска и начальную точку поиска. Результатами поиска будут конечная точка поиска (приближающая точку глобального минимума) и значение целевой функции в конечной точке поиска.

Параметры поиска и начальную точку поиска легко задать в главном окне программы. Код функции можно написать непосредственно в коде программы (на языке Java). При написании кода, вычисляющего значение целевой функции, как правило, достаточно минимальных сведений о каком-нибудь языке программирования типа C, C++, C#, Java.

Для вычислений в программе используется числовой тип double, обеспечивающий точность в 15–16 знаков. Отметим, что этот числовой формат ограничивает возможную точность решения задачи. Рассуждая несколько упрощённо, получим следующие выводы. Если целевая функция ведёт себя приблизительно как квадратичная функция в окрестности глобального минимума, то при точности аппроксимации по аргументу порядка 10^{-8} мы получим точность аппроксимации по значению функции порядка 10^{-16}. Если минимальное значение целевой функции принадлежит интервалу $(1,10)$, то числовой тип double, обеспечивающий точность в 15–16 знаков, не позволит вычислять значение функции с точностью выше 10^{-16}. Таким образом, возможная точность решения задачи составит порядка 10^{-7} при аппроксимации по аргументу, и порядка 10^{-14} при аппроксимации по значению функции. Такой точности, как правило, достаточно с практической точки зрения. И такую точность решения задачи можно получить при использовании рассматриваемой программы поиска при решении не слишком сложных задач оптимизации.

Числовые примеры

$\Theta = 0{,}7$;

Пример 1. Воспользуемся примером целевой функции из [6].

Пространство $X = [-8{,}8]^2, x = (x_1, x_2)$, N = 500, $\nu = 0{,}02$.

$$f(x) = f(x_1, x_2) = \frac{1}{2}\left((x_1^4 - 16x_1^2 + 5x_1) + (x_2^4 - x_2^2 + 5x_2)\right).$$

Функция f имеет четыре локальных минимума, один из которых является глобальным, $f(x_*) = -78.332$, $x_* = (-2.903, -2.904)$.

Начальная точка поиска выбрана $x = (4{,}0,\ 6{,}4)$ и $f(x) = 537{,}18$.

Пример 2. Воспользуемся примером целевой функции из [6].

Пространство $X = R^2, x = (x_1, x_2)$,

$f(x) = f(x_1, x_2) = x_1^4 + x_1^2 + x_1 x_2 + x_2^2$.

Функция f принимает минимальное значение в единственной точке $x_* = (0, 0)$ и $f(x_*) = 0$.

Начальная точка поиска выбрана $x = (1,\ 1)$ и $f(x) = 4$.

$\nu = 0{,}02$; N = 100;

$f(x_*) = 2.426\text{E} - 5$.

$x_* = (-0.002, 0.006)$.

$\nu = 1.0\text{E} - 7$; N = 1000;

$f(x_*) = 2.839\text{E} - 15$.

$x_* = (3.632\text{E} - 8, -1.042\text{E} - 7)$.

$\nu = 1.0\text{E} - 24$; N = 10000;

$f(x_*) = 4.140\text{E} - 50$.

$x_* = (1.931\text{E} - 25, 1.940\text{E} - 26)$.

Литература

1. Tikhomirov, A.S. On the program implementation of a Markov homogeneous monotonous random search algorithm of an extremum // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 441, 2018, 012055. P. 1–8.
2. Tikhomirov, A.S. On the program implementation of a Markov homogeneous random search algorithm of an extremum with normal distributions // Journal of Physics: Conference Series, 1352, 012052, 2019, P. 1–7.
3. Tikhomirov, A.S. On the program implementation of a Markov inhomogeneous random search algorithm with normal distributions // Journal of Physics: Conference Series, 1352, 012053, 2019, P. 1–8.
4. Tikhomirov, A.S. On the program implementation of one inhomogeneous Markov algorithm of search for extremum // Journal of Physics: Conference Series, 1352, 012054, 2019, P. 1–9.
5. Tikhomirov, A.S., Kropacheva, N.Yu. On the program implementation of a Markov homogeneous random search algorithm of an extremum with Ingber's distribution // Journal of Physics: Conference Series, 1352, 012055, 2019, P. 1–7.
6. Spall, J.C. Introduction to stochastic search and optimization: estimation, simulation, and control. New Jersey, Wiley, 2003.
7. Лопатин, А.С. Метод отжига // Стохастическая оптимизация в информатике. 2005. Вып. 1. С. 133–149.

Статья рекомендована к печати
канд. физ.-мат. наук, доцентом Тихомировым А.С.

УДК 621.382.33:621.385.63
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.23

РАЗРАБОТКА СЕМЕЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ СВЧ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С РАБОЧЕЙ ЧАСТОТОЙ 3–7 ГГЦ

Мизева Д.М.

Новгородский государственный университет имени ЯрославаМудрова
E-mail: mizyovad@mail.ru

DEVELOPMENT OF THE FAMILY OF SILICON MICROWAVE BIPOLAR TRANSISTORS WITH A WORKING FREQUENCY OF 3–7 GHZ

Mizyova D.M.
Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: mizyovad@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены особенности технологии и конструкции семейства СВЧ биполярных транзисторов. Для их изготовления использована кремниевая технология с топологической нормой 1 мкм.
Ключевые слова: *биполярный транзистор, кремний, компактная модель.*

Abstract. The paper discusses the features of technology and design of a family of microwave bipolar transistors. For their manufacture, silicon technology with a topological norm of 1 μm was used.
Keywords: *bipolar transistor, silicon, compact model.*

Введение

В современной электронике и микроэлектронике широко используются СВЧ-транзисторы. Они получили широкое применение в СВЧ-генераторах, приёмо-передающих устройствах, а также в системах коммерческой телекоммуникации, базовых станциях сотовых линий связи. Совершенствование технологии изготовления транзисторов [1] позволяет интегрировать их в сложную новейшую аппаратуру.

Современные СВЧ-транзисторы на кремнии с граничными частотами в диапазоне 5–10 ГГц находятся на пределе возможностей кремниевой технологии [1, 2]. Поэтому для их производства необходима тщательная проработка технологического процесса изготовления и конструкции СВЧ биполярного транзистора.

При изготовлении транзисторов необходимо подобрать материал, удовлетворяющий требованиям ТЗ. Одним из важнейших критериев оценки является напряжение пробоя p–n-перехода. Основными механизмами возможного пробоя являются лавинный, связанный с

увеличением напряжённости электрического поля в области пространственного заряда нижнего p–n-перехода, и эффекты перемещения полей пространственного заряда (сквозной пробой и смыкание обеднённых областей). Напряжение пробоя $U_{КЭ}$ разрабатываемых транзисторов ограничено нижним пределом в 5 В, 7 В и 10 В. С учётом запаса по напряжению мы должны получить напряжения в 10 В и 15 В. Теоретические зависимости величины напряжения пробоя p^+–n-перехода от концентрации примеси в подложке кремния представлены на рисунке 1.

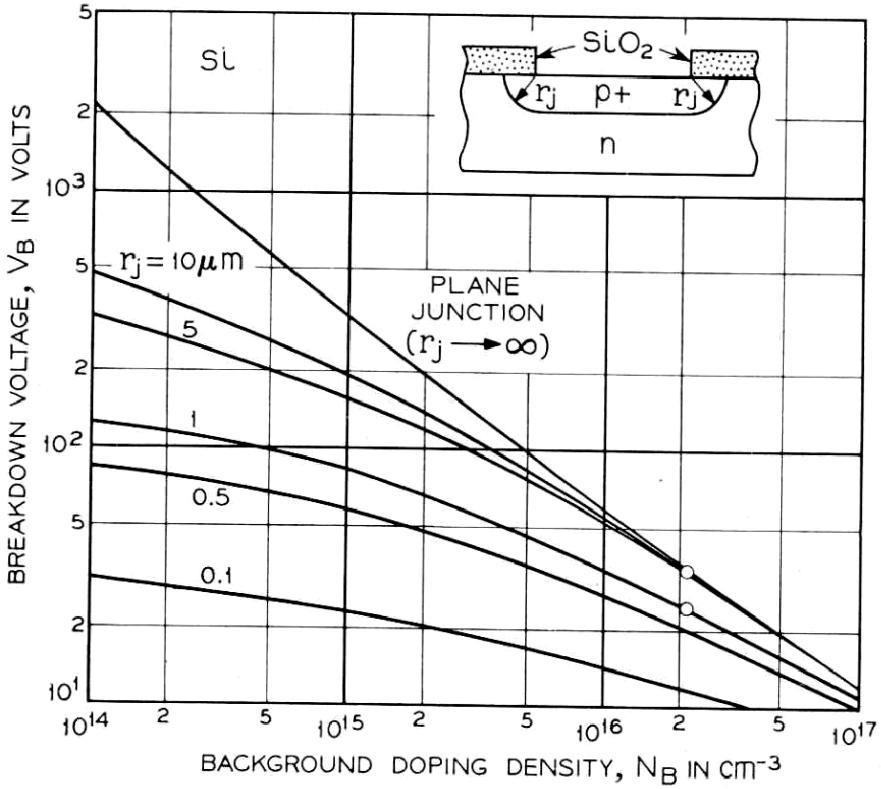


Рисунок 1. Теоретические зависимости напряжения пробоя кремниевого p^+–n-перехода с различной глубиной залегания r_j от концентрации примеси в подложке [2]

При глубине залегания p^+–n-перехода $r_j \approx 0{,}1$ мкм значение напряжения пробоя в 10 В достигается при концентрации примеси в эпитаксиальной плёнке порядка $2 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$, а для 15 В эта величина $1 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$. Из кривых Ирвина получаем значения удельного сопротивления эпитаксиальной плёнки около 0,3 и 0,5 Ом·см.

1. Разработка технологического маршрута изготовления малошумящих СВЧ биполярных транзисторов

Исходным материалом служит высоколегированная подложка n^+-типа (для n–p–n транзисторов). На подложке выращивается высокоомный эпитаксиальный n-слой, после чего с помощью операций окисления, маскирования и травления переходят к процессам по созданию высоколегированной p^+-области пассивной базы, p-области активной базы

и высоколегированной n^+-области эмиттера. На обратной стороне подложки создаётся контакт к области коллектора. Далее выполнен анализ и обоснование наиболее важных для изготовления СВЧ-транзистора технологических операций.

Химическая обработка и отмывка

Пластины обрабатываются в перекисно-аммиачном растворе и отмываются деионизованной водой. Операция проводится перед всеми термическими операциями, ионным легированием и напылением металлов.

Окисление

Окисление производится в сухом кислороде и парах воды при температуре 1000 °С 20 минут в кислороде, 40 минут в парах воды, 20 минут в кислороде. Для малошумящих биполярных n–p–n транзисторов малой и средней мощности толщина окисного слоя порядка 0,6 мкм. В случае биполярного n–p–n транзистора большой мощности толщина окисла выбирается равной 0,4 мкм.

1-я фотолитография

Назначение данной фотолитографии – вскрытие окон в области коллектора (рисунок 2) для формирования пассивной базы. После совмещения, экспонирования и проявления производится ионно-химическое травление двуокиси кремния до толщины 0,07–0,1 мкм.

Параметры режима травления: ускоряющее напряжение 3 кВ, ток 200 мА, время 30–40 мин.

Далее производится дотравливание «островков» SiO_2 с доведением их ширины до 2–3 мкм для малошумящих биполярных n–p–n транзисторов малой и средней мощности и до 5,5–6,5 мкм для биполярного n–p–n транзистора большой мощности производится химически.

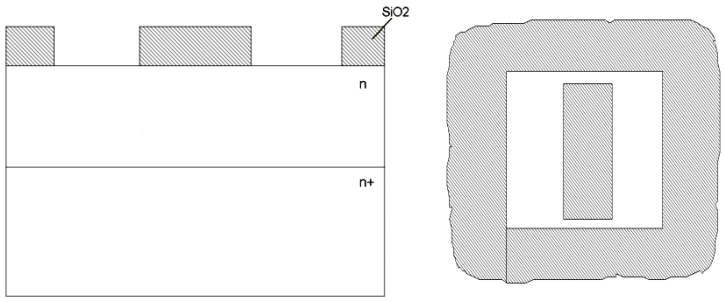


Рисунок 2. Вскрытие окон к области коллектора:
слева – поперечное сечение; справа – вид сверху

Формирование «пассивной» базы путём ионного легирования и отжига

Для формирования пассивной базы для всех вариантов СВЧ-транзисторов (рисунок 3) используется легирование ионами BF_2 с дозой 800 мкКл. Отличие только в энергиях:

- 50 кэВ (что позволяет достичь глубины залегания слоя ~ 0,35–0,45 мкм) для транзисторов малой и средней мощности;

• 100 кэВ (что соответствует глубине 0,5–0,650 мкм) для транзисторов большой мощности.

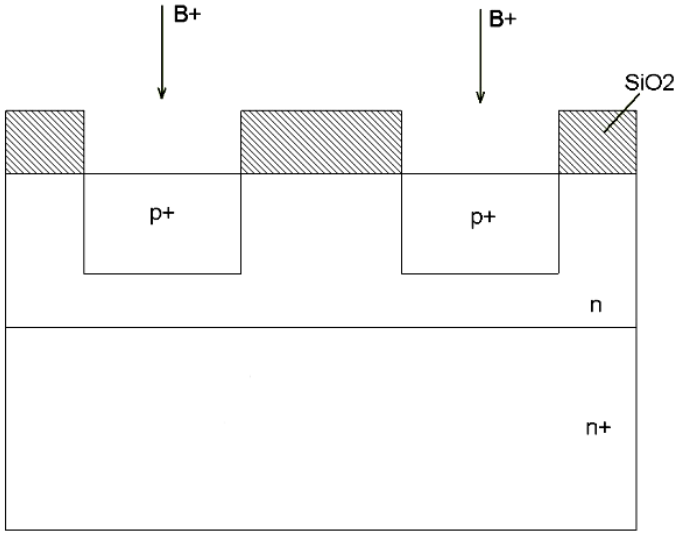


Рисунок 3. Формирование «пассивной» базы

2-я фотолитография

Предназначена для удаления «островков» двуокиси кремния, маскирующих область будущей «активной» базы. Травление производится химически.

Формирование «активной» базы

При формировании активной базы параметры ионной имплантации зависят от типа проектируемых транзисторов:

• для биполярных транзисторов малой и средней мощности используются ионы B^+ с энергией 50 кэВ и дозой 3 мкКл, что обеспечивает глубину залегания активной базы ~ 0,2–0,22 мкм;

• для биполярного транзистора большой мощности применяются ионы BF_2^+ с энергией 100 кэВ и дозой 4 мкКл, что обеспечивает глубину залегания активной базы ~ 0,29–0,32 мкм.

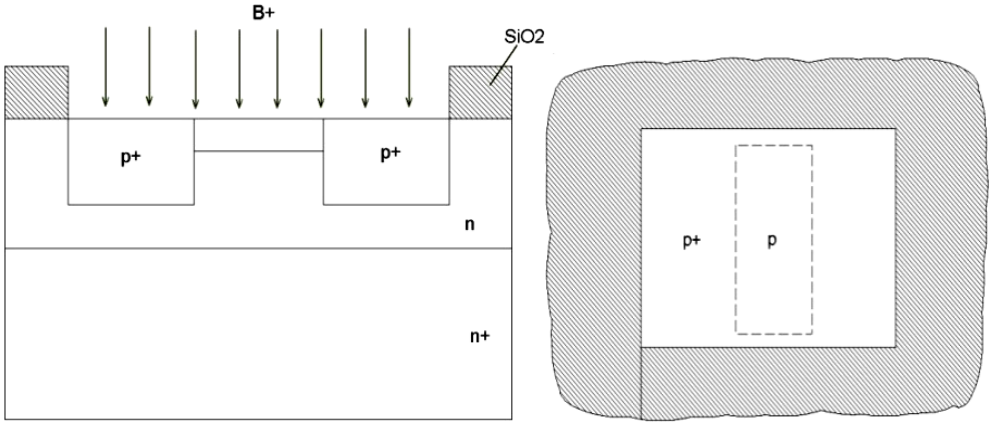


Рисунок 4. Формирование «активной» базы

Нанесение пиролитической плёнки двуокиси кремния SiO_2 и нитрида кремния Si_3N_4

Данная двухслойная композиция (рисунок 5) предназначена для последующего использования в качестве маски при формировании эмиттера:

- для слоя **SiO_2** – температура процесса 680 °С. Способ нанесения – испарение тетраэтоксисилана в вакууме.
- для слоя **Si_3N_4** – температура процесса 850 °С. Способ нанесения – химическое осаждение из газовой фазы (реакция смеси моносилана с аргоном и амиаком при температуре, в вакууме).

Толщина и состав плёнки зависят от типа транзистора:

- Для малошумящих биполярных n–p–n транзисторов малой и средней мощности: SiO_2 – 0,1 мкм, Si_3N_4 – 0,1 мкм, SiO_2 – 0,2 мкм;
- Для биполярного n–p–n транзистора большой мощности: SiO_2 – 0,4 мкм.

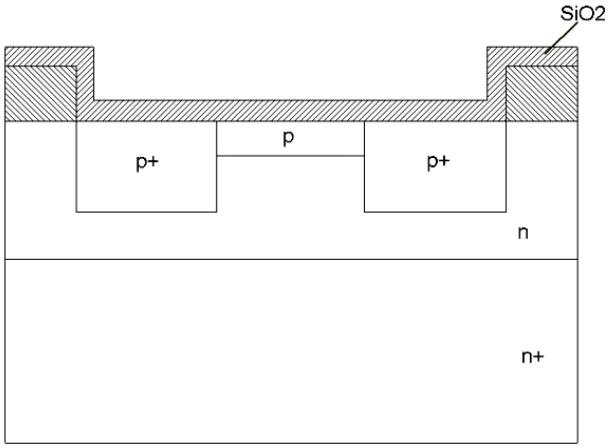


Рисунок 5. Нанесение пиролитической плёнки двуокиси кремния SiO_2 и нитрида кремния Si_3N_4

Отжиг «активной» базы

Здесь вид и параметры отжига зависят от типа транзисторов:

- для транзисторов малой и средней мощности используется фотонный отжи с температурой 1020 °С и временем 10 с;
- для транзистора большой мощности применяется термический отжиг с температурой 1000 °С и временем 10 мин.

3-я фотолитография

Эта фотолитография предназначена для вскрытия эмиттерного окна (рисунок 5).

Эмиттерная полоска (окно) должна вписаться в «островок» шириной 2–2,5 мкм, что обеспечивается соответствующей шириной «окна»:

- 0,8–1,0 мкм для транзисторов малой и средней мощности;
- 1,6 мкм для транзистора большой мощности.

Травление производится ионно-химическим способом в течение 20–30 мин.

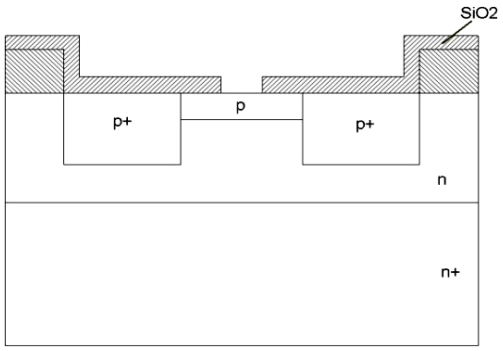


Рисунок 6. Вскрытие эмиттерных окон

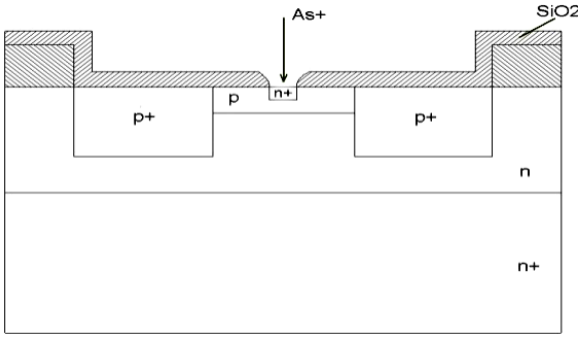


Рисунок 7. Формирование эмиттера

Третье ионное легирование

Эта операция используется для формирования эмиттера (рисунок 7). Здесь в качестве легирующей примеси используется фосфор, а параметры технологического процесса зависят от типа создаваемого транзистора:

- для транзисторов малой и средней мощности энергия ионов – 50 кэВ, доза – 800 мкКл, что обеспечивает глубину залегания эмиттера 0,1–0,14 мкм.
- для транзисторов большой мощности энергия ионов – 100 кэВ, доза – 1000 мкКл, что обеспечивает глубину залегания эмиттера 0,17–0,25 мкм.

Профили распределения примесей для обоих типов транзисторов приведены на рисунках 8 и 9 соответственно.

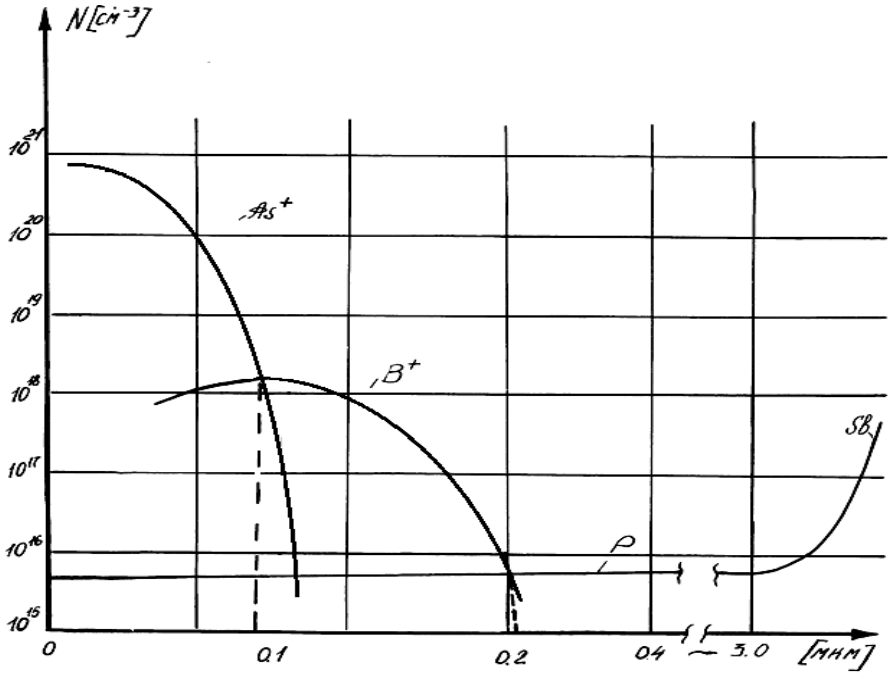


Рисунок 8. Профили распределения примесей для транзисторов малой и средней мощности

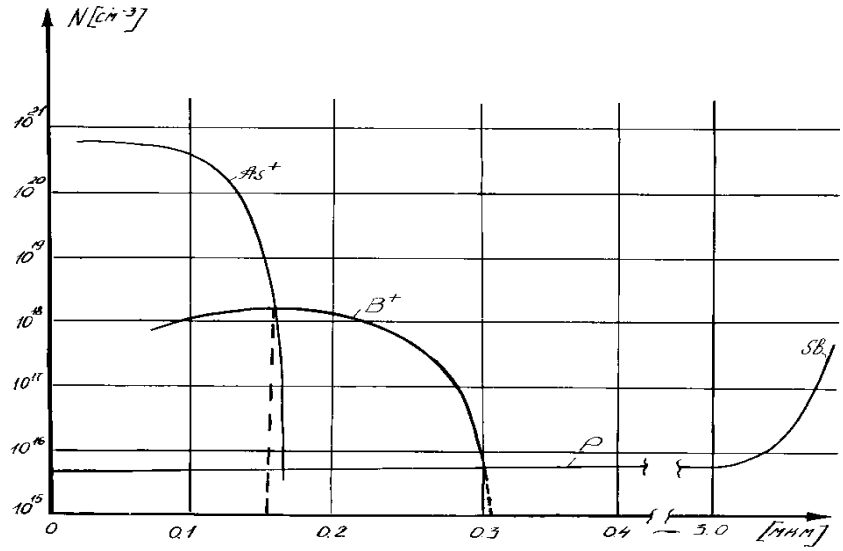


Рисунок 9. Профили распределения примесей
для транзисторов большей мощности

Отжиг эмиттера

Для каждого типа транзисторов используются различные типы отжига:

- для транзисторов малой и средней мощности – фотонный с температурой T = 950 °C и длительностью 15–30 с;
- для транзисторов большой мощности – термический с температурой T = 950 °C и длительностью 10–25 мин;

4-я фотолитография

Здесь выполняется вскрытие контактных окон к базе (рисунок 10). Процесс травления ведётся так же, как и для 1-й фотолитографии.

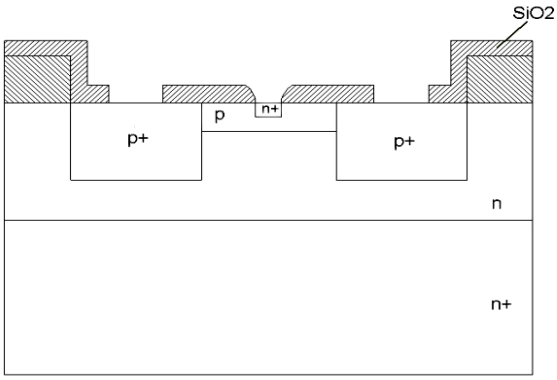


Рисунок 10. Вскрытие контактных окон к базе

Напыление системы металлизации титан–платина–золото

Для малошумящих биполярных n–p–n транзисторов малой и средней мощности напыление всех металлов производится в одном процессе на установке электронно-лучевого напыления «EvoVac»:

- толщина слоя титана 0,13 мкм;

- толщина слоя платины 0,15 мкм;
- толщина слоя золота 0,35 мкм.

Для транзистора большой мощности напыление производится методами магнетронного распыления и термического испарения:

- титан напыляется магнетронным способом толщиной 0,13 мкм;
- платина напыляется магнетронным способом толщиной 0,2 мкм;
- золото напыляется термически толщиной 0,7 мкм.

5-я фотолитография

Здесь формируется контактная металлизация к областям базы и эмиттера (рисунок 11).

Травление металлизации для создания необходимого рисунка производится ионами аргона в течение 40–50 мин.

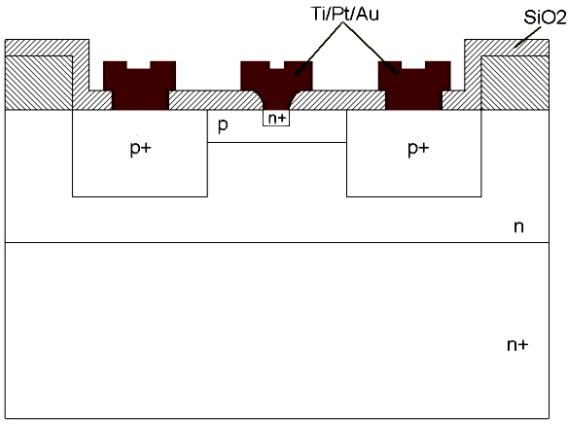


Рисунок 11. Формирование металлизации

Сошлифовка обратной стороны пластины

Пластины шлифуются до толщины 160–180 мкм. Перед сошлифовкой «прямая» сторона пластины защищается фоторезистом.

Напыление Au толщиной 0,05–0,1 мкм на обратную сторону пластины.

Вжигание металлического слоя осуществляется при температурах 300 ^{o}C и 360 ^{o}C, в течение 120 и 30 минут, соответственно. Это необходимо для улучшения контактного сопротивления.

Особенности конструкции СВЧ биполярного транзистора

Малошумящие СВЧ-транзисторы малой, средней и большой мощности изготавливаются по кремниевой технологии с граничной частотой до 10 ГГц.

Выбор варианта конструкции и технологии кремниевого СВЧ малошумящего транзистора диктуется общеизвестными формулами (1, 2 и 3) [3, 4]:

$$K_p = f_т/8\pi f^2 r_б C_к, \quad (1)$$

$$f_т = (2\pi\varphi_т C_э/I_э + 2\pi/\omega_т + 2\pi(R_к + r_б)C_{ка})^{-1}, \quad (2)$$

$$\omega_т = D_n(X_э)/L_a W_б, \quad (3)$$

где:

$K_р$ – коэффициент усиления по мощности;

$f_т$ – граничная частота;

f – частота измерения;

r_b – сопротивление базы;

$C_к$ – ёмкость коллекторного перехода;

$\varphi_т$ – температурный потенциал;

$\omega_т$ – предельная частота;

$C_{ка}$ – ёмкость активной части коллекторного перехода;

$D_n(X_э)$ – коэффициент диффузии электронов в базе;

L_a – характеристическая длина в распределении акцепторов;

W_b – толщина технологической базы.

Из рассмотрения формул видно, что для повышения характеристик СВЧ биполярного транзистора необходимо:

- снижать сопротивление базы. Для этого необходимо уменьшать контактные сопротивления, уменьшать зазоры между эмиттерным переходом и «пассивной» базой, увеличивать концентрацию акцепторов в базе.
- уменьшать ёмкости эмиттерного и коллекторного переходов. Однако при этом следует учитывать такие противоречивые требования, как увеличение тока эмиттера, уменьшение сопротивления коллектора и уменьшение толщины базы.
- уменьшать толщину базы и сопротивление коллектора, что, как отмечалось выше, входит в противоречие с требованием снижения ёмкости эмиттера.

Перечисленные противоречивые требования снимаются в планарной технологии конструированием встречно-штыревой структуры транзистора [5]. При этом полоски эмиттера чередуются с полосками контакта к базе. Схема поперечного сечения базовой ячейки биполярного транзистора со встречно-штыревой структурой приведена на рисунке 12.

Как показано выше, разрабатываемый транзистор должен иметь сильно легированную (пассивную) и слабо легированную (активную) области. Для обеспечения необходимого коэффициента усиления проектируемого транзистора концентрация примеси в базе под эмиттером должна быть порядка $(1–2)\cdot10^{18}$ $см^{-3}$, а толщина базового слоя 0,1–0,12 мкм. Для снижения сопротивления базы распределение примеси в «активной» базе желательно иметь близким к прямоугольному [6].

Область «пассивной» базы служит для снижения сопротивления базы транзистора и создания надёжного контакта к базе. «Пассивная» база формируется отдельно от «активной», а глубина её примерно в два раза больше глубины «активной» базы. Таким образом, для того, чтобы

«пассивная» база удовлетворяла поставленным требованиям, при её формировании необходимо обеспечить максимальную поверхностную концентрацию, небольшое поверхностное сопротивление и глубину порядка 0,4–0,6 мкм (рисунки 8 и 9).

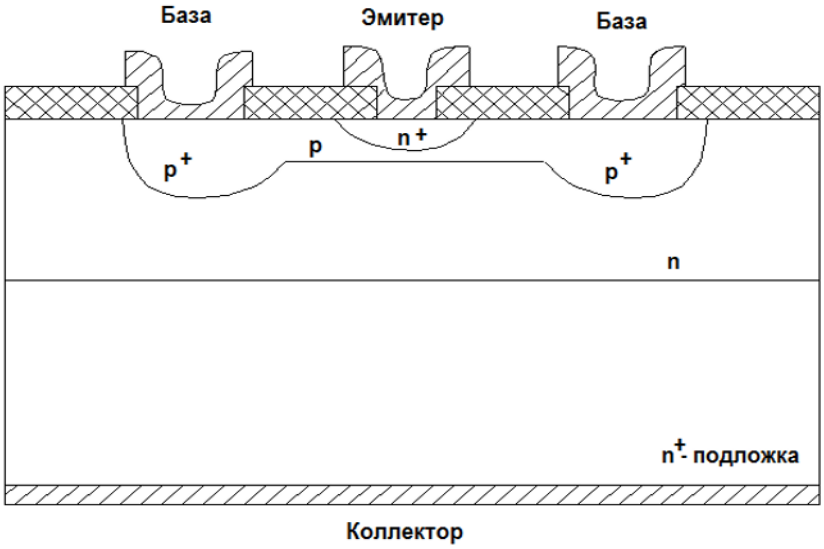


Рисунок 12. Схема поперечного сечения элементарной ячейки вертикального СВЧ биполярного транзистора со встречно-штыревой структурой

Выводы

В результате выполненной работы были получены опытные образцы семейства СВЧ кремниевых биполярных транзисторов. Транзисторы малой и средней мощности демонстрируют граничные частоты в районе 3 и 7 ГГц, соответственно. Транзисторы большой мощности – не менее 2,5 ГГц.

Литература

1. Дворников, О., Шульгевич, Ю. Проектирование и моделирование // Современная электроника. М.: СТА-Пресс, 2009. С. 48–53.
2. Абрамов, И.И. Моделирование элементов интегральных схем: курс лекций. Мн.: БГУ, 1999. 92 с.
3. Nonlinear Transistor Model Parameter Extraction Techniques // ed. Matthias Rudolph. Cambridge University Press, 2012. 352 p.
4. Петров, М.Н., Гудков, Г.В. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: учебное пособие. СПб.: Лань, 2011. 464 с.
5. Compact Modeling Principles, Techniques and Applications // ed. Gildenblat. Hardcover, 2010. 527 p.
6. Sandler, Steven M., Hymowitz, Charles. SPICE Circuit Handbook. McGraw-Hill, 2006. 311 p.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, профессором Петровым М.Н.

УДК 621.3.049.77:621.385.69
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.24

ФОРМИРОВАНИЕ СКВОЗНЫХ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ В АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫХ СВЧ МОНОЛИТНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Лукин В.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: lukinva23@mail.ru

FORMATION OF VIA HOLES IN GALLIUM ARSENIDE MMIC

Lukin V.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: lukinva23@mail.ru

Аннотация. Разработана технология формирования сквозных металлизированных отверстий в арсенид-галлиевых СВЧ монолитных интегральных схемах. Результаты плазмохимического травления анализировались с помощью профилометра. Рассмотрены зависимости средней скорости травления GaAs и фоторезиста от мощности ICP источника и давления в камере.
Ключевые слова: *плазмохимическое травление, арсенид галлия, индуктивно-связанная плазма, монолитная интегральная схема, сквозное отверстие.*

Abstract. A technology has been developed for the formation of via holes in gallium arsenide microwave monolithic integrated circuits. The results of plasma etching were analyzed using a profilometer. The dependences of the average etching rate of GaAs and photoresist on the power of the ICP source and the pressure in the chamber are considered.
Keywords: *plasma etching, gallium arsenide, inductively-coupled plasma, monolithic integrated circuit, via hole.*

Полупроводниковые соединения группы A^3B^5, в т.ч. GaAs – одни из наиболее перспективных материалов в твердотельной электронике. Область применения этих материалов чрезвычайно широка: от дискретных диодов до приборов на гетеропереходах. Основные области применения этого ряда соединений и твёрдых растворов на их основе – это производство полевых транзисторов. Одной из проблем в технологии создания твердотельных электронных устройств на основе соединений A^3B^5 является поиск эффективных способов обработки и травления поверхности монокристаллов, которые должны были бы обеспечивать требуемое качество поверхности (минимальную микрошероховатость и дефектность), неизменность химического состава поверхности и возможность управления этими характеристиками.

При изготовлении СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) на основе GaAs часто возникает необходимость формировать сплошную заземлённую металлизацию на обратной стороне пластины, контакт к которой осуществляется через металлизированные сквозные отверстия, которые формируются сквозь предварительно утоненную подложку GaAs. Сквозные отверстия можно формировать к истокам транзисторов, при этом металлизация отверстий и обратной стороны пластины выполняет роль теплоотвода, обеспечивающего эффективную передачу тепла радиатору. Заземление истоков транзисторов МИС на основе GaAs через сквозные отверстия технологически хорошо отработано и широко используется в процессе производства.

Сквозное отверстие через подложку, схематически показанное на рисунке 1, *а*, является важным компонентом для всех, кроме самых простых, схем, поскольку оно позволяет устанавливать заземление с низкой индуктивностью внутри схемы. Без сквозных отверстий устройства должны располагаться очень близко к краю микросхемы и заземляться либо металлизацией с обмоткой, либо соединительными проводами, как показано на рисунках 1, *б*, и 1, *в*. Эти методы заземления устанавливают серьёзные ограничения на топологию схемы. Тем не менее даже когда используются сквозные отверстия, есть несколько моментов, которые стоит учитывать в отношении заземления, которых следует избегать на стадии проектирования и компоновки. Самый важный принцип, который нужно помнить, заключается в том, что масса металла никогда не может считаться «заземляющим стержнем». Заземляющее соединение всегда должно рассматриваться как элемент линии передачи само по себе и соответствующим образом моделироваться [1].

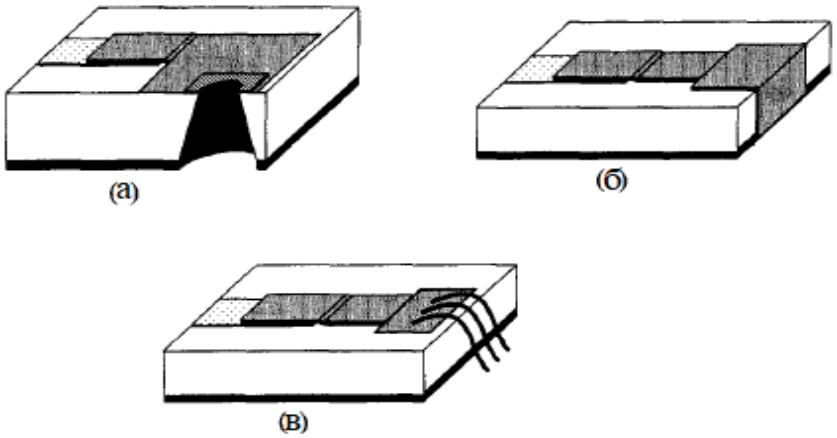


Рисунок 1. Методы заземления: а) сквозные отверстия подложки; б) заземление с обёртыванием; в) соединительные провода

Разработка и оптимизация процесса плазмохимического травления (ПХТ) является важнейшей операцией, так как при помощи этой операции формируются сквозные отверстия, которые являются универсальным и самым оптимальным способом заземления в СВЧ-диапазоне.

Результат ПХТ, особенно производимого на большую глубину (более 10–20 мкм), зависит от большого количества параметров, что делает отработку и оптимизацию этого процесса длительным и затратным мероприятием. Поэтому, принимая в расчёт результаты [2], были выделены важнейшие технологические параметры, значения которых оптимизировались, это рабочее давление p и мощность источника индуктивно-связанной плазмы (ICP) P_{ICP}.

Результаты экспериментальных исследований

Скорость химической реакции в процессе ПХТ зависит от концентрации реагентов, т.е. концентраций химически активных частиц плазмы и активных центров на обрабатываемой поверхности. Изменение параметров ПХТ, которые меняют эти концентрации, влияет на скорость травления материалов. Основными параметрами, которые влияют на протекание процесса ПХТ, являются: мощность, вкладываемая в электрический разряд, создающий плазму; давление рабочего газа; скорость подачи рабочего газа; температура подложки в процессе обработки; число одновременно обрабатываемых подложек или суммарная обрабатываемая площадь.

Операционные параметры, которые задавались для выполнения ПХТ, следующие: соотношение расхода газов, стандартные, $см^3$/мин (sccm); мощность ICP источника, Вт; давление в рабочей камере, Па; мощность, подаваемая на столик, Вт. Травление проводилось на установке травления в индуктивно-связанной плазме SI 500 производства SENTECHInstrumentsGmbH (рисунок 2).



Рисунок 2. Установка Sentech SI 500

Система травления SI 500 PTSAICP производства SENTECHInstrumentsGmbH предназначена для использования в НИОКР для осуществления высокоскоростных процессов сухого плазменного травления в индуктивно-связанной плазме кремния (Si), глубокого травления кремния (процесс Bosch или DRIE), MEMS, диэлектриков (SiO_2, Si_3N_4) и полупроводниковых структур, особенно A^3B^5 (таких как GaAs, GaN, InP и др.), металлов, микрооптики, наноструктур и фотошаблонов.

Установка травления SI 500 с источником индуктивно связанной плазмы может использоваться в широком диапазоне плазменных процессов – от обычного реактивного ионного травления до плазменных процессов высокой плотности. Отличительными особенностями SI 500 являются наличие источника индуктивно связанной плазмы, электрод подложки с гелиевым охлаждением и высокопроизводительная вакуумная система. Все важные параметры оборудования контролируются автоматически. SI 500 был сконструирован для применения в пилотных производствах и НИОКР.

Отличительной особенностью системы SI 500 является запатентованный источник индуктивно связанной плазмы ICP-PTSA 200 (плоская тройная спиральная антенна), специально предназначенный для травления с низким повреждением структуры, электрод подложки с гелиевым охлаждением и динамическим контролем температуры для поддержания постоянной температуры независимо от мощности плазмы. Вакуумная система позволяет обеспечить высокую производительность, необходимую для процессов травления, и содержит магнито-пневматический загрузочный шлюз для максимальной надёжности при загрузке/выгрузке пластин. Все важнейшие параметры системы управляются автоматически.

Система позволяет обрабатывать как пластины диаметром до 200 мм, так и кусочки пластины. Мощная двухступенчатая вакуумная система позволяет быстро откачивать камеру реактора и получать достаточно глубокий вакуум для процессов травления.

Особенности установки SI-500:

- обработка пластин диаметром до 200 мм;
- процесс: ICP-RIE, RIE;
- источник индуктивно связанной плазмы (ICP);
- гелиевое охлаждение обратной стороны подложки;
- вакуумный загрузочный шлюз;
- превосходная однородность, превосходная воспроизводимость при травлении;
- высокая скорость травления;
- низкий уровень повреждений;

– высокое аспектное отношение;
– химия: фтор/хлор;
– кластерная конфигурация;
– групповая обработка пластин;
– меньшие держатели пластин;
– компактный дизайн и малая занимаемая площадь;
– до 16 газовых линий (химия фтора);
– программное обеспечение SENTECH control software;
– OES и лазерная интерферометрия;
– большое количество опций.

В конфигурации ICP для создания плазмы используется индуктивный разряд. Мощность, вкладываемая в индуктивный разряд, определяет концентрацию активных радикалов и ионов. Подложка размещается на электроде, к которому подводится ВЧ-напряжение для создания электрического смещения (рисунок 3). Величина смещения электрода подложкодержателя определяет энергию и поток ионов на поверхность подложки.

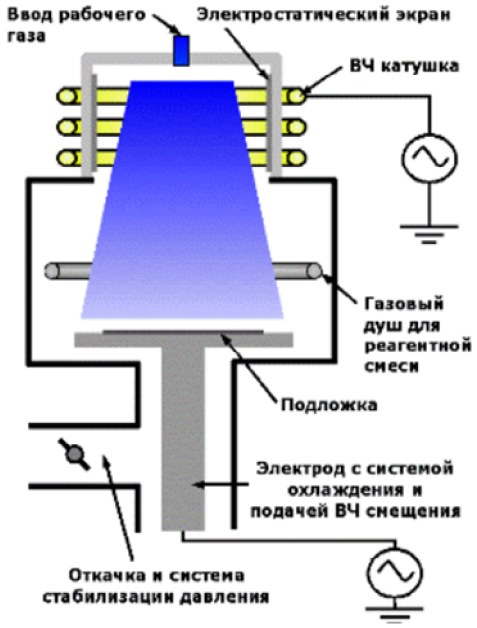


Рисунок 3. Схема рабочей камеры и источника ICP

При глубоком травлении важно выбрать маску для травления. Для выбора маскирующего материала был проведён ряд сравнительных экспериментов с металлическими и фоторезистивными масками. Практическое применение никелевых и медных масок для ПХТ GaAs выявило некоторые технологические проблемы. Для удаления маски из никеля используются реактивы, очень сильно и неконтролируемо повреждающие GaAs. Применение Cu-маски таких проблем не создаёт, но

использование Cu в качестве защитного слоя приводит к быстрому загрязнению реакционной камеры установки ПХТ продуктами распыления. С фоторезистом таких проблем не возникло, поэтому был проведён подбор марки фоторезиста с приемлемой плазмостойкостью [3].

Была проведена работа по подбору оптимальных операционных параметров ПХТ и было выяснено, что оптимальными являются параметры соотношения расхода газов $Cl_2/BCl_3/Ar$ (40:20:5) sccm [2]. Добавление Ar – инертного газа, обеспечивает, за счёт ионной бомбардировки, удаление нелетучих продуктов в области травления GaAs и во многом определяет анизотропию процесса и скорость травления. Для изучения этого влияния была проведена серия экспериментальных процессов ПХТ, в которых расход Ar изменялся от 5 до 20 sccm. В качестве рабочего варианта был выбран расход Ar 5 sccm, т.к. скорость травления одинакова, но плазмостойкость маски лучше при расходе Ar 5 sccm.

В результате оптимизации были определены следующие значения параметров: мощность источника плазмы 850 Вт, мощность, подаваемая на столик 50 Вт, время травления было выбрано 10 мин. Для получения наименее выраженной морфологии боковых стенок (рисунок 4), что важно для обеспечения хорошего качества их металлизации, обратную сторону обрабатываемой пластины необходимо охлаждать гелием.

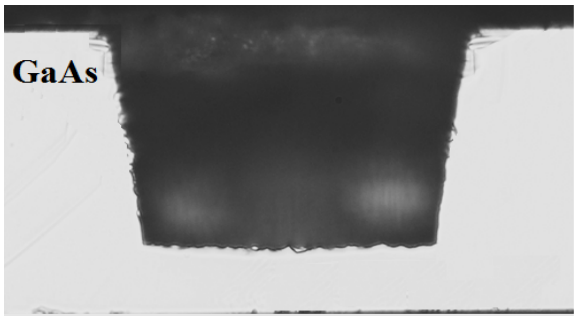


Рисунок 4. Морфология боковых стенок и дна профилируемой пластины (h = 100 мкм)

Для проведения опытов с изменением давления и мощности ICP источника были использованы пластины GaAs, нанесено 2 слоя позитивного фоторезиста марки ФП 2550, который наносился методом центрифугирования [3], суммарной толщиной 10–11 мкм, также сформированы окна.

Чтобы понять, как влияет увеличение мощности ICP источника на скорость травления, проводилось травление при величине мощности от 650 до 1050 Ватт. По полученным результатам (таблица 1) получены зависимости (рисунки 5, 6). Можно увидеть, что скорость травления GaAs растёт, а скорость травления фоторезиста при значениях мощности, больших 850 Вт, остаётся неизменной (рисунки 5, 6).

Таблица 1. Результаты плазмохимического травления

P_{ICP}, Вт	$V_{тр}$, мкм/мин	$V_{тр}$(ФР), мкм/мин
650	3,2	0,33
750	4	0,40
850	4,7	0,47
950	5	0,43
1050	5,2	0,46

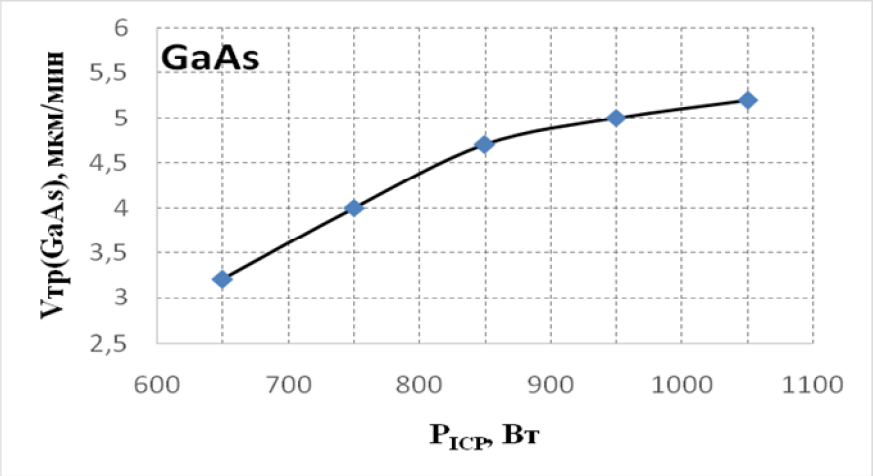


Рисунок 5. Зависимость скорости травления GaAs от мощности источника ИСП (p = 2 Па, U_{RF} = 50 Вт)

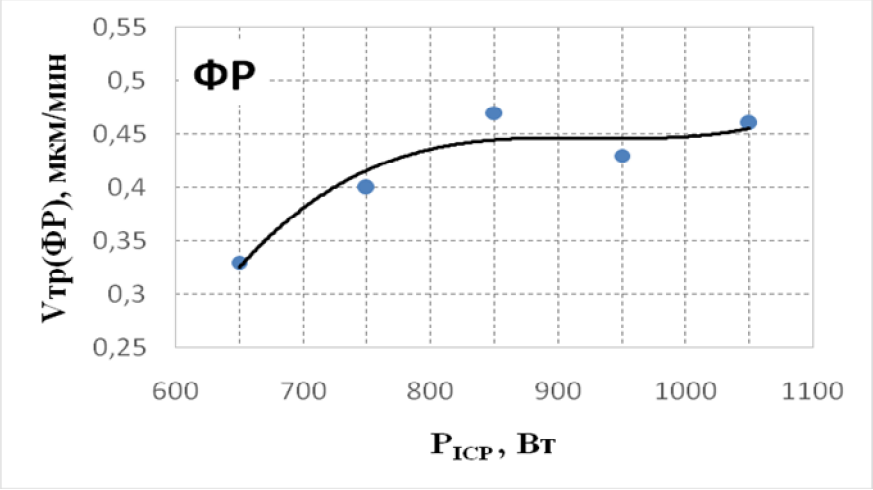


Рисунок 6. Зависимость скорости травления ФР от мощности источника ИСП (p = 2 Па, U_{RF} = 50 Вт)

При полученных оптимальных параметрах и мощности ICP источника 850 Вт был проведён эксперимент по сравнению средней скорости травления от давления. По полученным результатам (таблица 2) получены зависимости (рисунки 7, 8). Для эксперимента были выбраны значения давления 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 Па.

Таблица 2 – Результаты плазмохимического травления

p, Па	$V_{тр}$, мкм/мин	$V_{тр}$(ФР), мкм/мин
1,5	3,9	0,360
2	4	0,350
2,5	4,2	0,340
3	4,5	0,295
3,5	5,5	0,285
4	3,2	0,290

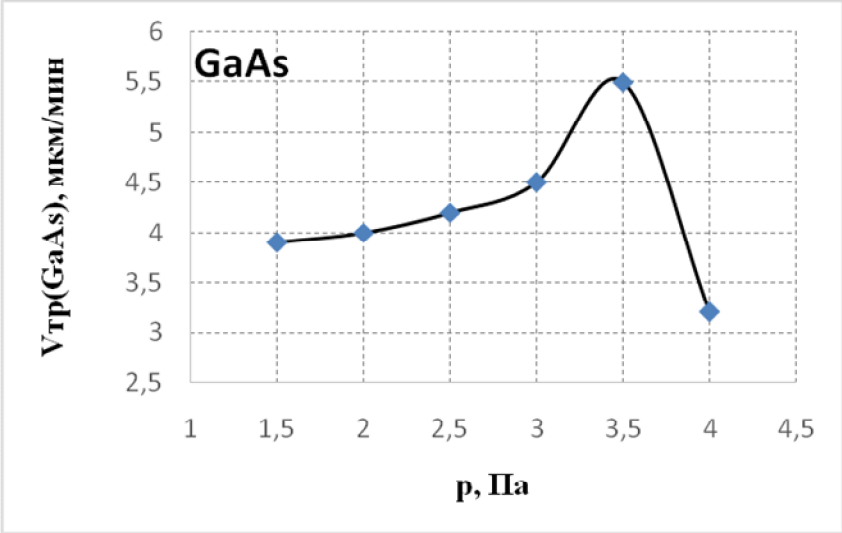


Рисунок 7. Зависимость скорости травления GaAs от давления (P_{ICP} = 850 Вт, U_{RF} = 50 Вт)

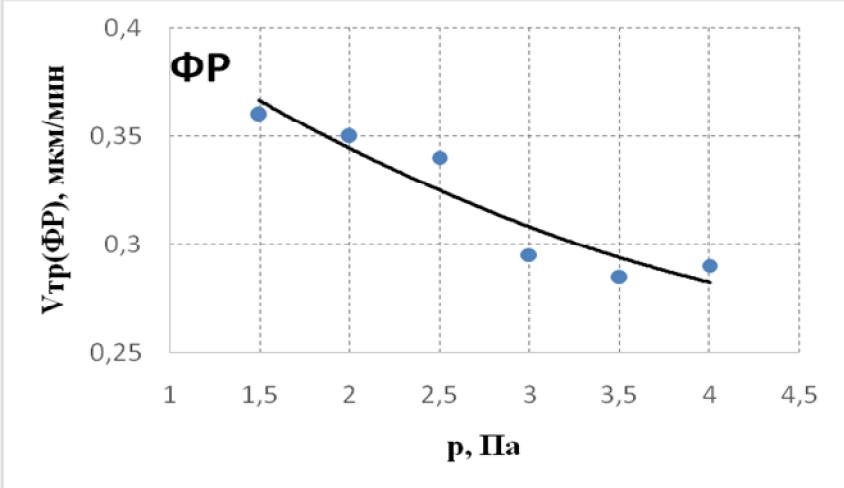


Рисунок 8. Зависимость скорости травления ФР от давления (P_{ICP} = 850 Вт, U_{RF} = 50 Вт)

Было показано, что при увеличении давления в камере средняя скорость травления GaAs увеличивается при изменении давления до 3,5 Па, далее падает. При этом значении давления наблюдается оптимальная плазмостойкость маски.

Полученные результаты с успехом были использованы при разработке технологии формирования обратной стороны СВЧ МИС, которая включает в себя следующие основные процессы: ПХТ GaAs, напыление системы металлов и гальваническое осаждение слоя золота толщиной 2–3 мкм. На рисунке 8 показаны лицевая и обратная стороны изготовленного СВЧ pHEMT транзистора с заземлением истоков при помощи сформированных металлизированных отверстий.

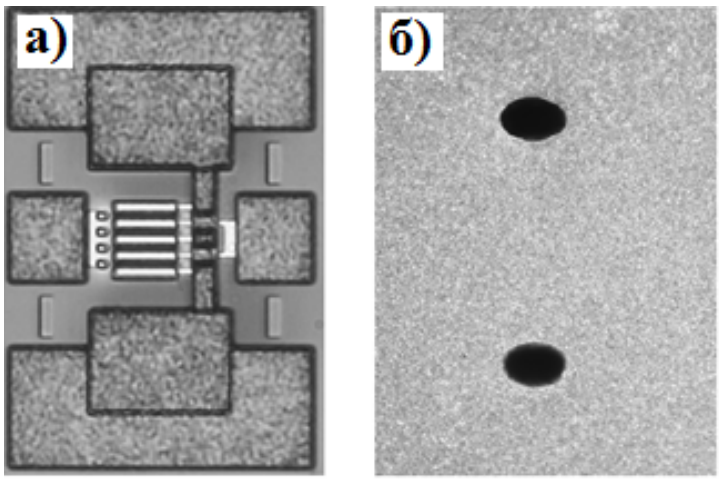


Рисунок 8. Лицевая (а) и обратная сторона (б) pHEMT транзистора

Заключение

В данной работе проведены эксперименты по подбору режима плазмохимического травления арсенида галлия для формирования сквозных металлизированных отверстий. Получены зависимости средней скорости травления от мощности ICP источника и давления в камере. Разработан процесс травления ($p = 3{,}5$ Па, $P_{ICP} = 850$ Вт), который обеспечивает требуемую глубину травления порядка 100 мкм.

Литература

1. RFIC and MMIC design and technology / ed. I.D. Robertsonand, S. Lucyszyn. IEE (London) (2001).
2. Разработка технологии формирования сквозных отверстий в GaAs при помощи плазмохимического травления / П.С. Васильев, М.В. Драгуть, Е.В. Кузьмин, Д.А. Усик // Мокеровские чтения. (2019).
3. Васильев, П.С., Драгуть, М.В., Мишарин, Д.М. Разработка технологии плазмохимического травления сквозных отверстий в арсениде галлия // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА. 27–29 сентября 2017 г. Москва–Дубна, 2017.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Селезнёвым Б.И.

УДК 004.722
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.25

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ ЦЕЛИ В ВИДЕОПОТОКЕ

Кононов С.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: tuvyz131@gmail.com

DEVELOPMENT OF A HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR AUTO TRACKING A MOVING TARGET IN A VIDEO STREAM

Kononov S.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: tuvyz131@gmail.com

Аннотация. В работе представлен алгоритм и программное обеспечение для решения задачи автосопровождения движущегося объекта в реальном масштабе времени, устойчивого к перекрытиям основой цели. В качестве основы использована методика на базе корреляционной функции. Для повышения ее эффективности и быстродействия предложен ряд усовершенствований, включающих использование параллельной обработки информации и повышение устойчивости к перекрытиям основой цели.
Ключевые слова: *автосопровождение, видеопоток, корреляция, перекрытие.*

Abstract. The paper presents an algorithm and software for solving the problem of auto tracking of a moving object in real time, which is resistant to overlap by the target's base. The technique based on the correlation function is used as the basis. To improve its efficiency and speed, a number of improvements have been proposed, including the use of parallel information processing and increasing the resistance to overlap of the basis of the goal.
Keywords: *auto tracking, videostream, correlation, overlap*.

Введение

Под задачей автосопровождения понимается автоматизированное отслеживание заранее выделенного объекта на протяжении последовательности кадров видеопотока. Визуальное отслеживание объектов является одной из фундаментальных задач в компьютерном зрении, визуальной аналитики в видеонаблюдении, военных операциях, взаимодействии человека с компьютером и так далее.

Несмотря на значительные успехи в работе трекеров в последние годы, надёжное, эффективное и точное отслеживание в реальном видео остаётся сложной задачей. Создатели таких алгоритмов сталкиваются с такими проблемами, как устойчивость к аффинным преобразованиям, влияние шумов, перекрытия основной цели и т.д. Данная тема является

актуальной, поскольку проблема автосопровождения целей в видеопотоке является одной из самых современных и распространённых в области анализа видеопотока.

Целью данной работы является разработка алгоритма автосопровождения в реальном времени, устойчивого к перекрытиям основой цели с последующим переносом в аппаратную структуру.

Анализ эффективности различных методик автосопровождения в видеопотоке

К настоящему времени разработан и успешно реализован ряд методов автосопровождения в видеопотоке, включая:

– методы поиска по оптическому потоку;
– нейросетевые методы;
– методы на базе поиска особых точек;
– методы на базе корреляционной функции.

Проанализируем особенности реализации, достоинства и недостатки каждого из перечисленных методов.

Методы поиска по оптическому потоку

На базе данного подхода сформирован комплекс методов, отличающихся по главным показателям – эффективности работы и быстродействия [1].

К первой группе относятся весьма качественные алгоритмы детектирования движения, которые будут работать даже в условиях большого шума на изображении и в ситуациях, когда движущийся объект скрывается из поля зрения камеры. С помощью таких алгоритмов можно локализовать объект на картинке и проследить его траекторию на последующих кадрах. Однако такие алгоритмы имеют низкое быстродействие, что не позволяет использовать их в режиме реального времени.

Ко второй группе относятся методы, основанные на более быстрых алгоритмах поиска по оптическому потоку. Однако в основе их работы лежит допущение о том, что в процессе движения объект изменил свою координату не более чем на 1–2 пикселя [2]. Очевидно, что это слишком грубое допущение и такие алгоритмы также не годятся для выполнения поставленной задачи.

Нейросетевые методы

Нейросетевые методы отличает высокая гибкость использования. Это фактически один из самых эффективных методов обнаружения объектов. Однако нейросеть сможет узнавать только те объекты, которые ее учили распознавать [3]. Поэтому для их эффективной работы требуется обширная база данных, для работы с которой требуются мощные аппаратные средства. В результате этот способ относится больше к распознаванию объекта, чем к автосопровождению.

Методы на базе поиска особых точек

Эффективность метода, основанного на поиске особых точек, так же как и методы поиска по оптическому потоку, сильно зависит от сложности алгоритма. Так же при более глубоком анализе проблемы локализации объекта становится понятно, что спектр решаемых этим способом проблем ограничен. Объект на видео может менять своё положение в пространстве, а местоположение каждой особой точки, которое, как правило, не единственное [4]. Чтобы учитывать все эти проблемы, необходим слишком сложный алгоритм, который будет обладать неподходящим для отслеживания в реальном времени быстродействием.

Методы на базе корреляционной функции

Использование корреляционной функции для решения поставленной задачи является наиболее целесообразным. Этот метод достаточно быстр и весьма эффективен.

Корреляционная функция – стандартный метод оценки степени схожести двух последовательностей. Она часто используется для поиска в длинной последовательности более короткой, заранее известной. Корреляционная функция в общем виде для непрерывных функций определяется следующей формулой:

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} |f(t+\tau) - g(t+\tau)|\, d\tau,$$

где f – функция, относительно которой ищется корреляция функции g, τ – смещение функции g, значок «*» обозначает корреляционную функцию.

Для дискретных функций корреляционная функция записывается как

$$(f * g)_i = \sum_{j=1}^{N} |f_{i+j} - g_{i+j}|,$$

где N – количество элементов функции g.

Если использовать эту формулу напрямую, то алгоритм будет обладать весьма низким быстродействием, которое пропорционально N ($X \cdot Y$), где N – количество пикселей изображения f.

В результате поиск фрагмента размером 30×30 в изображении с разрешением 480p будет занимать более 1 секунды, что не позволяет использовать такой алгоритм в чистом виде в реальном времени.

Для повышения скорости вычислений можно воспользоваться следующим свойством преобразования Фурье:

$$\mathcal{F}[f * g] = (\mathcal{F}[f])^* \cdot (\mathcal{F}[g]),$$

где $\boldsymbol{F}$ – прямое преобразование Фурье, а верхний индекс в виде звёздочки – комплексное сопряжение.

Однако прямое использование такого алгоритма приводит к понижению скорости вычислений, т.к. объём вычислений, необходимый

для попиксельного сравнения, пропорционален величине $(Y \cdot X)^2$. И в конкретном случае, описанном выше, скорость обработки будет снижена на 2 порядка.

В ряде работ [5] для повышения эффективности указанного алгоритма предложено после первичного определения цели оператором использование алгоритма быстрого преобразования Фурье, поскольку при его применении скорость вычислений пропорциональна величине $N \cdot \log_2 N$, в то время как скорость вычислений с помощью попиксельного сравнения пропорциональна $M \cdot N$, где N – количество пикселей в оригинальном изображении, M – количество пикселей фрагмента с изображением объекта.

Однако использование преобразования Фурье имеет существенный недостаток – для его применения необходим фрагмент, соответствующий полному изображению. А поскольку видеопоследовательность приходит в реальном масштабе времени, то это ограничивает возможность использования параллельных вычислений. Этот недостаток будет ограничивать быстродействие при переносе программы в аппаратную структуру.

Разработка методики автосопровождения движущейся цели на базе модифицированного метода корреляционной функции

В данной работе предложен алгоритм, предназначенный для параллельной обработки информации (рисунок 1), что позволяет уменьшить количество итераций, а значит, и быстродействие при вычислении корреляционной функции.

Предложенный алгоритм автосопровождения движущейся цели:

1. Для инициализации работы оператором выбирается точка, являющаяся центром основной цели. Алгоритм выделяет квадратную область 21×21 пикселей с центром в выделенной точке, которая будет фрагментом для проведения корреляции на последующих кадрах.

2. Для уменьшения количества операций выделяется область меньшего размера – в 10 раз меньше основного фрагмента.

3. Для уменьшенной версии выделенного фрагмента и квадратным диапазоном второго кадра 100×100 с центром в точке с координатами, равными координатам объекта, на предыдущем кадре применяется корреляционная функция.

4. По результатам вычислений 100 точек с наибольшей корреляцией сохраняются, и для них применяется корреляционная функция уже с использованием полноразмерного фрагмента. Точка с наивысшим значением корреляции считается новой координатой основного объекта.

Данный алгоритм является адаптивным, поскольку при появлении очередного кадра фрагмент для проведения корреляции обновляется для нового найденного центра основного объекта, что позволяет минимизировать ошибки.

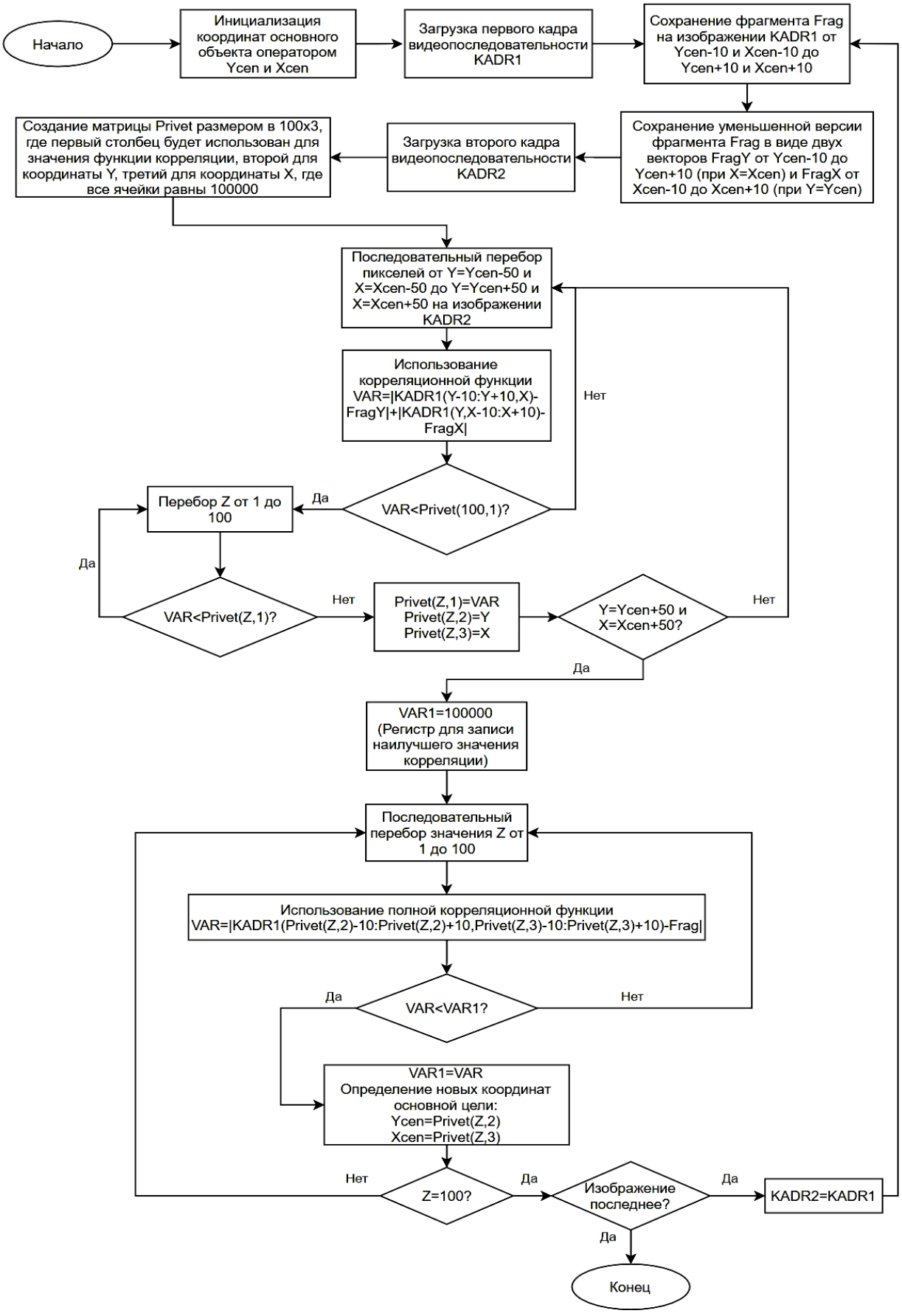


Рисунок 1. Блок-схема разработанного алгоритма корреляции для автосопровождения движущейся цели

Существенной проблемой при создании алгоритмов автосопровождения является проблема перекрытий, то есть ситуаций, при которых объект интереса может скрыться из поля зрения по причине загораживающих его посторонних объектов. Приведённая выше версия алгоритма не способна справиться с этой проблемой – при возникновении перекрытия проводится адаптация фильтра и поисковое окно либо сместится в другую точку на объекте, либо вовсе его потеряет. Для устранения указанного недостатка в данной работе предложена модификация разработанного алгоритма, позволяющая учитывать проблему перекрытий основного объекта интереса (рисунок 2).

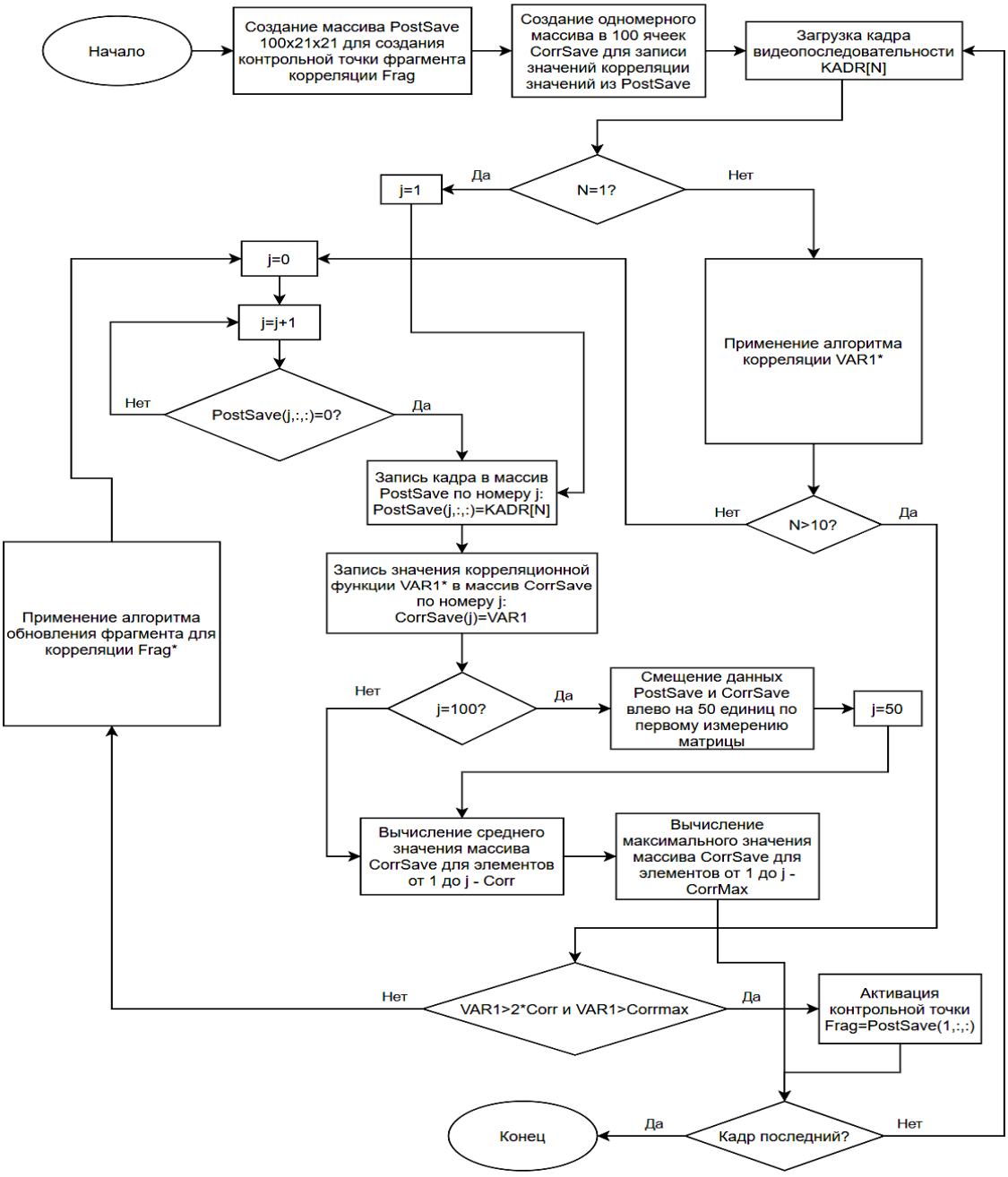


Рисунок 2. Блок-схема разработанного алгоритма автосопровождения, учитывающего проблему перекрытий

Суть модифицированного алгоритма заключается в том, чтобы в нужный момент отключить блок, который обеспечивает адаптацию фрагмента корреляции. На протяжении работы алгоритма сохраняются фрагменты последних 100 кадров для отката в случае возникновения перекрытия. Так же сохраняются значения корреляционной функции последних 100 кадров. В случае, когда величина корреляционной функции на графике начинает резко возрастать (в два раза выше среднего), производится откат на прошлое значение фрагмента, когда значение не выходило за пределы допустимого; т.е. на новых кадрах не происходит сохранения нового фрагмента, пока значение корреляционной функции не вернётся в норму.

Перенос разработанного алгоритма в аппаратную структуру

Чтобы перенести алгоритм в автономную систему, необходима аппаратная реализация программного обеспечения. С данной задачей лучше всего справятся ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы), поскольку они способны поддерживать параллельное вычисление данных, что в данном случае будет значительно повышать быстродействие. Основное отличие ПЛИС от процессоров является то, что при использовании процессора функции реализуются программно, с использованием уже имеющейся внутренней схемы, в то время как в ПЛИС это реализуется аппаратно, путём создания схемы соединений между внутренними элементами. За счёт этого на ПЛИС можно создавать схемы, работающие параллельно друг с другом, что при обработке изображений играет большую роль.

Разрабатываемая программа тестировалась на отладочной плате DE1-SocBoard с чипом 5CSEMA5F31C6 CycloneV от компании Altera. Данная ПЛИС имеет 85 000 логических элементов, 10 625 блоков логических массивов и 32К внутренних регистров. Программа писалась на языке Verilog.

Общая блок-схема алгоритма, адаптированного под ПЛИС, представлена на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, цикл программы выполняется за один клик тактовой частоты, на данной модели ПЛИС это составляет 50 МГц. Каждый блок вступает в силу в определённое время, когда окончена работа другого блока. Ниже приведено устройство каждого блока.

На рисунке 4 представлен блок записи во внешнюю и оперативную память. В работе используется сторонний блок памяти с процессором, подключённым по 32-битной шине к ПЛИС, используемой в данной работе. Для записи и чтения такой памяти требуется определённое время и невозможность параллельной передачи данных, поэтому часть данных сохраняется в регистры, то есть в оперативную память, способную к параллельной обработке сигналов.

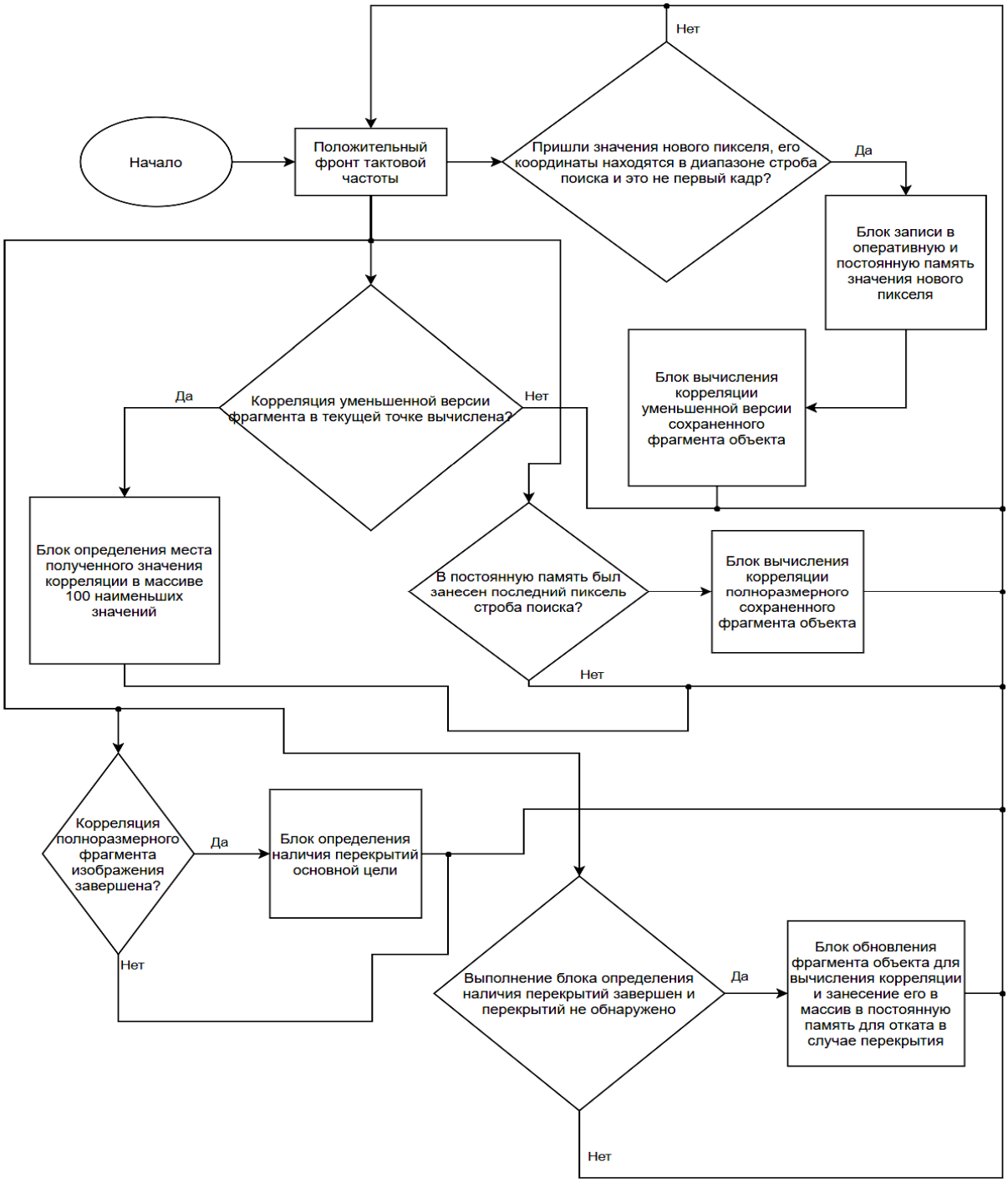


Рисунок 3. Общая блок-схема алгоритма, адаптированного под ПЛИС

В работе так же используется сторонний модуль передачи изображения с камеры по VGA интерфейсу. Данные, приходящие с него, распространяются с помощью 3 шин с координатой по горизонтали, вертикали и интенсивности поступающего пикселя.

Штриховой линией на блок-схеме подразумевается набор аналогичных блоков вычисления (в данном случае к идентификатору массива прибавляется единица). Таким способом показана параллельность вычисления.

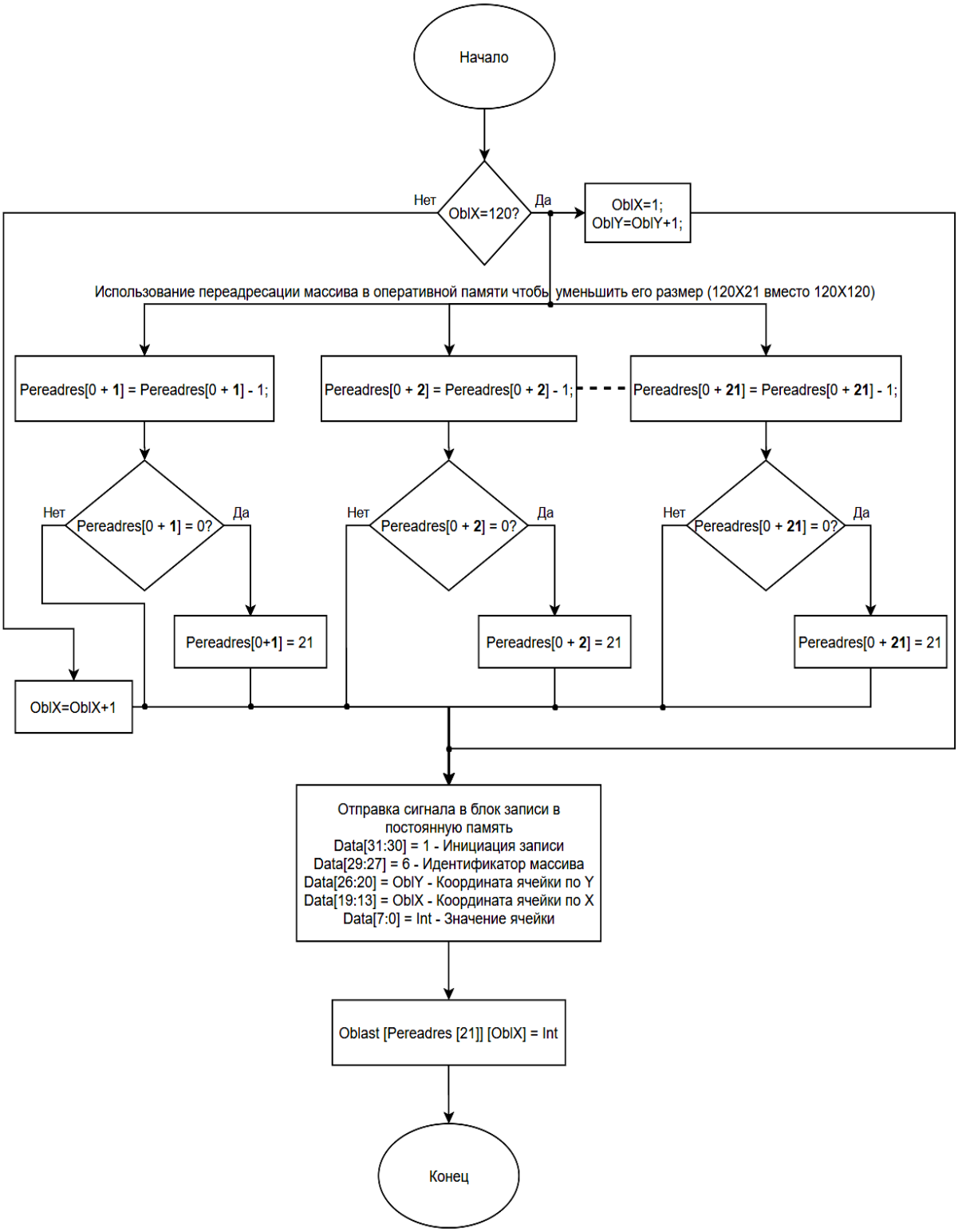


Рисунок 4. Блок-запись в оперативную и постоянную память значения нового пикселя

На рисунке 5 представлен блок предварительной корреляции уменьшенного фрагмента изображения объекта. Данный блок вычисляется в реальном времени, когда приходят значения нового пикселя в окрестности от минус 50 до плюс 50 от отмеченного центра основной цели.

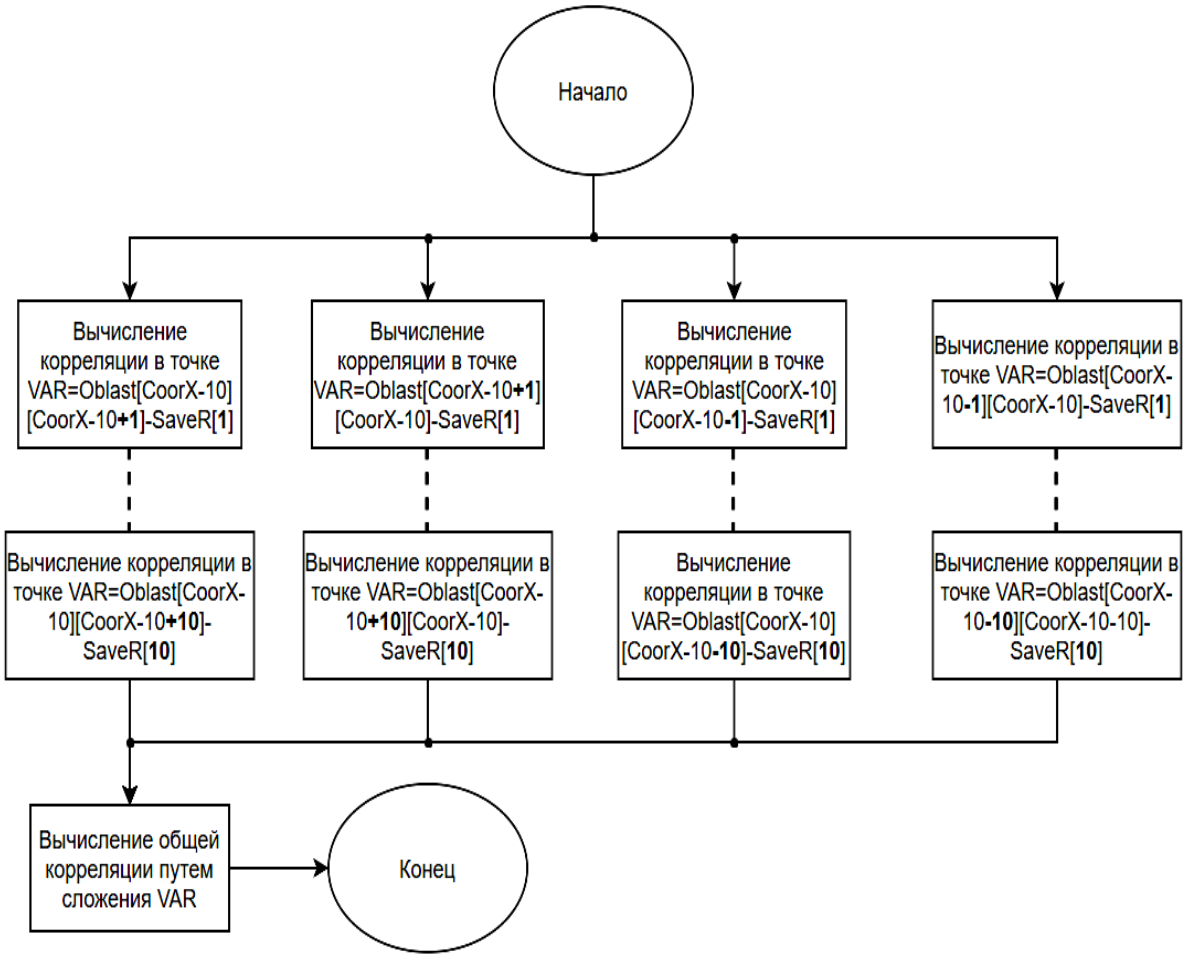


Рисунок 5. Блок вычисления корреляции
уменьшенной версии сохранённого фрагмента объекта

На рисунке 6 представлен блок, необходимый для последующего вычисления полноразмерной корреляции. Здесь выбираются 100 наименьших значений корреляции из 10 000 пикселей в окрестности прошлого центра объекта. Распределение происходит за 3 клика тактовой частоты и заключается в использовании метода половинного деления, т.е. каждый раз массив делится пополам и в зависимости от того, больше или меньше значение корреляции пикселя с блока на рисунке 5, чем значение в данной точке массива, определяется, в какую сторону делить оставшийся отрезок в этот раз – влево или вправо.

После завершения распределения всех пикселей в массив 100 наименьших значений начинает работу блок основной корреляции, представленный на рисунке 7. Данный блок выполняется уже не параллельно приходящему потоку, в этом нет необходимости, поскольку идёт обработка не внешних сигналов, а уже вычисленных в прошлых блоках. Поэтому параллельность вычисления тут организована лишь построчно, каждая новая строка вычисляется за несколько тактов (с учётом задержки чтения из памяти нужной информации).

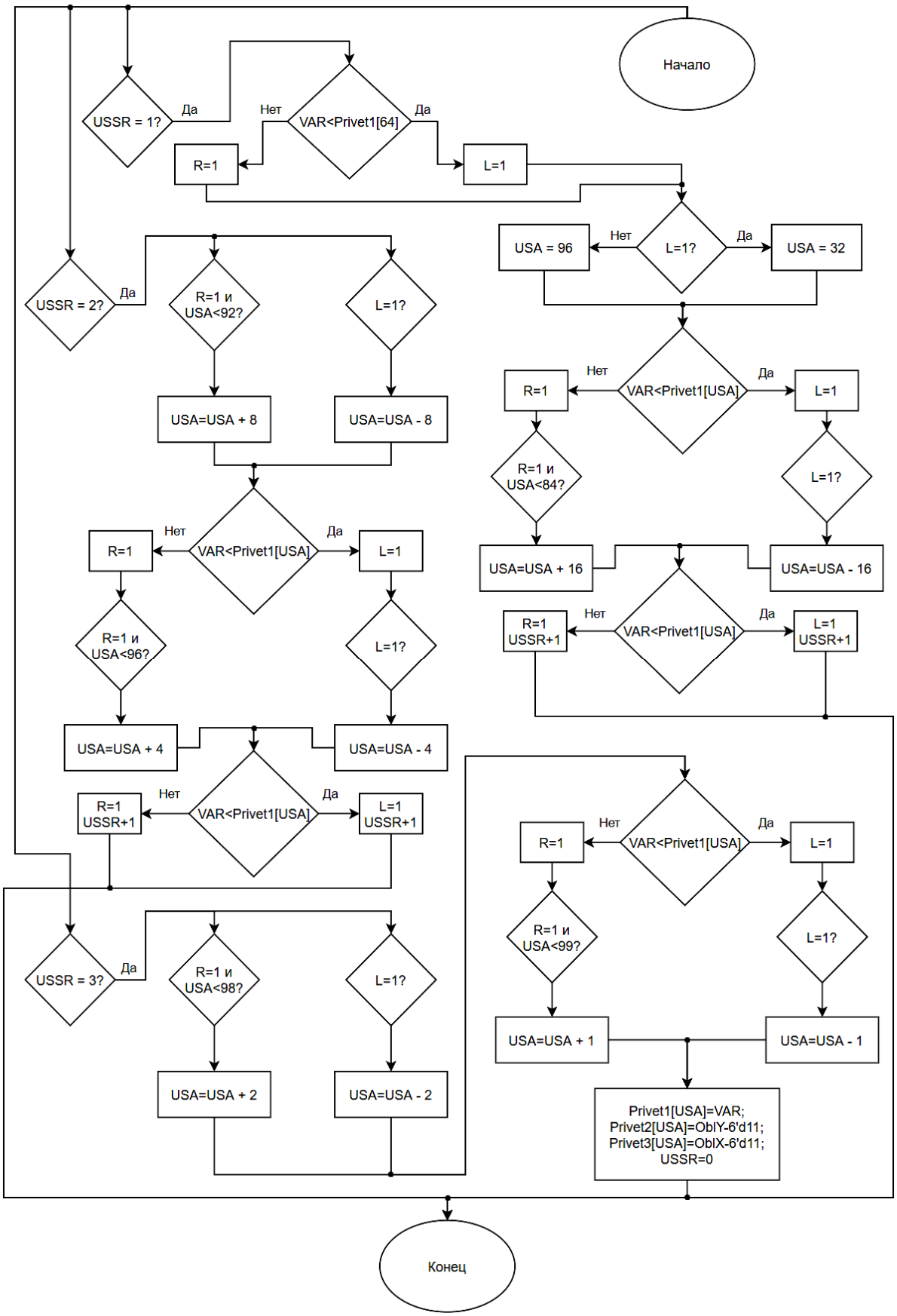


Рисунок 6. Блок определения места полученного значения корреляции в массиве 100 наименьших значений

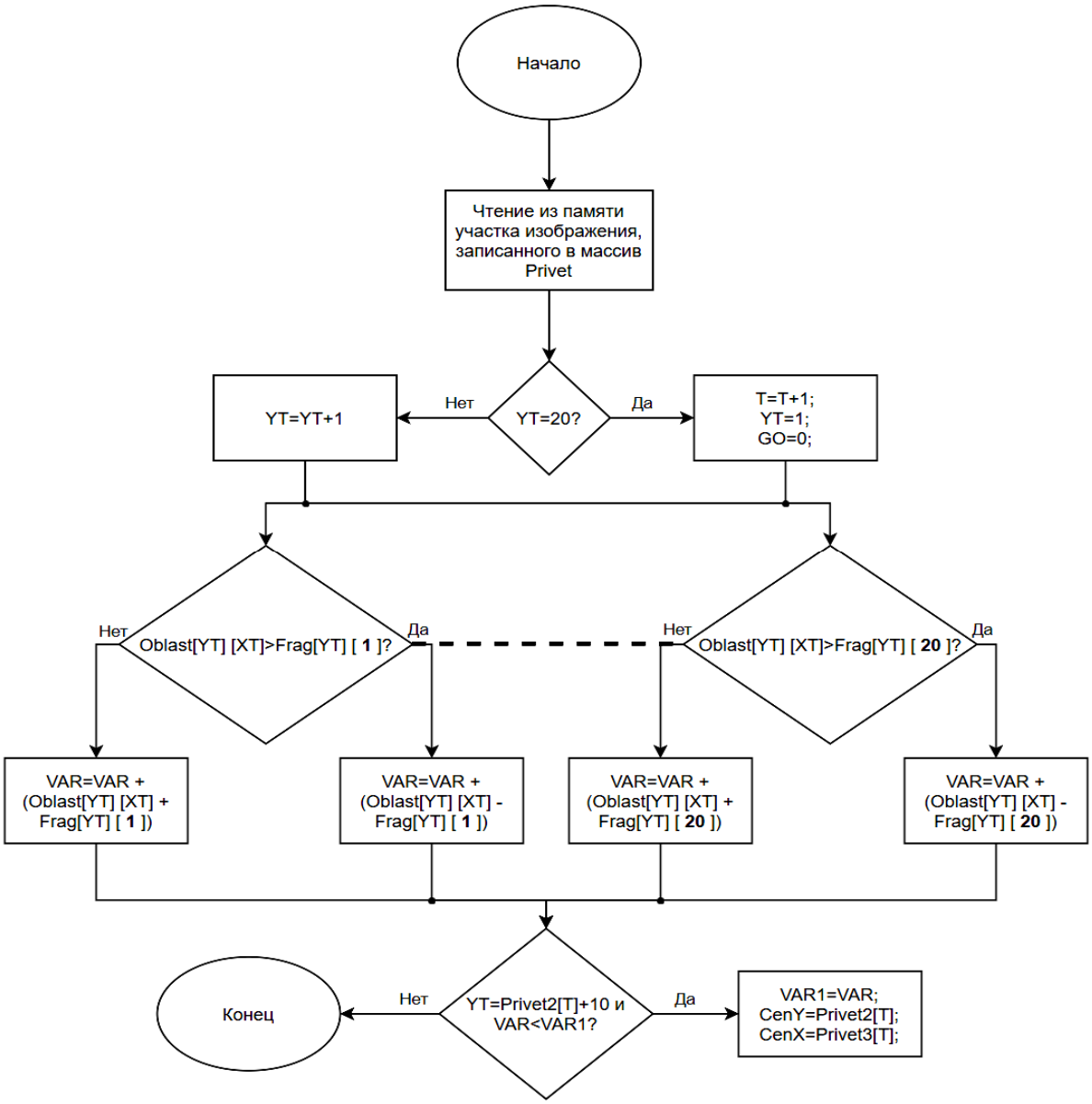


Рисунок 7. Блок вычисления корреляции
полноразмерного фрагмента изображения объекта

На рисунке 8 представлен блок определения наличия перекрытий основной цели. Данный блок начинает работу после вычисления основной корреляции. Здесь не задействована функция параллельного вычисления, и данный блок работает несколько тактов. Если данный блок обнаружил перекрытие основной цели, то следующий блок адаптации не будет задействован.

На рисунке 9 представляет блок обновления фрагмента изображения основной цели и занесение его в постоянную память для создания контрольной точки. Данный блок необходим для того, чтобы фильтр корректировался под изменения объекта по размерам и яркости. В случае если перекрытие в прошлом блоке было обнаружено – данный блок работать не будет. Здесь так же задействовано параллельное вычисление.

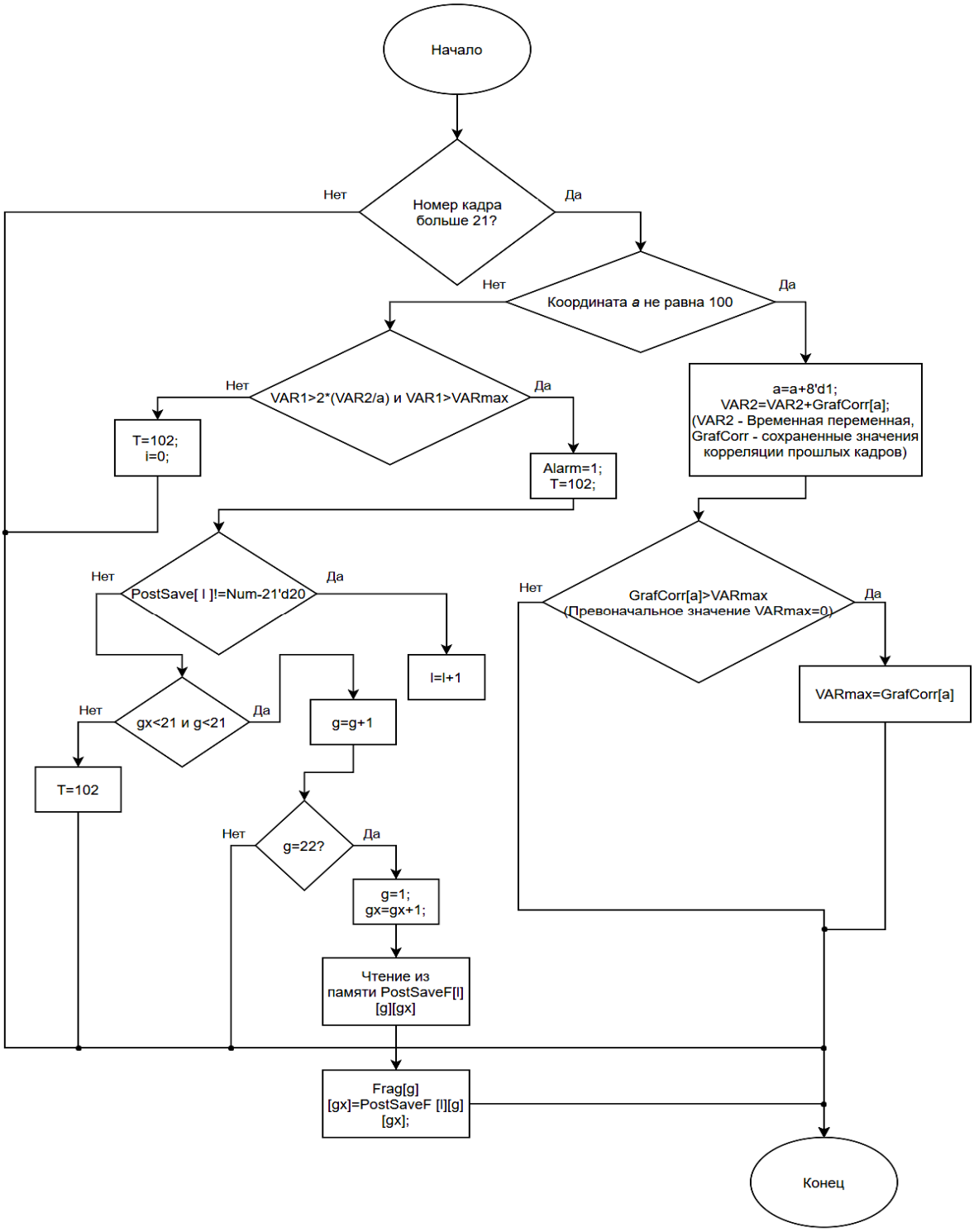


Рисунок 8. Блок определения наличия перекрытий основной цели

Заключение

Разработанный алгоритм реализован в среде Matlab. Скорость обработки одного кадра составляет порядка 65 мс. После тестирования алгоритма и программного обеспечения в среде Matlab он был реализован в железе на ПЛИС Cyclone V от компании Altera, что позволило повысить скорость обработки до 33 мс.

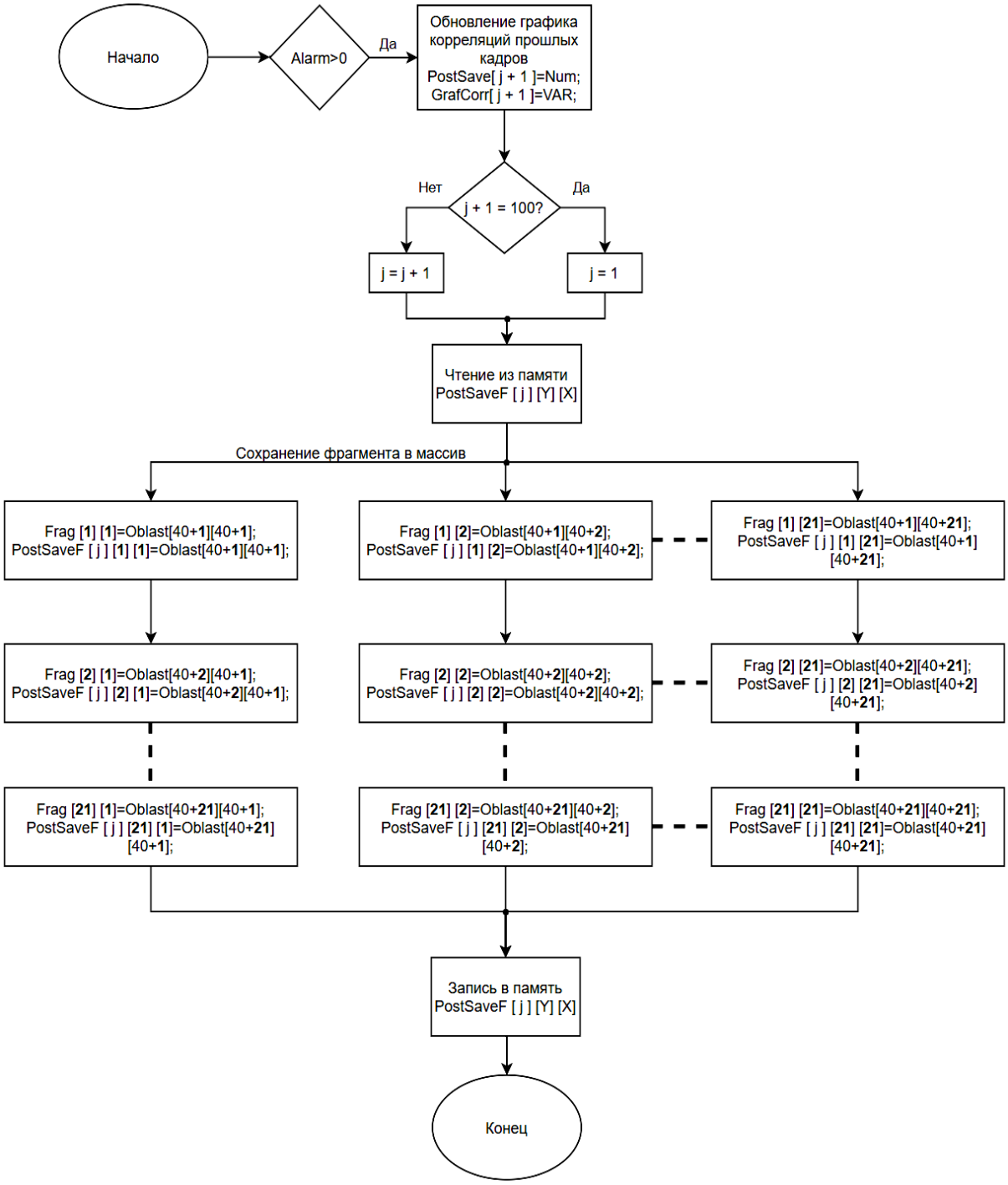


Рисунок 9. Блок обновления фрагмента изображения основной цели и занесение его в постоянную память

Литература

1. Синдеев, М.С. Исследование и разработка алгоритмов матирования видеопоследовательности: дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2013. С. 52–73.
2. Сакович, И.О., Белов, Ю.С. Применение метода Лукаса – Канаде для вычисления оптического потока. Инженерный журнал: наука и инновации. Калуга: КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. С. 1–7.

3. Рысьмятова, А.А. Использование сверточных нейронных сетей для задачи классификации текстов: выпускная квалификационная работа. М., 2016. С. 11–15.
4. Пастушков, А.В. Метод и алгоритмы поиска объекта в видеопотоке: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2017. С. 16–31.
5. Полоневич, А., Ревотюк, М. Мониторинг движущегося объекта с использованием адаптивного корреляционного фильтра // Доклады БГУИР. 2015. С. 1–6.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, профессором Петровым М.Н.

УДК 621.382
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.26

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА НА GAAS ДЛЯ ЧАСТОТ 9,5–10,5 ГГЦ

Семёнова А.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: alyonkasa@mail.ru

DESIGN FEATURES OF THE PROTECTIVE DEVICE ON GAAS FOR FREQUENCIES OF 9,5–10,5 GHZ

Semenova A.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: alyonkasa@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы конструирования и технологии изготовления защитных устройств на базе СВЧ МИС, выполненных на GaAs. В процессе работы обоснован выбор элементной базы в виде PIN-диодов и реализована технология их изготовления с помощью газофазной эпитаксии. Основная часть работы посвящена разработке технологии создания низкоомных и малоиндуктивных шин металлизации на базе сквозных металлизированных отверстий, соединяющих элементы на лицевой стороне ИС с металлизацией обратной стороны. Особое внимание уделено проектированию оптимальных геометрических размеров проводящих линий МИС ЗУ на базе требований по волновому сопротивлению и фазовому набегу. Полученные электрические параметры СВЧ МИС удовлетворяют функциональному назначению ЗУ для частот 10 ГГц.
Ключевые слова: *арсенид галлия; защитное устройство; газофазная эпитаксия; p–i–n-структура; приборы импульсной и силовой электроники.*

Annotation. The article discusses the problems of design and manufacturing technology of protective devices based on microwave MIS, made on GaAs. In the process of work, the choice of the element base in the form of pin diodes is justified and the technology of their manufacture using gas-phase epitaxy is implemented. The main part of the work is devoted to the development of technology for creating low-resistance and low-inductance metallization buses based on through metalized via connecting elements on the front side of the IC with metallization of the reverse side. Particular attention is paid to the design of the optimal geometric dimensions of the conductive lines of the MIS memory based on the requirements for wave resistance and phase incursion. The obtained electrical parameters of the microwave MIS satisfy the functional purpose of the protective devices for frequencies of 10 GHz.
Keywords: *gallium arsenide; protective device; gas phase epitaxy; p–i–n-structure; pulse and power electronics devices.*

Разработка и освоение новейших технологий в системах космической, спутниковой и мобильной связи, а также радиолокационных системах на основе приёмо-передающих модулей активных фазированных антенных решёток является важнейшей и сложнейшей научно-технической задачей, без решения которой невозможно производство эффективных и конкурентоспособных образцов новой техники. Прогресс в этой области обусловлен использованием СВЧ монолитных интегральных схем (МИС), базирующихся на последних достижениях в области гетероструктурной электроники.

В настоящее время в ряде стран разработаны и серийно выпускается ряд СВЧ МИС на основе гетероструктур, предназначенный для построения указанных систем. Функциональный ряд этих МИС включает следующие схемы: малошумящие усилители и усилители мощности, защитные устройства, коммутаторы, фазовращатели, аттенюаторы, смесители и генераторы.

Актуальность работ, связанных с разработкой элементной базы для СВЧ-модулей, продиктована острой необходимостью разработки аппаратуры нового поколения и для специальной техники оборонного комплекса страны.

В России работы по созданию серийных изделий этого ряда ведутся всего на нескольких предприятиях. Основные усилия в этой области направлены на сокращение отставания от уровня зарубежных компаний.

Защитные устройства применяются, как правило, в составе приёмных трактов радиоаппаратуры, где они предотвращают появление на входных усилительных каскадах запредельных уровней мощности как от внешних источников (наведённых помех), так и от собственного передатчика [1].

Работа РЛС заключается в излучении импульсов большой мощности и в приёме и обработке слабых сигналов, отражённых от цели. В зависимости от схемы построения РЛС, ЗУ может входить в состав АП или являться независимым от АП элементом приёмного СВЧ-тракта. В первом варианте построения РЛС ЗУ одновременно с коммутацией выполняет и функцию защиты приёмника; во втором варианте – только для выполнения защитной функции. Также ЗУ выполняют только защитную функцию и в специальных радиоприёмных устройствах, не входящих в состав РЛС.

Выделяют газоразрядные, полупроводниковые, ферритовые и гибридные ЗУ.

Полупроводниковые ЗУ представляют собой отрезок СВЧ-линии передачи с включёнными в него последовательно или параллельно коммутирующими полупроводниковыми элементами (диодами). Делятся на управляемые и автономные ЗУ.

Независимо от типа АП, РЭА и самого ЗУ его работа всегда связана с периодическими переходами из одного состояния в другое в зависимости

от уровня СВЧ-мощности. В одном из этих состояний (состояние пропускания) ЗУ пропускает слабый, принятый антенной сигнал к приёмнику с минимальным ослаблением без искажения его формы. Состоянию пропускания соответствует режим низкого уровня мощности (НУМ), т.е. режим, в котором входная мощность (Рвх) ниже некоторого порогового значения, а импеданс ЗУ практически равен характеристическому сопротивлению линии передачи. В этом режиме мощность проходящих через ЗУ сигналов не превышает единиц милливатт и, как правило, много меньше 1 мВт. Состояние пропускания реализуется, если на вход ЗУ не поступают импульсы высокого уровня мощности (ВУМ) извне (через антенну РЛС) или от собственного передатчика (в паузе между импульсами) [1].

Согласно своему назначению, ЗУ должны функционировать в двух режимах работы – в режиме пропускания (низкого уровня мощности) и в режиме ограничения (высокого уровня мощности) [2].

Прежде чем переходить к рассмотрению работы ЗУ в режиме ВУМ, нужно различать две ситуации в зависимости от того, насколько Рвх превышает пороговое значение. Первая, когда $P_{вх}$ существенно (не менее чем в 3–10 раз) больше порогового значения ($P_{пор}$); и вторая, когда $P_{вх} = P_{пор}$ или превышает его незначительно.

В первом случае с приходом импульса ВУМ на вход ЗУ оно почти мгновенно переходит в состояние запирания, т.е. вызывает сильное ослабление входного импульса. Время перехода из состояния пропуска в состояние запирания (время установления $t_{уст}$) обычно не превышает длительности фронта импульса ВУМ $t_{фр}$ (с). Этому времени соответствует, как правило, резко выраженный пик на огибающей выходного импульса. Во многих ЗУ все переходные процессы заканчиваются к моменту окончания пика. Однако в некоторых ЗУ после достижения состояния запирания всеми нелинейными элементами ЗУ выходной элемент в силу малости доходящей до него мощности возвращается на протяжении импульса в состояние пропускания. Тогда наблюдается огибающая выходного импульса. Выраженная плоская часть имеется в этом случае лишь при достаточно большой длительности импульса. Импеданс ЗУ при $P_{вх}$, много большей пороговой мощности, в зависимости от типа ЗУ и вида воздействующих импульсов может иметь величину от значительно меньшей волнового (эквивалентно короткому замыканию линии передачи) до близкой к нему. После резкого возрастания на фронте импульса устанавливается постоянная величина потерь, соответствующая состоянию запирания. В конце импульса, на его спаде (длительность $t_{сп}$), начинается период восстановления, в процессе которого восстанавливается состояние пропускания ЗУ.

Автономные ЗУ малой и средней мощности сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн реализуются, как правило, в виде МИС на арсениде галлия, в качестве нелинейного элемента которых используется выпрямляющий контакт полупроводника электронного типа проводимости с металлом (диод Шоттки) или с полупроводником дырочного типа проводимости (PIN-диод). [3] Конструктивно такие ЗУ представляют собой одну или несколько секций СВЧ линии передачи, шунтированных на корпус посредством одной или нескольких групп PIN-диодов и/или диодов Шоттки.

В процессе анализа технического задания и поиска решения был проведён анализ существующих схем ЗУ, сравнительный анализ эффективности применения ЗУ на основе диодов Шоттки и PIN-диодов. При всех преимуществах диодов Шоттки, был выявлен один существенный недостаток: их высокая электрическая ёмкость. Стойкость ЗУ к уровню входной СВЧ мощности в несколько ватт и более требует применения диодов Шоттки такой площади (ёмкости), что согласование их с линией передачи в X-диапазоне даже в узких полосах частот существенно затруднено. В этом случае применение PIN-диодов с меньшей на два порядка электрической ёмкостью, по крайней мере, в качестве входных каскадов ограничения, не имеет альтернативы.

Разработана принципиальная электрическая схема МИС ЗУ. Схема приведена на рисунке 1; она включает два каскада встречно включённых диодов, шунтирующих согласованную линию передачи на корпус. Таким образом, в состав схемы входят диоды, элементы соединения их с корпусом и проводящие линии.

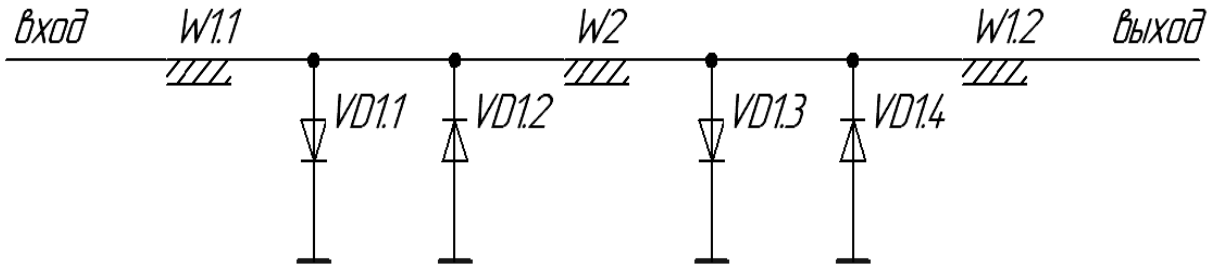


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема МИС ЗУ

Топология планарного PIN-диода из состава ЗУ схематично показана на рисунке 2. Легированные области диода (мезы) формируются сухим или жидкостным травлением эпитаксиальной структуры (т.н. меза-травлением). П-образная конфигурация омического контакта к n-области уменьшает сопротивление растекания базы. «Подушками» названы изолирующие области, выполняющие двоякую роль: они разделяют проводящую шину анода и n-область и сглаживают неровности на переходах между областями разной высоты. Последнее обеспечивает

равномерность толщины шин металлизации по их протяжённости, отсутствие утончений и, тем более, разрывов. «Подушки» могут быть диэлектрическими (например, полиамидными), воздушными («воздушные мосты») или комбинированными.

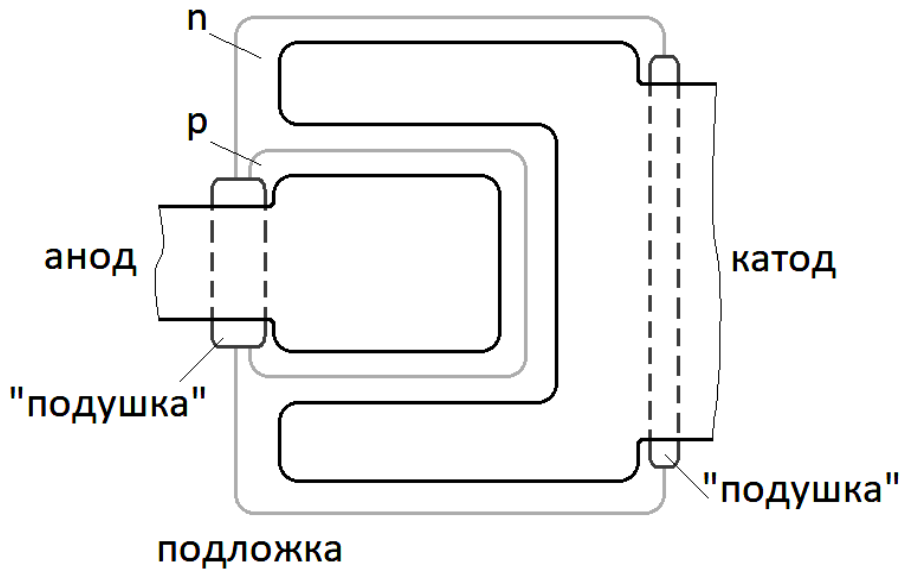


Рисунок 2. Топология планарного диода

Зазор между катодом и анодом для минимизации сопротивления диода должен быть минимальным, он ограничен возможностями технологического процесса, в частности, разбросом размеров легированных областей после меза-травления, точностью совмещения при фотолитографии, разрастанием гальванически осаждаемых металлических шин и т.д. В качестве исходного принят зазор 6 мкм.

Создание МИС ЗУ сантиметрового и, тем более, миллиметрового диапазона длин волн невозможно без применения специальных низкоомных и низкоиндуктивных средств соединения элементов электрической схемы с корпусом. В частности, применение проволочных соединений приведёт к катастрофической деградации параметров ЗУ X-диапазона в режиме ВУМ.

Единственный приемлемый способ соединения с корпусом в данном случае – использование сквозных металлизированных отверстий, соединяющих элементы на лицевой стороне МИС с металлизацией обратной стороны. Индуктивность металлизированного сквозного отверстия в кристалле МИС толщиной 100 мкм составляет около 0,02 нГн, активное сопротивление – 20 мОм, то есть импеданс такого соединения с корпусом составит 1,2–1,3 Ом на частоте 10 ГГц.

Исходя из изложенного также очевидно, что общая длина пути сигнала ВУМ от линии передачи через «открытый» PIN-диод до корпуса

должна быть минимальной – каждые дополнительные 50 мкм длины на частоте 10 ГГц увеличивают импеданс этого пути (фактически сопротивление диода в «открытом» состоянии) на 1 Ом.

Проводящие линии в составе МИС ЗУ выполняют две функции: основную – передачу СВЧ-сигнала со входа на выход в режиме НУМ или на корпус в режиме ВУМ, и дополнительную – отвод тепла от тепловыделяющих элементов (PIN-диодов) в режиме ВУМ. С точки зрения передачи СВЧ-сигнала, основным параметром проводящей линии ЗУ является малое эффективное электрическое сопротивление, определяемое её длиной, шириной, параметрами материала и толщиной (влиянием скин-эффекта).

Геометрия проводящих линий МИС ЗУ разрабатывается на базе требований по волновому сопротивлению и фазовому набегу линий передачи, кроме того, выдвигается дополнительное требование к ширине (поперечному сечению) дорожки, связанное с необходимостью выдерживать протекание большого тока, возможно, длительное время, в режиме ВУМ. В связи с последним требованием на основе накопленного на предприятии опыта по разработке и производству МИС определено следующее ограничение: действующее значение переменного тока не должно превышать 30 мА на 1 мкм ширины проводящей линии толщиной 2 мкм, сформированной методом гальванического золочения. Расчёты показывают, что действующее значение переменного тока на входной секции линии передачи разрабатываемого ЗУ (элементе W1.1 на рисунке 1) при входной мощности 5 Вт составляет 540 мА, то есть минимальная ширина линии составляет 18 мкм. С практической точки зрения, целесообразно принять ширину входных секций линии передачи ЗУ, равной 24 мкм. Требования к остальным проводящим линиям ЗУ существенно менее жёсткие – для них ширина, как правило, определяется возможностями технологического процесса производства МИС.

Проведён анализ литературы и патентные исследования по заданной теме. Получено наиболее удачное схемотехническое решение. Построена spice-модель устройства. Выбраны параметры компонентов ЗУ, проведены расчёты.

Литература

1. Ропий, А.И., Старик, А.М., Шутов, К.К. Сверхвысокочастотные защитные устройства. М.: Радио и связь, 1993. 128 с.
2. Добуш, И.М. Обзор способов построения и схем СВЧ монолитных ограничителей мощности // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники 2010.
3. СВЧ-монолитные интегральные схемы широкополосных коммутаторов и ограничителей мощности на основе гетероструктурных арсенидгаллиевых PIN-диодов / А.Ю. Ющенко, Г.И. Айзенштат,

Е.А. Монастырев, В.Г. Божков // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники 2011.
4. SPICE Modeling of Microwave and RF' Control Diodes / Robert H. Caverly, Nikolai V. Drozdovski, Lioudmila M. Drozdovskaia and Michael J. Quinn. Department of Electrical and Computer Engineering Villanova University.
5. RADIO-FREQUENCY INTEGRATED-CIRCUIT ENGINEERING. Copyright © 2015 by John Wiley & Sons, Inc.
6. The Circuit Designer's Companion. Copyright 2012, 2005, 1991 Elsevier Ltd.
7. R. Caverly et al. Spice Modeling of Microwave and RF Control Diodes. Midwest Symposium on Circuits and Systems Digest, 2000.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, профессором Петровым М.Н.

УДК 621.384.2+539.216.2
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.27

ПОДГОНКА УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛЁНОК С ПОМОЩЬЮ ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ

Стуколкин К.К.[1,2], Метелкин Д.Э.[1], Фёдоров Д.Г.[2]

[1]Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
[2]АО «ОКБ-Планета»
E-mail: stukolkin15@mail.ru

ADJUSTING FILM RESISTIVITY BY ION ETCHING

Stukolkin K.K.[1,2], Metelkin D.E.[1], Fedorov D.G.[2]

[1]Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
[2]JSC OKB-Planeta
E-mail: stukolkin15@mail.ru

Аннотация. У сформированных тонких плёнок нихрома были измерены параметры, такие как температурный коэффициент сопротивления, удельное сопротивление и толщина плёнки. Методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) было рассмотрено влияние ионного травления на морфологию поверхности плёнок NiCr. Построена зависимость удельного сопротивления от времени ионного травления в заданном режиме. Внедрён метод подгонки резисторов в маршрут изготовления приборов электронной техники.
Ключевые слова: *тонкая плёнка, ионное травление, удельное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, нихром, подгонка, интегральная схема.*

Abstract. Thin nichrome films were formed, and parameters, such as temperature coefficient of resistance, specific resistance, and film thickness, were measured. Using atomic force microscopy (AFM), the effect of ion etching on the surface morphology of NiCr films was examined. The dependence of the resistivity on the time of ion etching in a given mode is constructed. A method of fitting resistors to the route of manufacturing electronic devices has been introduce.
Keywords: *thin films, ionetching, resistivitytemperature coefficient of resistance, nichrome, adjusting, integrated circuits.*

Введение

Огромное количество электронных устройств имеет широкое распространение в современных приборах и технике. В большинстве случаев они имеют большую массу и занимают много пространства, что не отвечает современным требованиям компоновки электронной техники [1]. В связи с этим в настоящее время ведутся работы по разработке принципиально новых тонкоплёночных систем, применимых в различных электронных устройствах. Основу таких систем могут составлять

металлические плёнки толщиной порядка 100 нм, нанесённые на подложки.

Применение элементов в тонкоплёночном исполнении представляет эффективный путь решения проблемы миниатюризации и снижения материалоёмкости устройств различного назначения. Можно без преувеличения утверждать, что без тонкоплёночных технологий сегодня невозможно развитие технологии изготовления ИМС.

Целью данной работы являлось формирование тонкой плёнки на основе нихрома (NiCr) и подгонка ее удельного сопротивления до заданного методом ионного травления.

Результаты экспериментальных исследований

Тонкие плёнки нихрома обладают мелкозернистой структурой, повышенными значениями удельного поверхностного сопротивления, а также низкими значениями температурного коэффициента сопротивления [2].

В качестве исходного материала для формирования резистивного слоя используется нихром марки НХ50, обладающий очень низким значением температурного коэффициента поверхностного сопротивления. В зависимости от толщины плёнок и условий их нанесения параметры плёночных резисторов можно регулировать в широких пределах.

Современные технологии часто используют вакуумно-плазменные технологии для нанесения тонких функциональных покрытий на различные материалы. Свойства покрытий зависят как от параметров нанесения, так и от состояния поверхности подложки. Состояние поверхности подложки в свою очередь зависит от условий ее предварительной обработки. Для повышения качества наносимых покрытий необходимо удалить имеющуюся на подложке плёнку загрязнений, то есть очистить поверхность [1].

Вид очистки зависит от материала подложки, количества и состава поверхностных загрязнений. Перед нанесением плёнок нихрома производится очистка подложек в плазме кислорода. Она делается для того, чтобы убрать органические загрязнения и увеличить смачиваемость поверхности.

В качестве рабочих газов для очистки используются инертные газы, кислород, воздух и смеси этих газов. Выбор газа для очистки определяется материалом подложки и видом поверхностных загрязнений. Так, например, неорганические загрязнения удаляются в основном физическим распылением ионами аргона, а органические – обработкой в плазме кислорода.

В нашем случае первая очистка десяти подложек проводилась в плазме кислорода, при этом значение расхода кислорода составило 90%, а расход аргона 10%. Этот процесс производился 10 минут, а давление рабочего вакуума составило 1,4 мбар.

Как уже отмечалось, необходимым условием обеспечения высокой адгезии является удаление всех видов загрязнений с поверхности подложки. Подложки, поступающие с завода-изготовителя, имеют на своей поверхности сложный спектр загрязнений – органических и неорганических, включающих материалы, попадающие при полировании и шлифовании поверхности, различные адсорбированные вещества, частицы пыли, отпечатки пальцев и т.д.

Эффективным способом очистки поверхности подложки от всех видов загрязнений является химическое стравливание поверхностного слоя. Для очистки поверхности подложек применяются растворы различных химических составов.

В нашем случае первая очистка подложек проводилась сначала в растворе «КАРО», обработку проводили при температуре 70 °С в течение 7 минут. Раствор Каро представляет собой смесь перекиси водорода (H_2O_2) (25%) и концентрированной серной кислоты (H_2SO_4) (98%) в соотношении 1:2. Затем при том же времени и температуре производится обработка в растворе «ПАР», в состав этого раствора входит перекись водовода (H_2O_2) и 5%-й раствор аммиака.

Следует отметить, что после каждой стадии очистки необходимо осуществлять тщательную отмывку пластин деионизованной водой.

После химической обработки пластины помещаются в вакуумную камеру установки «Магнетрон», где и производится нанесение тонкого слоя NiCr методом магнетронного распыления. Плёнки формировались на партии поликора, состоящей из 10 подложек размером 48×60 мм. Состав мишеней приведён в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав мишени Ni/Cr

Химический состав, % масс.	
Ni	Cr
Основа	49,87

Установка оснащена автоматическим контролем параметров процесса, это позволяет существенно повысить воспроизводимость процесса и формировать качественные плёнки. Процесс осаждения плёнки проводился на нагретые подложки до температуры 180 °С, с отклонением не более одного градуса. Рабочее давление процесса контролировалось цифровым датчикоми лежало в диапазоне $(1{,}9–2{,}1) \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Питание магнетрона осуществляется стабилизированным источником постоянного тока. Такой источник даёт возможность проводить процесс со стабилизацией питания магнетрона по мощности, что положительно сказывается на стабильности проводимого процесса. Заданная мощность

на магнетроне с распыляемой мишенью NiCr составляла 400 Вт, при этом значения тока и напряжения составляли 1,29 А и 291 В соответственно, время пыления 7 минут и 30 секунд.

После нанесения тонкого слоя были измерены сопротивление и толщина. Замер сопротивления производился на установке ЦИУС-1 методом четырёхзондового измерения, данные приведены в таблице 2.

Для стабилизации параметров плёнок NiCr три подложки были оправлены на операцию термического отжига. Технологический процесс проводился в среде азота при температуре 300 ºС в течение 30 минут. Изменение слоевого сопротивления образцов после отжига приведено в таблице 2.

Для дальнейшей работы необходимо знать толщину резисторов. Эта толщина очень мала, и разрешающая способность интерферометра МИИ-4 не позволяет замерить эти значения, поэтому для определения толщины был использован АСМ, также с помощью АСМ было получено изображение поверхности плёнки NiCr.

Таблица 2. Значения слоевого сопротивления после напыления

№ образца	Rs, Ом/кв.	
	после напыления	после отжига
1	44,2	45,2
2	42,9	43,9
3	42,7	43,7
4	44,9	
5	43,5	
6	43,9	
7	43,7	
8	42,6	
9	43,3	
10	42,7	

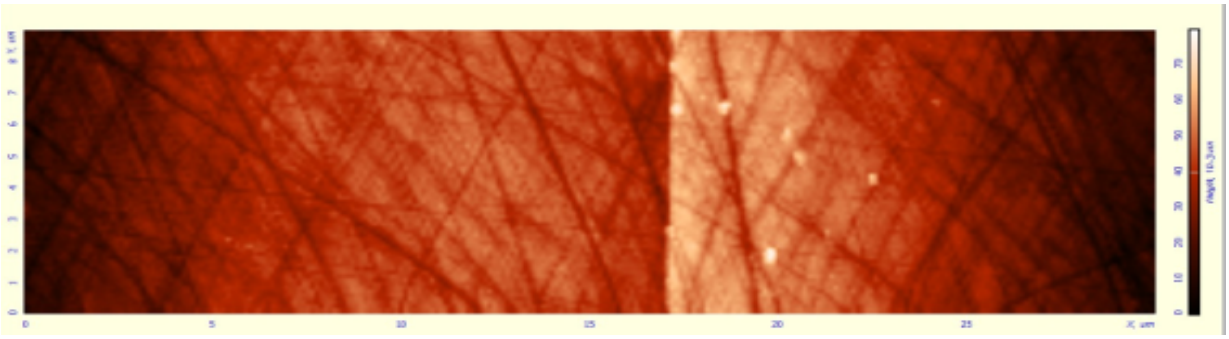


Рисунок 1. Морфология плёнки NiCr, полученная методом атомно-силовой микроскопией (АСМ)

По данным АСМ, толщина напылённого слоя составляет 30 нм, что соответствует заявленным требованиям. Из рисунка 1 видно, что морфология плёнки NiCr обуславливается морфологией поверхности пластины.

На подложках № 2 и № 6 были выбраны пять точек, по которым в дальнейшем замерялось удельное сопротивление и высчитывался ТКС. Схема расположения замеряемых точек представлена на рисунке 2.

точка 1		точка 2
	точка 3	
точка 4		точка 5

Рисунок 2. Расположение измеряемых точек подложки № 2 и № 6

ТКС – очень важный параметр при изготовлении резисторов высокой точности, поэтому его также замерили и значения привели в таблице 3.

Таблица 3. Значение ТКС (25–150 °С) для пластин с отжигом и без него

Номер точки / Номер подложки	1	2	3	4	5
Подложка № 2	–7,218E–03	–3,177E–04	–2,367E–04	–3,169E–04	–3,046E–04
Подложка № 6	1,490E–05	1,522E–05	7,470E–06	2,660E–05	1,917E–05

Из таблицы видно, что значение ТКС отожжённой плёнки (Подложка № 2) отрицательное и его значение на порядок больше, чем у неотожжённой (Подложка № 6). Возможно, это связано со структурными изменениями, происходящими в плёнке во время термического отжига, либо в неверном выборе режима отжига. Значение ТКС неотожжённого образца мало, что делает данные плёнки очень перспективными для использования в качестве высокоточных резисторов. Чем меньше значение ТКС, тем меньше влияние температуры на сопротивление и резисторы получаются стабильнее [3].

Технологический процесс магнетронного напыления слоя NiCr не обеспечивает значение удельного поверхностного сопротивления на пластинах на уровне 1%. Для получения резисторов с разбросом удельного сопротивления менее одного процента используют операцию подгонки.

В данной работе эта операция осуществлялась с помощью ионного травления. Для определения режима подгонки проводилось десять

операций ионного травления на каждой из подложек. Фиксировалось изменение удельного сопротивления. Операция проводилась при давлении рабочего газа в $5{,}2 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. Ток соленоида составил 1,5 А, ток ускорения – 40 мА, ускоряющее напряжение составило 2 кВ, при этом травление проходило в аргоне в течение 5 минут. По полученным значениям построили график, который необходим для выбора необходимого режима подгонки на рабочих пластинах.

Таблица 4. Значения удельного сопротивления подложки № 6 от времени травления

	Значение удельного сопротивления (Ом/□)												
Время травления (мин) / № точки замера	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	44,6	45,2	47	49,5	53	58,4	63,8	68,8	75	81,7	91,2	102,3	110
2	44,2	45	46,2	48,8	52,6	57,2	62,2	67,1	73,2	80,1	88,1	98,8	108
3	44,2	45,2	46,5	49	52,5	57,5	62,5	67,2	73,7	80,3	88,2	99	107,8
4	44,5	45,6	47	49,6	53,5	58,5	62,7	68,4	74,5	82,2	89	99,2	110,4
5	44,5	45,2	46,6	48,8	52,5	57,5	61,8	68,3	73,8	81,4	88,5	98,6	110,3

По полученным данным построили график зависимости сопротивления от времени ионного травления для подложки № 6 (рисунок 3).

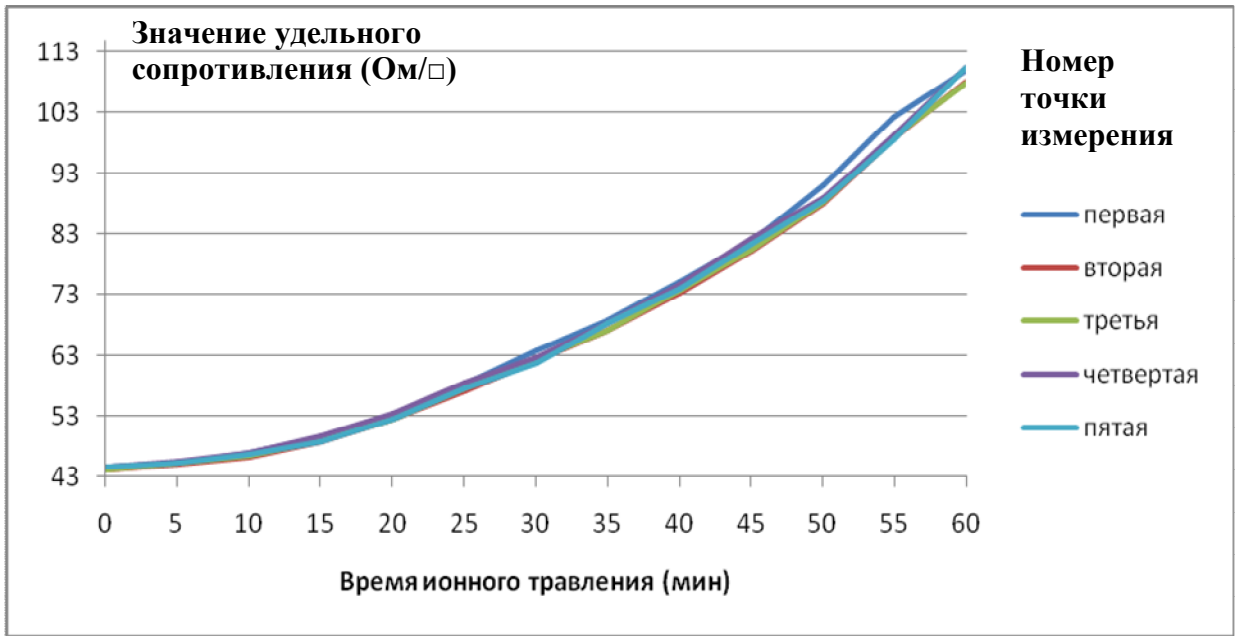


Рисунок 3. Зависимость удельного сопротивления подложки № 6 от времени ионного травления в каждой точке

В дальнейшем провели все те же операции подгонки для подложки № 2 с отжигом.

Таблица 5. Соотношение удельного сопротивления подложки № 2 от времени травления

	Значение удельного сопротивления (Ом/□)												
Время ионного травления (минут) / Номер точки измерения	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Первая	45,2	45,4	46	47	51	56	61,7	66,5	73,3	80,1	89	99,7	111
Вторая	44	45,7	45	45,7	49,2	54,3	59,7	64,6	71	77,6	85,6	95	104,6
Третья	44,3	43,8	44,5	45,5	48,8	53,5	57,9	63	69,6	76,1	83,5	93,8	103,3
Четвертая	44,9	44,2	44,8	47	49,2	55	58,1	63,6	70,9	77	83,9	93	103,9
Пятая	44,5	44,3	44,9	46,2	49,5	54,7	58,5	64	70,3	77,6	84,2	94	103,9

После каждого ионного травления изучалась морфология каждой подложки с использованием атомно-силового микроскопа. Структуры поверхности до ионного травления можно увидеть на рисунке 5, после операции травления – на рисунке 6.

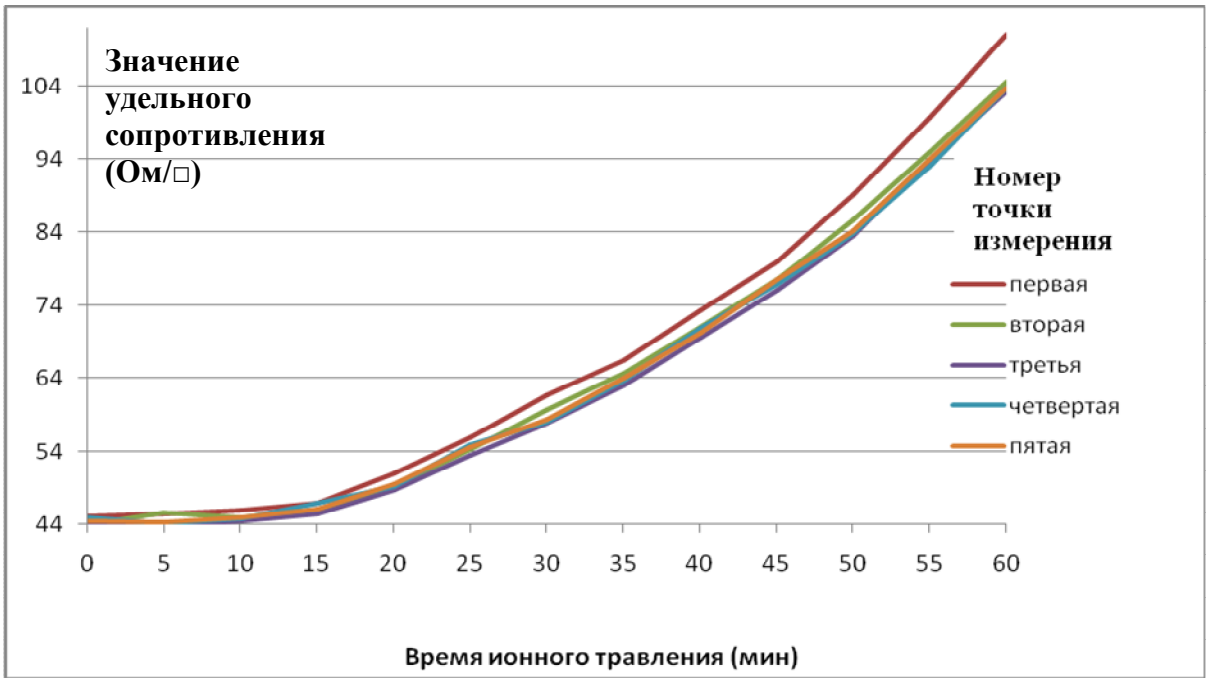


Рисунок 4. Зависимость удельного сопротивления подложки № 2 от времени ионного травления

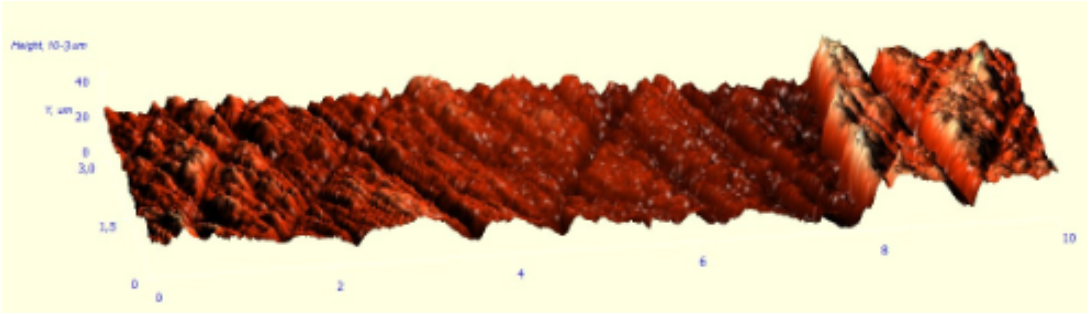


Рисунок 5. Структура поверхности подложки № 2 до ионного травления

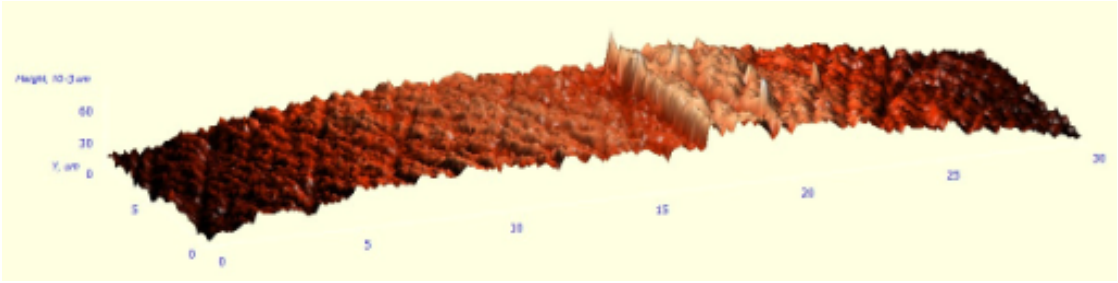


Рисунок 6. Структура поверхности подложки № 2 после ионного травления

По рисункам 5 и 6 можно сделать вывод, что ионное травление в заданном режиме не оказывает существенного влияние на шероховатость плёнки. Поэтому этот метод применим к технологии изготовления ИМС.

Данные этих исследований были успешно применены для подгонки тонкоплёночных резисторов ИМС на AsGa в номинал с разбросом не более 1%. Построенные в данной работе графики, представленные на рисунках 3 и 4, были использованы в выборе режима ионного травления для подгонки в нужный номинал резисторов, сформированных на рабочей партии.

Заключение

В результате выполнения данной работы были получены следующие итоги.

Был детально изучен четырёхзондовый метод измерения удельного сопротивления тонкоплёночных систем, полученных методом магнетронного напыления, а также были замерены параметры напылённых плёнок.

С помощью метода АСМ была измерена толщина напылённой плёнки NiCr, она соответствует примерно 30 нм при удельном сопротивлении 45 Ом/см. Плёнки такой толщины обеспечивают стабильные параметры резисторов. Методом АСМ была рассмотрена морфология тонкой плёнки до и после ионного травления. Существенного влияния ионной бомбардировки в заданном режиме на морфологию не выявлено. Был измерен ТКС в диапазоне температур от 25 до 150 °С. Получена зависимость изменения удельного сопротивления от времени

ионного травления, что дало возможность внедрить метод подгонки удельного сопротивления плёнок с помощью ионного травления в процесс изготовления интегральных схем.

Литература

1. Воробьев, Г.А., Данилина, Т.И., Смирнова, К.И. Тонкие плёнки в микроэлектронике. Томск: Изд-во Томского университета, 1991. 123 с.
2. Макарчук, М.В., Королёв, А.П. Физика тонких плёнок. М.: МИФИ, 2003. 358 с.
3. Антоненко, С.В. Технология тонких плёнок. М.: МИФИ, 2008. 104 с.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, доцентом Телиной И.С.

УДК 681.7.013
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.28

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Филипченко Н.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s229726@std.novsu.ru

RESEARCH OF INFORMATIVE PARAMETERS OF QUALITY CONTROL OF HEAT PIPES

Filipchenko N.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s229726@std.novsu.ru

Аннотация. В данной работе выполнены исследования по оценке информативности параметров контроля качества тепловых труб. В данной статье рассматривается проблема выбора наиболее информативного из выбранных параметров. Разработаны модели 9 нестационарных тепловых задач в программном обеспечении «Elcut». В ходе исследования были получены графики распределения частот параметров, а также графики изменения параметров во времени.
Ключевые слова: *тепловая труба, качество, информативность, параметр, исследование.*

Abstract: In this paper, studies are performed to assess the information content of the parameters of quality control of heat pipes. This article examines the problem of choosing the most informative of the selected parametersThe models of 9 non-stationary thermal problems in the software “Elcut” have been developed. In the course of the research, graphs of frequency distribution of parameters and graphs of parameter changes with time were obtained.
Keywords: *heat pipe, quality, information content, parameter, research.*

Внедрение тепловых труб (ТТ) в электронные средства (ЭС) стало огромным шагом на пути решения задач обеспечения нормального теплового режима. Явным преимуществом их использования в специальных системах охлаждения является транспорт тепловой энергии на большие расстояния без потерь при малых перепадах температур.

Как и любые другие устройства, перед тем как поступить в эксплуатацию, тепловые трубы должны контролироваться на предмет соответствия качеству. В основном разбраковку тепловых труб производят при помощи подвода тепла к одному из её участков и измерения температуры в нескольких точках, а также измерением других характеристик и последующим сравнением с характеристиками эталонной трубы.

Актуальность работы заключается в том, что в связи с расширением областей применения тепловых труб в наше время необходимо повысить достоверность и точность неразрушающих методов контроля качества ТТ.

Целью данной работы является исследование информативности параметров контроля качества тепловых труб методом накопленных частот для повышения их надёжности.

Методика проведения исследований

Исследуемый в данной работе метод контроля качества тепловой трубы включает в себя подвод тепла к середине тепловой трубы импульсным источником тепловой энергии, измерение температуры по разные стороны от зоны теплоподвода, определение зоны дефекта и оценку качества тепловой трубы.

Отличительной чертой метода является использование бесконтактных оптических методов подвода тепла и измерения температуры на длинах волн инфракрасного диапазона, а также цифровые методы обработки регистрируемого яркостного контраста теплового поля. Так, о качестве тепловой трубы можно судить по величине коэффициента асимметрии изотермической поверхности относительно зоны подвода тепла, а зону дефекта определяют визуально по искажению формы изотермических линий [1]. Схема данного метода контроля качества представлена на рисунке 1.

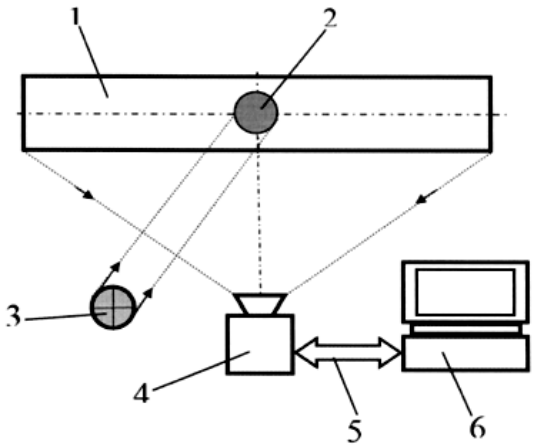


Рисунок 1. Структурная схема реализации метода [1]: *1* – тепловая труба; *2* – метка; *3* – источник тепла; *4* – тепловизор; *5* – канал связи; *6* – персональный компьютер с программным обеспечением

Для реализации проведения эксперимента в компьютерной среде необходимо было создать компьютерную модель в пакете ПО «Elcut».

Геометрическая модель ТТ

Выбранная методика контроля качества подразумевает нагрев импульсным источником тепловой энергии (лазером). Для компьютерных расчётов была простроена модель тепловой трубы в ПО «Elcut»

(рисунок 1) со следующими габаритными размерами: длина – 500 мм, ширина – 30 мм будет выглядеть следующим образом.

Метка на поверхности тепловой трубы имеет диаметр 20 мм.

Конфигурации пассивных дефектов на поверхности тепловой трубы:

1) круглый дефект, диаметр – 5 мм;
2) горизонтальный прямоугольный дефект, длина – 1 мм, ширина – 10 мм;
3) вертикальный прямоугольный дефект, длина – 10 мм, ширина – 1 мм.

Двумерная геометрическая модель тепловой трубы, построенная на координатном поле в пакете программ «Elcut», представлена на рисунке 2.

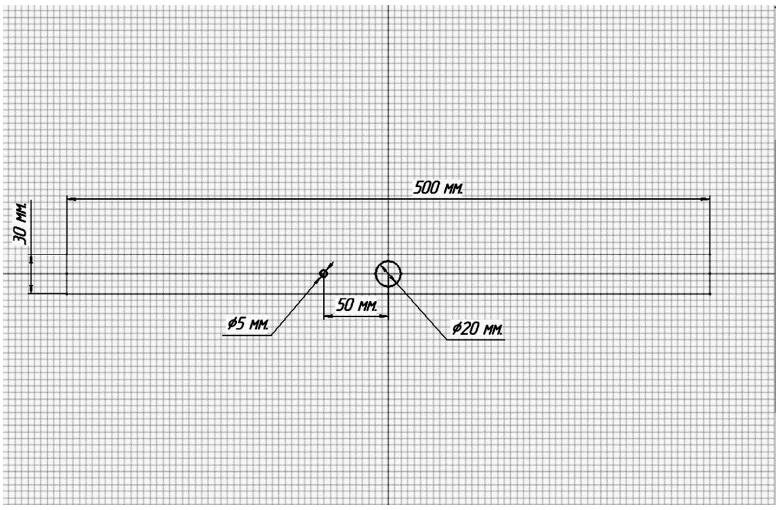


Рисунок 2. Двумерная модель тепловой трубы в «ELCUT»

Тепловая модель ТТ

Тепловая модель подразумевает собой модель с некоторыми упрощениями и ограничениями для того, чтобы решить задачу, но также модель не должна быть идеальной, т.к. она потеряет всякое отношение к системе. При построении ТТ были приняты следующее допущения:

1. Тепловая труба работает в режиме равномерного пуска. Это означает, что плотность пара достаточно высока при температуре окружающей среды и при подводе тепла сразу возникает достаточная циркуляция теплоносителя [2].

2. Моделью фитиля тепловой трубы будет стержень, форма и геометрические размеры которого совпадают с параметрами корпуса тепловой трубы, а температурное поле будет двумерным из-за наличия градиента температуры не только по длине ТТ, но и в толщине стенки корпуса [3].

Таким образом, тепловая модель исследуемой ТТ представляет собой стержень с эффективным коэффициентом теплопроводности. Такой вывод можно сделать также благодаря допущениям [3]:

Из всего вышесказанного следует, что двумерная тепловая модель ТТ будет выглядеть следующим образом:

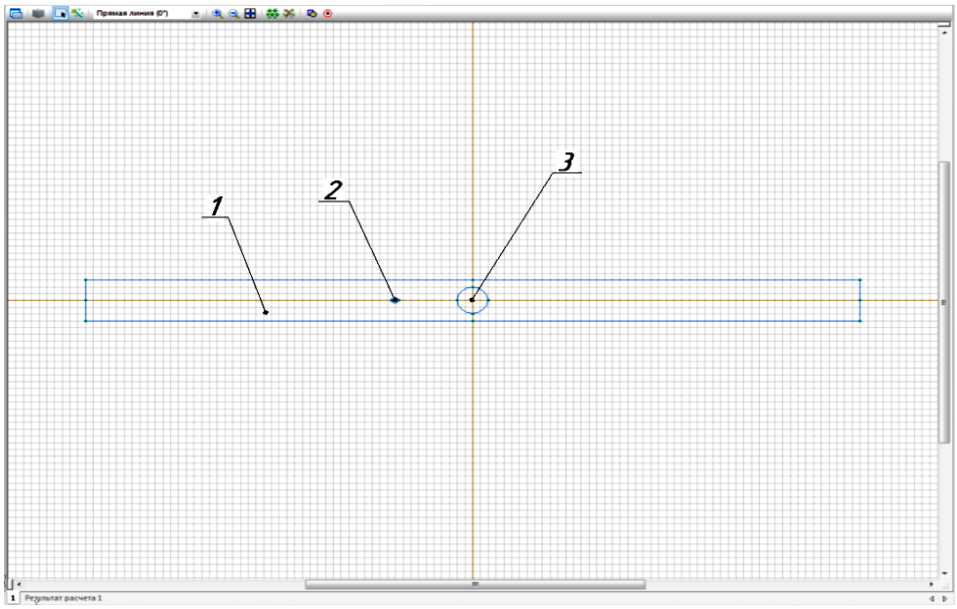


Рисунок 3. Двумерная тепловая модель исследуемой ТТ: *1* – корпус и фитиль ТТ; *2* – дефект на поверхности ТТ; *3* – источник теплового потока. Изображение получено при помощи ПО «Elcut»

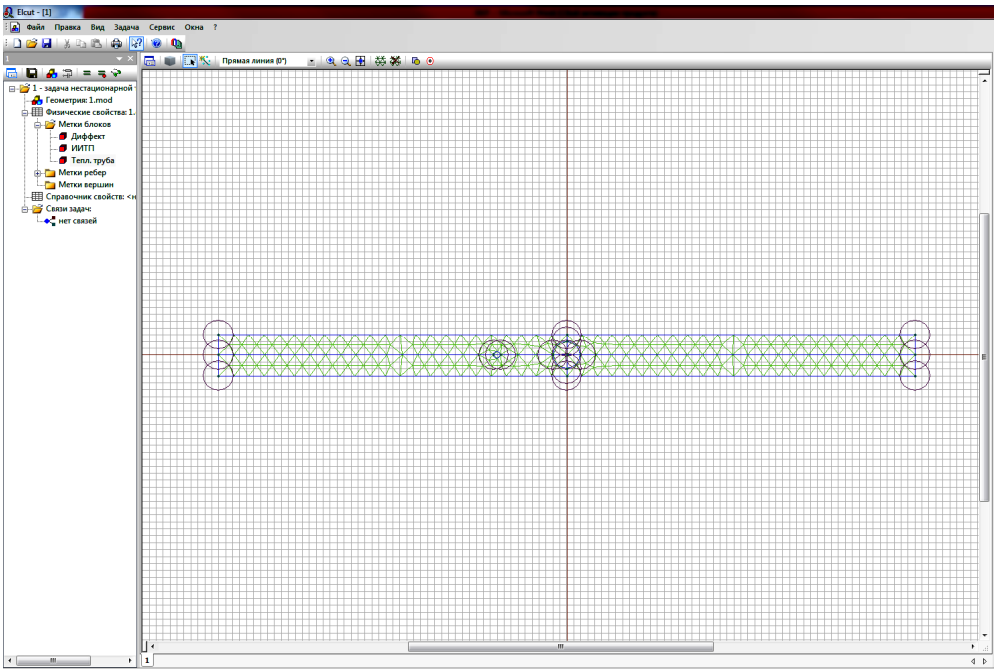


Рисунок 4. Двумерная тепловая модель исследуемой ТТ с построенной сеткой конечных элементов, количество элементов – 252. Изображение получено при помощи ПО «Elcut»

При построении тепловой модели при помощи ПО «Elcut» удалось добиться разбиения лишь на 252 элемента. Это связано с ограничениями возможностей студенческой версии ПО «Elcut», которая распространяется бесплатно.

Математическая модель ТТ

При построении математической модели ТТ была рассмотрена нестационарная задача теплопроводности в плоскопараллельной постановке. Для данного случая использовалось уравнение теплопроводности (1), а также начальное (2) и граничные условия (3–5) [5, с. 172–178]:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial T} = \lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q_0 , \quad (1)$$

где c_p и ρ – удельная теплоёмкость и плотность материала;

λ_x, λ_y , λ_z – коэффициенты теплопроводности;

q_0 – теплопроизводительность единицы объёма источников тепловой энергии;

T – температура;

x, y, z – координаты.

1. В начальный момент времени для рёбер всех тел, входящих в модель, задавалось постоянство температуры:

$$T_{i,t=0} = T_{[:} = const. \quad (2)$$

2. Для всех рёбер ИТП с учётом изотермичности поверхности задавалось условие первого рода

$$T = T_{П}. \quad (3)$$

3. Для внутренних рёбер, образующих паровой канал, задавались граничные условия второго:

$$\frac{\partial T_i}{\partial n} = \psi_i. \quad (4)$$

На внешних рёбрах (корпус) модели ТТ задавалось условие третьего рода, которое описывает как конвективный, так и лучистый теплообмен с окружающей средой:

$$\lambda_п \frac{dT}{dn} = a_k (T - T_c) - \beta (T^4 - T_c^4), \quad (5)$$

где β – величина, равная произведению постоянной Стефана–Больцмана ($\sigma_0 = 5{,}7 * 10^{-8}$ Вт/м^{2}К^4) на коэффициент излучательности поверхности материала зонда; a_k – коэффициент теплоотдачи конвекции. Численные значения коэффициента $\alpha_к$ были получены из предварительных расчётов с использованием известного метода подобия [6]. Отвод теплового потока через кондуктивные связи крепежа ТТ не учитывался.

Методика исследования информативности параметров

Суть метода накопленных частот (МНЧ) заключается в следующем. Пусть имеются два набора значений признака, принадлежащие нескольким матрицам «объект – признак» обучающих выборок А1 и А2.

Далее по нескольким наборам значений признака x строятся эмпирические распределения и подсчитываются накопленные частоты как суммы частот от начального до текущего интервала распределения.

Мерой информативности признака x служит модуль максимальной разности накопленных частот:

$$I(x) = \max_{j=0\to(q+1)} \{M_{1j} - M_{2j}\}, \quad (6)$$

где M_{1j} – накопленная частота для j-го интервала выборки A1; M_{2j} – накопленная частота для j-го интервала выборки A2; (q+1) – число интервалов [4].

Таким образом, метод накопленных частот является весьма простым в изучении, что позволяет использовать его как инструмент для выбора параметров разбраковки тепловых труб.

Имеются 2 значения признака x I X, принадлежащих двум матрицам «объект–признак» обучающих выборок A1 и A2. Далее по двум наборам значений признака x строятся эмпирические распределения и подсчитываются накопленные частоты как суммы частот от начального до текущего интервала распределения. Мерой информативности признака x служит модуль максимальной разности накопленных частот по формуле (6).

Задача состояла в рассмотрении следующего множества исходных признаков:

$$X=\{S, L, P\}. \quad (7)$$

Пусть заданы обучающие выборки A1 и A2, отражающие результаты измерения этих параметров для двух состояний – «Тепловая труба с дефектом» и «Тепловая труба без дефектов» соответственно.

По каждой выборке построены эмпирические распределения признака x. Для этого вычислены минимальные и максимальные значения этого каждого из признаков и размах для всех данных x_{min}, x_{max}.

Задано количество интервалов распределения так, чтобы размах значений признака примерно нацело делился на число q. В данном случае q = 5. Далее найдена величина Δ интервала распределения по формуле

$$\Delta = \frac{x_{max} - x_{min}}{q}; \quad (8)$$

Вычислены границы каждого j-го интервала:

$$d_j = x_{min} + j \times \Delta \; j = 0, 1, ..., q. \quad (9)$$

Для построения эмпирического распределения признака x по выборке A_k (k = 1, 2) найдены количества m_{kj} попаданий значений признаков в каждый интервал исходя из соотношения $d_{j-1} < x \leq d_j$.

Далее накопленная частота M_{kj} для j-го интервала вычислялась следующим образом:

$$M_{kj=\Sigma_{j=0}^{q} m_{kj},\ \ k=1,2.} \qquad (10)$$

Результаты исследований и их обсуждение

Полные результаты расчёта информативности параметров ТТ по всем трём признакам: P (периметр изотермы), S (площадь, охватываемая изотермой), L (расстояние до фронта изотермы) – представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты вычислений информативности признака разбраковки ТТ,I(x)

№ п/п	Параметр	j	$d_{j1} - 1 < x \le d_{j1}$	m_{1j}	M_{1j}	$d_{j2} - 1 < x \le d_{j2}$	m_{2j}	M_{2j}	$\lvert M_{1j} - M_{2j} \rvert$	I(x)
1	P	1	231–235,8	2	2	229–233,4	2	2	0	3
		2	235,8–240,6	1	3	233,4–237,8	0	2	1	
		3	240,6–245,4	5	8	237,8–242,2	3	5	3	
		4	245,4–250,2	0	8	242,2–246,6	1	6	2	
		5	250,2–255	1	9	246,6–251	3	9	0	
2	S	1	2944–3001	4	4	2984–3072,2	2	2	2	2
		2	3001–3058	0	4	3072,2–3160,4	0	2	2	
		3	3058–3115	3	7	3160,4–3248,6	3	5	2	
		4	3115–3172	0	7	3248,6–3336,8	2	7	0	
		5	3172–3229	2	9	3336,8–3425	2	9	0	
3	L	1	74–75,6	2	2	76–78	2	2	0	1
		2	75,6–77,2	1	3	78–80	0	2	1	
		3	77,2–78,8	3	6	80–82	3	5	1	
		4	78,8–80,4	0	6	82–84	2	7	1	
		5	80,4–82	3	9	84–86	2	9	0	

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что наиболее информативным параметром контроля качества ТТ является периметр изотермы в момент прохождения дефекта.

Полученный результат объясняется сильным изменением формы изотермы при прохождении дефекта.

Также в таблице 2 отражены результаты изменений признаков от времени на примере аммиачной тепловой тубы с вертикально расположенным дефектом.

Таблица 2 – Результаты измерений признаков разбраковки ТТ

Время t, с	Признаки					
	Площадь, охватываемая изотермой, S, пикс.		Расстояние до фронта изотермы, L, пикс.		Периметр изотермы, P, пикс.	
	S_L	S_R	L_L	L_R	P_L	P_R
10	4404	5070	94	106	299	308
40	10 300	11 970	208	242	515	583
80	14 511	19 799	294	401	687	901

Вывод

Исследование информативности параметров контроля качества ТТ выявило как наиболее информативный параметр – периметр изотермы в момент прохождении дефекта.

Также, согласно компьютерному моделированию эксперимента, можно сказать, что с течением времени информативность параметров растёт.

Данное исследование позволяет повысить надёжность производства тепловых труб.

Литература

1. Karachinov V.A., Evstigneev D.A., Abramov A.M., Petrov D.A. Diagnostics of thermal pipes with symmetric structure thermal impact method // International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering “Industry 4.0”. Machines. Technologies. Materials. 2019. Vol. 13. Iss. 2. P. 83–85.
2. Патент № 2456524 РФ МПК F28D 15/02. Способ контроля качества тепловой трубы / Карачинов В.А. // Б.И. 2012 Бюл. № 20.
3. Москвин, Ю.В., Филиппов Ю.А., Тепловые трубы, «Теплофизика высоких температур», 1969. Т. 7, № 4. С. 766–775.
4. Технологические основы тепловых труб / М.Н. Ивановский, В.П. Сорокин, Б.Л. Чулков, И.В. Ягодкин. М.: Атомиздат, 1980. 148 с.
5. Быкова, В.В., Катаева, А.В. Методы и средства анализа информативности признаков при обработке медицинских данных // Программные продукты и системы № 2 (01.06.2016). Изд. НИИ «Центрпрограммсистем», 2016. 114 с.
6. Лыков, А.В. Тепломассообмен. М.: Энергия, 1978. 480 с.
7. Лукс, А.Л., Матвеев, А.Г. Анализ основных расчётных и экспериментальных теплофизических характеристик аммиачных тепловых труб повышенной тепловой проводимости из алюминиевых сплавов // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2008. № 3 (62). С. 331–357.
8. ELCUT. [Электронный ресурс]. URL: https://elcut.ru. (дата обращения: 20.01.2020).

9. Компас-3D. [Электронный ресурс]. URL: https://kompas.ru/. (дата обращения: 20.01.2020).
10. Microsoft office 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://products.office.com/ru-ru/microsoft-office-2016. (дата обращения: 20.01.2020).
11. Алексеев, В.А., Арефьев, В.А. Тепловые трубы для охлаждения и термостатирования радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1979. 128 с.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Карачиновым В.А.

УДК 519.644.2
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.29

ПОИСК ТОЧЕК ЭКСТРЕМУМА МЕТОДОМ КВАЗИ-МОНТЕ-КАРЛО

Шевелёв Н.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: shevel-nikita@yandex.ru

SEARCH FOR EXTREMUM POINTS USING THE QUASI-MONTE CARLO METHOD

Shevelev N.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: shevel-nikita@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема поиска точек экстремума наиболее точным и быстрым способом. Оцениваются два метода поиска точек экстремума: 1) Монте-Карло; 2) квази-Монте-Карло. Получены приемлемые результаты оценок. Составлен алгоритм нахождения точек экстремума для дальнейшего прикладного применения.
Ключевые слова: *случайный поиск, глобальная оптимизация, метод квази-Монте-Карло.*

Abstract. The article deals with the actual problem of finding extremum points in the most accurate and fast way. Two methods for finding extremum points are evaluated: 1) Monte Carlo; 2) quasi-Monte Carlo. Satisfactory results of evaluationsisreceived. An algorithm for finding extremum points is developed for further application.
Keywords: *random search, global optimization, quasi-Monte Carlo method.*

Требуется дать интегральную оценку методов Монте-Карло и квази-Монте-Карло на основании следующих характеристик:

1) скорость сходимости;
2) удобство;
3) последовательности.

Приступим к рассмотрению и оценки используемых методов. Чаще всего решение задачи параметрической оптимизации проводится в несколько этапов. На первом этапе выделяют области параметров, в которых целевая функция является унимодальной, на втором – уточняют положения точек локального минимума в областях унимодальности, а затем среди точек локального минимума выбирают точку глобального минимума.

Методы Монте-Карло (или эксперименты Монте–Карло)

Метод Монте-Карло широко используется в задачах, где размерность области интегрирования достаточно высока. Такие задачи возникают в различных разделах физики (например, физика элементарных частиц, термодинамика, оптика, статистическая физика), равно как и во многих других областях (биология, химия, медицина, эконометрика). В рамках частной постановки задачи численного интегрирования простейшей оценкой интеграла I служит сумма

$$S_n^{MC} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f(x_i),$$

где x_1, …, x_n – независимые случайные вектора, равномерно распределённые в Us. Это несмещённая оценка интеграла.

Когда говорят о том, что сходимость метода Монте-Карло равна $O\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)$, имеют в виду вероятностный характер этой сходимости, устанавливаемый шириной доверительного интервала. В случае с классическими квадратурами вычислительной математики, напротив, сходимость подразумевается строго детерминированная. Так, например, для метода Симпсона в многомерном случае порядок ошибки составляет $O\left(\frac{1}{n^{2/s}}\right)$. Принципиальное отличие метода Монте-Карло от классических состоит ещё и в том, что порядок убывания ошибки не зависит от размерности интеграла s. Это ведёт к тому, что с точки зрения асимптотики превосходит классические квадратуры для достаточно небольших s, и этот разрыв только увеличивается с ростом размерности. Так, в сравнении с вышеупомянутой формулой Симпсона метод Монте-Карло предпочтителен в этом плане уже для $s > 5$.

Аналогичный подход, в методе квази-Монте-Карло. Метод квази-Монте-Карло получил широкое распространение в трудных, с точки зрения вычислительной сложности, задачах. Такого рода задачи возникают, например, в стохастической финансовой математике или при рендеринге трёхмерных сцен со сложными моделями освещённости. Использование метода Монте-Карло даже с учётом понижения дисперсии может оказаться неприемлемым в силу достаточно медленной сходимости порядка $O\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)$. Известно, что алгоритмы квази-Монте-Карло, использующие квазислучайные последовательности точек вместо псевдослучайных чисел, сходятся к искомому результату, по крайней мере, не медленнее, а обычно быстрее, чем соответствующие алгоритмы Монте-Карло за счёт сходимости порядка $O\left(\frac{1}{n}\right)$. Интегрирования с использованием квазислучайной последовательности зависит от кратности интеграла. Это объясняется увеличением величины невязки квазислучайных последовательностей с ростом числа измерений.

Оценкой искомой величины I при использовании квази-Монте-Карло является среднее значение функции f для некоторой детерминированной последовательности $x_1, \ldots, x_n$:

$$S_n^{QMC} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f(x_i).$$

Основная идея квази-Монте-Карло состоит в том, чтобы получить хорошо распределённые (в некотором смысле) наборы точек. Идея построения сети заключается в размещении точек таким образом, чтобы их количество было пропорционально объёму подмножеств многомерных областей определённого вида. Результат анализа говорит, что метод квази-Монте-Карло является более подходящим для такой задачи, как поиск точек экстремума.

Пусть целевая функция $f: (0,1]^d \mapsto \mathbb{R}$ принимает минимальное значение в единственной точке x_*. Метод квази-Монте-Карло используем для отыскания точки минимума x_* с заданной точностью $\varepsilon > 0$ (аппроксимация «по аргументу»).

Назовём пространством оптимизации множество оптимизации X, снабженное метрикой ρ. Ограничимся случаем $X = \mathbb{I}^d = (0,1]^d$ и следующими вариантами метрик $\rho(x,y)$:

$$\rho_p(x,y) = \left(\sum_{i=1}^{d} \varrho^p(x_i,y_i)\right)^{1/p}, \qquad \rho_\infty(x,y) = \max_{1\le i\le d} \varrho(x_i,y_i), \tag{1}$$

где $p \geq 1$ – любое фиксированное число, $x = (x_1, \ldots, x_d)$ и $y = (y_1, \ldots, y_d)$, $\varrho(x_i,y_i) = \min(|x_i - y_i|, 1 - |x_i - y_i|)$. Для любой из метрик (1) пространство $(\mathbb{I}^d, \rho)$ топологически является d-мерным тором. Обозначим $\Gamma = \mathrm{diam} X$.

Замкнутый шар радиуса r с центром в точке x обозначим как $B_r(x) = \{y \in X: \rho(x,y) \leq r\}$. Положим $\varphi(r) = \mu(B_r(x))$, где μ означает d-мерную меру Лебега. Отметим, что $\varphi(r)$ не зависит от x, и при этом для всех достаточно малых r

$$\varphi(r) = Ar^d, \tag{2}$$

где A – константа, зависящая от размерности пространства и от метрики ρ. Кроме того, $\varphi(r) = 1$ при $r \geq \Gamma$.

Выбор метрики тора в кубе $\mathbb{I}^d$ вместо евклидовой метрики позволяет избежать изучения «краевых эффектов», возникающих вблизи границы куба. В то же время для порядков скорости сходимости поиска экстремума выбор тора в качестве пространства оптимизации не является

принципиальным. Действительно, при $x_* = \arg\min\{f(x): x \in X\} \in (0,1)^d$ малые окрестности точки x_* в кубе и торе совпадают, и результаты о скорости сходимости, полученные для тора, автоматически переносятся на куб. Выбор метрики тора сказывается здесь только на конструкции поиска.

В дальнейшем всегда будет предполагаться, что целевая функция $f: X \mapsto \mathbb{R}$ ограничена снизу, измерима и удовлетворяет следующим условиям.

Условие 1. Функция f принимает минимальное значение в единственной точке $x_* = \arg\min\{f(x): x \in X\}$.

Условие 2. Функция f непрерывна в точке x_*.

Условие 3. Неравенство $\inf\{f(x): x \in B_r^c(x_*)\} > f(x_*)$ выполнено для любого $r > 0$.

Здесь через $B_r^c(x_*)$ обозначено дополнение шара $B_r(x_*)$ в пространстве X. Ввиду условия 3, из сходимости $f(x_n) \to f(x_*)$ следует, что $\rho(x_n, x_*) \to 0$. Отметим, что функции указанного класса могут быть многоэкстремальными в любой окрестности глобального минимума. Поиском будем называть произвольную последовательность точек $\{\xi_i\}_{i \geq 1}$ в пространстве оптимизации X. Если неравенство $f(\xi_{i+1}) \leq f(\xi_i)$ выполняется для любого $i \geq 1$, то поиск называется монотонным. Далее будут изучаться монотонные поиски специального вида.

Для поиска точки глобального максимума целевой функции f воспользуемся методом квази-Монте-Карло [2, 6]. Сеткой в множестве $A \subset X$ называется любой конечный набор точек $Q = \{x_1, \dots, x_n\}$ из A. Для сетки Q число n ее точек обозначается $|Q|$.

В соответствии с [2] качество характеристики «плотности» сетки $Q = \{x_1, \dots, x_n\}$ в множестве A, воспользуемся отклонением сетки Q от множества A:

$$\sigma(Q, A) = \sup_{y \in A} \min_{x_i \in Q} \rho(x_i, y).$$

Ясно, что чем меньше величина $\sigma(Q, A)$, тем лучше «прощупывает» сетка Q множество A. Будем полагать, что зафиксирован некоторый метод $\mathcal{Q}$ построения сеток в шарах $B_r(x)$ при всевозможных значениях $r > 0$ и $x \in X$, и писать $Q \in \mathcal{Q}$, если сетка Q в $B_r(x)$ построена этим методом. От метода $\mathcal{Q}$ мы потребуем, чтобы для любого шара $B_r(x)$ и любого числа $t \in (0, \Gamma]$ существовала такая сетка $Q \in \mathcal{Q}$ в $B_r(x)$, что $\sigma\big(Q, B_r(x)\big) \leq t$.

Положим

$$n(x, r, t) = \min\{|Q|: Q \in \mathcal{Q}, \sigma\big(Q, B_r(x)\big) \leq t\} \tag{4}$$

и обозначим $Q_{\min}\big(t, B_r(x)\big)$ ту (наилучшую) сетку, на которой достигается минимум в правой части (4). Благодаря условиям на $\mathcal{Q}$ величины $n(x, r, t)$

являются конечными. Дополнительно мы будем требовать, чтобы эти величины не зависели от x, и будем обозначать их $n(r,t)$.

Сетку в шаре $B_r(x)$ можно получить, используя простое преобразование (см. [2]) «исходной» сетки, построенной в кубе $[0,1]^d$. При таком способе построения сеток в шарах величины $n(x,r,t)$ не будут зависеть от x. Всем введенным требованиям удовлетворяют, например, простейшие кубические сетки или другие неслучайные сетки, описанные в [2].

Представим алгоритм поиска $x_* = \arg\min\{f(x): x \in X\}$ для исследуемого метода сеток. Параметрами алгоритма являются метод Q построения сеток, число сеток m, радиусы $a_2, \dots, a_m$ шаров, в которых строятся сетки (самая первая сетка строится в кубе $\mathbb{I}^d$) и верхние границы $t_1, \dots, t_m$ отклонений сеток.

Алгоритм 1

Шаг 1. $i \leftarrow 1$. Построить сетку $\left\{x_1^{(1)}, \dots, x_{n_1}^{(1)}\right\} = Q_{\min}(t_1, X) \in Q$, где $n_1 = n(\Gamma, t_1)$.

Шаг 2. $\xi_1 \leftarrow \arg\min\left\{f\left(x_1^{(1)}\right), \dots, f\left(x_{n_1}^{(1)}\right)\right\}$.

Шаг 3. Если $i = m$, то завершить работу алгоритма, иначе $i \leftarrow i + 1$.

Шаг 4. Построить сетку $\left\{x_1^{(i)}, \dots, x_{n_i}^{(i)}\right\} = Q_{\min}\left(t_i, B_{a_i}(\xi_{i-1})\right) \in Q$, где $n_i = n(a_i, t_i)$.

Шаг 5. $\xi_i \leftarrow \arg\min\left\{f\left(x_1^{(i)}\right), \dots, f\left(x_{n_i}^{(i)}\right), f(\xi_{i-1})\right\}$ и перейти к шагу 3.

Будем считать, что

$$\arg\min\{f(x_1), \dots, f(x_n)\} = x_i,$$

где

$$i = \max\{j \in \{1, \dots, n\}: f(x_j) = \min\{f(x_1), \dots, f(x_n)\}\}.$$

Реализуемый в компьютерной программе алгоритм поиска аналогичен методу поиска, рассмотренному в [2, 6]. Уточним алгоритм поиска, который будет реализован в компьютерной программе. Для нахождения точек экстремума введем следующий алгоритм поиска. Для решения задачи последовательно построим k квадратичных сеток в многоугольных областях. Для поиска точки глобального минимума целевой функции f воспользуемся вариантом поиска квази-Монте-Карло описанным в [2, 6]. Сеткой в множестве $A \subset X$ называется любой конечный набор точек $Q = \{x_1, \dots, x_n\}$ из A. В реализуемом алгоритме используем многомерные сетки в многоугольных областях.

Основные параметры:

z – размерность сетки;

m – центр z сетки;

$[a_1, b_1]X \dots X[a_n, b_n]$ – параметры z сетки;

c_1 – сторона первой сетки с новыми параметрами;
$c_i = c_{i-1} \cdot q$ – сторона i сетки с новыми параметрами;
q – коэффициент уменьшения стороны сетки, где $0 < q < 1$;
r_0 – размер кубов начальной сетки;
$r_i = r_{i-1} \cdot q$ – размер кубов i сетки.

1. Задаём количество шагов поиска k, r_0, z.
2. $i \leftarrow 1$. Строим z сетку $\left\{x_1^{(1)}, \dots, x_{n_1}^{(1)}\right\}$.
3. Находим точку $x_0 \leftarrow \arg\min\left\{f\left(x_1^{(1)}\right), \dots, f\left(x_{n_1}^{(1)}\right)\right\}$, $m = x_0$, задаём параметры новой сетки c_1.
4. Если $i = k$, то Стоп, иначе $i \leftarrow i + 1$.
5. Рассчитываем новое r_i.
6. Строим z сетку $\left\{x_1^{(i)}, \dots, x_{n_i}^{(i)}\right\}$ с центром в точке m.
7. Находим точку $x_0 \leftarrow \arg\min\left\{f\left(x_1^{(i)}\right) \dots f\left(x_{n_i}^{(i)}\right)\right\}$, $m = x_0$, задаем параметры новой сетки c_i и перейти к шагу 4.

Программа разрабатывается на языке C# в интегрированной среде разработки Visual Studio. Среду разработки Visual Studio можно использовать бесплатно, и поэтому Visual Studio может служить удобным инструментом для научных расчётов. Программа имеет графический интерфейс пользователя, написанный с помощью Windows Forms.

Для применения поиска нужно задать целевую функцию и параметры поиска. Результатами поиска будут конечная точка поиска (приближающая точку глобального минимума) и значение целевой функции в конечной точке поиска. Параметры поиска легко задать в главном окне программы. Код функции можно написать непосредственно в коде программы (на языке C#). При написании кода, вычисляющего значение целевой функции, как правило, достаточно минимальных сведений о каком-нибудь языке программирования типа C, C++, C#, Java. В проекте нужно открыть файл ObjectiveFunction.cs. В этом файле нужно задать размерность пространства оптимизации и код, вычисляющий значение целевой функции. После этого нужно перекомпилировать и запустить программу (например, нажав клавишу F5). Язык C# является объектно-ориентированным языком программирования, ориентированным на программирование с использованием классов. В файле ObjectiveFunction.cs находится определение класса ObjectiveFunction, содержащее только определение целевой функции и размерности пространства оптимизации. Никакого другого сложного кода в этом файле нет.

Для вычислений в программе используется числовой тип double, обеспечивающий точность в 15–16 знаков. Отметим, что этот числовой формат ограничивает возможную точность решения задачи. Рассуждая

несколько упрощённо, получим следующие выводы. Если целевая функция ведёт себя приблизительно как квадратичная функция в окрестности глобального минимума, то при точности аппроксимации по аргументу порядка 10^{-8} мы получим точность аппроксимации по значению функции порядка 10^{-16}. Если минимальное значение целевой функции принадлежит интервалу $(1,10)$, то числовой тип double, обеспечивающий точность в 15–16 знаков, не позволит вычислять значение функции с точностью выше 10^{-16}. Таким образом, возможная точность решения задачи составит порядка 10^{-7} при аппроксимации по аргументу и порядка 10^{-14} при аппроксимации по значению функции. Такой точности, как правило, достаточно с практической точки зрения. И такую точность решения задачи можно получить при использовании рассматриваемого алгоритма поиска при решении не слишком сложных задач оптимизации.

Полученный алгоритм позволяет использовать метод квази-Монте-Карло для различных программных реализаций по поиску точек экстремума.

Литература

1. Вирт, Никлаус. Алгоритмы и структуры данных. Новая версия для Оберона + CD / пер. с англ. под ред. Ф.В. Ткачева. М.: ДМКПресс, 2010. 272 с.
2. Niederreiter, H., Peart, P. Localization of search in quasi-Monte Carlo methods for global optimization // SIAM J. Sci. Statist. Computing. 1986. P. 660–664.
3. Szirmay-Karlos, L. Monte-Carlo methods in global illumination. Institute of Computer Graphics, Vienna University of Technology, 1999.
4. An analysis to quasi- Monte Carlo integration applied to the transillumination radiosity method / L. Szirmay-Karlos, T. Foris, L. Neumann, B. Csebfalvi // Computer Graphics Forum (Eurographics'97), 16 (3) : 271–281, 1997.
5. Соболь, И.М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973.
6. Tikhomirov, A.S. On the convergence rate of the quasi-Monte Carlo method of search for extremum // Journal of Physics: Conference Series, 1352, 012051, 2019. P. 1–8.

Статья рекомендована к печати
канд. физ.-мат. наук, доцентом Тихомировым А.С.

УДК 621.396.6
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.30

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ СИНТЕЗА КОМПАКТНОЙ МОДЕЛИ PIN-ДИОДА

Шкуропата Е.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: SHK.e.a@mail.ru

ANALYSIS OF THE COMPLEX OF EXPERIMENTAL DATA REQUIRED FOR SYNTHESIS OF THE COMPACT PIN-DIODE MODEL

Shkyropata E.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: SHK.e.a@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные параметры PIN-диода, определяющие его поведение в статическом и динамическом режимах работы. Показано, что для схемотехнического моделирования функциональных блоков необходимо использование компактных (SPICE) макромоделей PIN-диода. Для потребителей этих приборов наиболее эффективный способ создания таких моделей – синтез на базе экспериментальных данных.
Ключевые слова: *PIN-диод, SPICE-макромодель.*

Abstract. The article discusses the main parameters of the PIN-diode, which determine its behavior in static and dynamic modes of operation. It is shown that for circuit simulation of functional blocks, it is necessary to use compact (SPICE) macromodels of a PIN-diode. For consumers of these devices, the most effective way to create such models is synthesis based on experimental data.
Keywords: *PIN-diode, SPICE-macromodel.*

Введение

На современном рынке существует широкая номенклатура переключательных и ограничительных PIN-диодов, которую предоставляют импортные производители: Diotec Semiconductor (США), HotTech Technology (Китай), MACOM и многие другие. Из отечественных производителей наиболее широкий ассортимент предоставляют следующие предприятия: ПАО «Электровыпрямитель», г. Саранск, ЗАО «Протон-Электротекс», г. Орел, АО «НИИПП», г. Томск, ОКБ «Планета», г. Великий Новгород.

Зачастую указанные в технической документации PIN-диодов зависимости представлены в ограниченном диапазоне значений, а

некоторые параметры вовсе отсутствуют в открытом доступе. Нередко можно заметить, что типовая характеристика PIN-диода – зависимость сопротивления диода в открытом состоянии от прямого тока, представляющая особый интерес в вопросах использования PIN-диодов в качестве коммутаторов, фильтрующих и антенно-согласующих цепей, представлена в недостаточно полном диапазоне значений токов. Также часто производителями не приведены такие характеристики, как зависимость ёмкости диода от частоты и обратного напряжения, зависимость сопротивления диода в открытом состоянии от температуры.

Таким образом, очень часто набора значений параметров, прописанных в технической документации, на практике может оказаться недостаточным. Разрешить данную проблему можно с помощью синтеза на базе экспериментальных данных компактных моделей PIN-диодов (SPICE-макромоделей), которые дают возможность в наиболее полной степени учитывать реальные свойства этих приборов и прогнозировать их влияние на работу проектируемых устройств.

Сегодня много говорят о важности компьютерного моделирования (симуляции) аналоговых схем, поскольку использование систем моделирования электронных схем на базе SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) позволяет уменьшить количество ошибок на начальных этапах проектирования и сократить время разработки устройства. При правильном использовании SPICE-симулятора можно проверить работоспособность схемы и исключить ошибки ещё до того, как будет готова макетная плата, а также промоделировать работу компонентов от разных производителей с целью определения наиболее оптимальной модели.

С учётом изложенного, целью данной работы является анализ необходимого набора экспериментальных данных для синтеза параметров компактной (SPICE) модели PIN-диода.

1. Основы технологии производства

PIN-диод – разновидность диода, в котором между областями электронной (n) и дырочной (p) проводимости находится собственный полупроводник (*i*-область), p- и n-области, как правило, легируются сильно, так как они часто используются для омического контакта к металлу [1].

Значение сопротивления диода определяется величиной постоянного тока в режиме прямого смещения. В переключателях и аттенюаторах, PIN-диод должен идеально управлять уровнем радиочастотного сигнала, без искажения, которое могло бы изменить форму сигнала. Важная функция PIN-диода – возможность управлять большими радиочастотными сигналами при использовании намного меньших уровней постоянного питания.

PIN-диоды изготавливаются на эпитаксиальных структурах. Эпитаксиальные плёнки кремния выращивают разложением $SiCl_4$, SiH_4, а

также методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Выращивание обычно проводят на подложках n^+-типа с удельным сопротивлением 0,001–0,003 Ом·см. При эпитаксии для уменьшения толщины переходного слоя между низкоомной подложкой и высокоомной плёнкой принимают меры, снижающие эффект автолегирования. Для этой цели перед эпитаксиальным выращиванием обратную сторону подложки маскируют нелегированным материалом, а процесс эпитаксии проводят в два этапа.

На первом этапе при высокой температуре выращивают тонкий (около 0,4 мкм) слой нелегированного Si, на втором при более низкой температуре этот слой доращивают до необходимой толщины. При пиролизе SiH_4 в качестве маски может быть использован слой SiO_2. Для $SiCl_4$ предпочтительнее маскирование высокоомным слоем Si.

Молекулярно-лучевая эпитаксия позволяет уменьшить толщину переходного слоя примерно до 0,2 мкм. Обычно p–i-переход создаётся низкотемпературной диффузией бора на глубину 0,15–0,22 мкм. При изготовлении p–i–n-структур по технологии обращенной мезаструктуры подложку стравливают до толщины, равной примерно 10 мкм. При создании прямой мезаструктуры подложку также утончают [1].

В качестве контактов к сильнолегированным областям p–i–n-структур используются тонкие слои Cr, Ti и Pd_2Si. Контакты формируются в виде многослойных систем Ti-Au, Cr-Pd-Au.

Адгезия Ti и $PdSi_4$ к Si лучше, чем Cr. Кроме того, для хромового контакта наблюдается аномальная зависимость сопротивления от плотности прямого тока. Недостатком Ti является его взаимодействие с травителем для кремния. Вследствие этого при формировании мезаструктуры качество титанового контакта может существенно ухудшаться.

2. Применение PIN-диодов

РЧ- и СВЧ-управляемые аттенюаторы

Традиционно PIN-диоды применяются как переключатели в СВЧ- и радиотрактах, а также фотодетекторы и модуляторы.

Область применения подразделяется на шесть основных групп:

– детекторные;
– смесительные;
– переключательные и ограничительные;
– параметрические;
– генераторные;
– умножительные и настроечные.

Аттенюатор – устройство, уменьшающее амплитуду или мощность сигнала без существенного искажения его формы.

Принцип работы аттенюатора заключается в ослаблении сигнала (усиление меньшее единицы).

Аттенюаторы – это пассивные устройства, сделанные на базе схемы простого делителя напряжения. Переключение между различными сопротивлениями формирует регулируемые ступенчатые и плавно регулируемые аттенюаторы, использующие потенциометры. Для более высоких частот используются тщательно подстроенные сети низкого сопротивления КСВ.

Для уменьшения напряжения, рассеиваемой мощности, а также улучшения согласования с линией используются фиксированные аттенюаторы. При измерении сигналов прокладки аттенюатора или адаптеры используются для снижения амплитуды на нужный уровень для возможности измерения, а также для защиты измерительного прибора от уровней сигнала, которые могут повредить его. Аттенюаторы также используются для подгонки под сопротивление нужной величины за счёт непосредственного снижения КСВ.

Меняя ток через PIN-диод, можно быстро изменить реактивное сопротивление. На высоких частотах реактивное сопротивление PIN-диода обратно пропорционально силе тока. Соответственно, PIN-диод может использоваться как управляемый аттенюатор, например, в схемах амплитудных модуляторов и сдвига уровня. Так, PIN-диод может использоваться как мостовой или шунтирующий резистор в Т-мостовой схеме аттенюатора.

Коммутация ВЧ- и СВЧ-сигналов с помощью PIN-диодов

PIN-диоды применяются для коммутации ВЧ- и СВЧ-сигналов. Это возможно благодаря их уникальному свойству – регулируемой проводимости на частоте сигнала. Такое регулирование осуществляется обычно либо при подаче на диод внешнего постоянного напряжения смещения, либо непосредственно уровнем сигнала.

Последовательное включение диода находит широкое применение в выключателях малого уровня мощности. При увеличении мощности коммутируемого сигнала значительно возрастают искажения, вносимые диодом в сигнал, проходящий через него в открытом состоянии ключа.

Для мощных сигналов применяются схемы с параллельным включением диода в линию или смешанные схемы. При конструировании широкополосных диодных выключателей применяется последовательное включение.

3. Параметры PIN-диодов при прямом смещении

На рисунке 1 представлена схема замещения диода при подаче напряжения прямого смещения. В открытом состоянии PIN-диод представляет собой последовательное соединение сопротивления Rs и индуктивности L.



Рисунок 1. Схема замещения открытого диода

Когда на PIN-диод подаётся прямое смещение, дырки и электроны инжектируются из p- и n-областей в i-область [2]. Эти заряды не рекомбинируют мгновенно. В результате конечное количество заряда всегда остаётся постоянным, что приводит к понижению удельного сопротивления i-области. Количество накопленного заряда ***Q***, зависит от времени рекомбинации ***t*** (времени жизни) и от тока $\boldsymbol{I_F}$ следующим образом:

$$Q = I_F\, t \qquad [\text{Кл}]. \tag{1}$$

Сопротивление i-области R_S, при прямом смещении обратно пропорционально Q и выражается уравнением:

$$R_S = \frac{W^2}{(\mu_N + \mu_p)\, Q}\ [\text{Ом}], \tag{2}$$

где W – ширина i-области;

μ_n – подвижность электронов;

μ_p – подвижность дырок.

Объединяя уравнения (1) и (2), получим:

$$R_S = \frac{W^2}{(\mu_N + \mu_p)\, \tau\, I_F}\ [\text{Ом}] \tag{3}$$

Минимальное значение сопротивления PIN-диода R_S обычно определяется при прямом смещении для тока 100 мА, а максимальное R_s – при прямом смещении для тока 10 мА.

4. Параметры PIN-диода при обратном смещении

При подаче нулевого напряжения или обратного смещения диод можно представить в виде эквивалентной схемы (рисунок 2). Здесь L – паразитная индуктивность, параметр Rp прямо пропорционален напряжению прямого смещения и обратно пропорционален частоте.

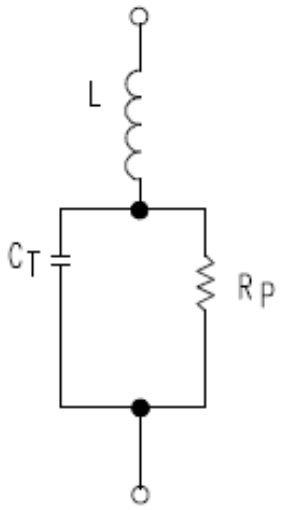


Рисунок 2. Схема замещения закрытого диода

В СВЧ-устройствах при нулевом или обратном смещении значение Rp много выше реактивного сопротивления ёмкости $\mathbf{C_T}$ и, как следствие, на практике им можно пренебречь. Поэтому PIN-диод можно представить в виде конденсатора, ёмкость $\mathbf{C_T}$ которого не зависит от обратного смещения и описывается следующим соотношением:

$$C_T = \varepsilon A / W \text{ [Фарад]}, \quad (4)$$

где:

ε – диэлектрическая постоянная кремния;

A – площадь перехода;

W – толщина i-области.

Самые низкие частоты, в которых этот эффект начинает преобладать, связаны с диэлектрической релаксационной частотой i-области f_τ, которая может быть вычислена как:

$$f_\tau = I/2\pi\rho\varepsilon \text{ [Гц]}, \quad (5)$$

где:

ρ – удельное сопротивление i-области.

5. Анализ процессов при переключении PIN-диода

Скорость переключения PIN-диода в СВЧ-устройстве зависит от реализации схемы коммутации, а также от параметров самого PIN-диода.

Различают два времени переключения диода:

– T_{RF} – время переключения диода из закрытого состояния в открытое;

– T_{FR} – время переключения диода из открытого состояния в закрытое.

Параметр T_{FR} (рисунок 3) зависит от времени жизни носителей заряда τ и может быть описан следующим соотношением:

$$T_{FR} = \tau \cdot \ln(1 + I_F / I_R), \quad (6)$$

где:

I_F – прямой ток диода;

I_R – обратный ток диода.

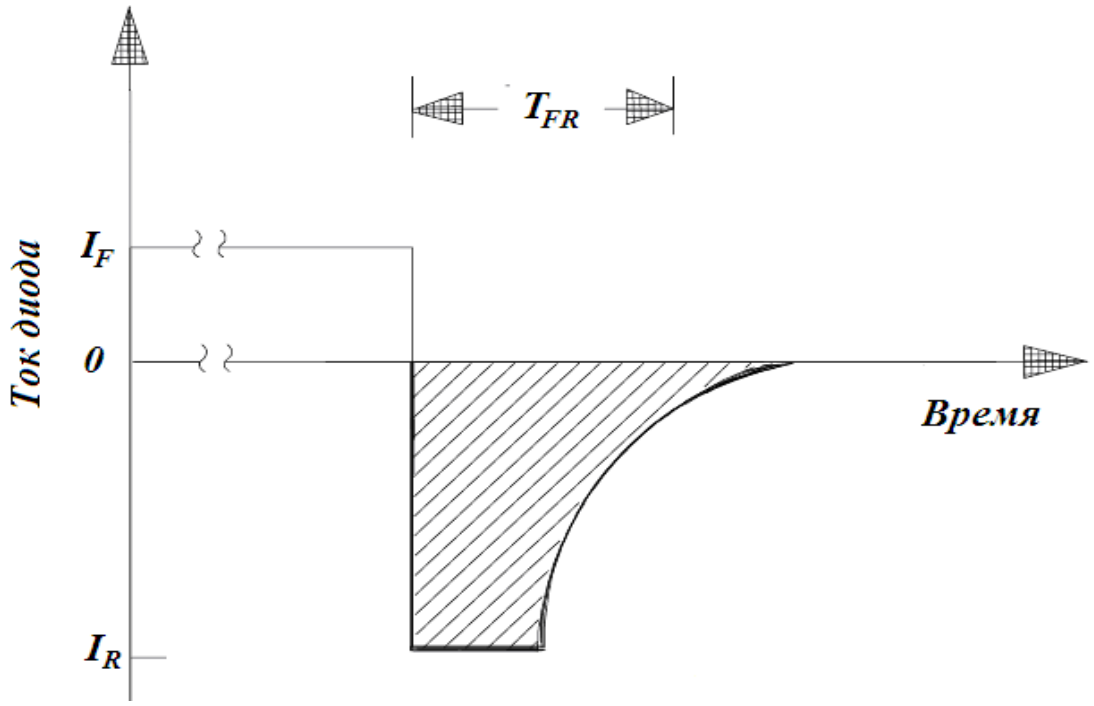


Рисунок 3. Эпюра переключения диода из открытого состояния в закрытое

В свою очередь время переключения диода из закрытого состояния в открытое T_{RF} непосредственно зависит от ширины **w** i-области. Динамика изменения этого времени в зависимости от ширины i-области прямого тока и напряжения отображена в таблице 1.

Таблица 1. Динамика изменения времени переключения диода из закрытого состояния в открытое в зависимости от ширины i-области прямого тока и напряжения на PIN-диоде

Ширина i-области, мкм	До 10 мА		До 50 мА		До 100 мА	
	10В (мкс)	100В (мкс)	10В (мкс)	100В (мкс)	10В (мкс)	100В (мкс)
175	7,0	5,0	3,0	2,5	2,0	1,5
100	2,5	2,0	1,0	0,8	0,6	0,6
50	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1

6. Параметры PIN-диода в статистическом и динамическом режиме работы

Эффективность применения САПР в промышленности в основном определяется качеством применяемых в них моделей. Основой ныне применяемых САПР являются физические модели процессов и явлений, качество и надёжность которых определяется при помощи сравнения с экспериментальными данными. Математический состав определяют параметры, имеющие физический смысл. SPICE подобные программы являются основой схемотехнических САПР, так как входят в состав программных пакетов, таких как Cadence, Mentor [6].

Компактная SPICE-модель диода включает в себя ряд параметров, применяемых для моделирования функционирования прибора в различных режимах работы: статическом (DC), динамическом (для анализа переходного процесса, TR).

Каждому из перечисленных режимов анализа соответствует свой набор параметров:

– моделирования статического режима работы: ток насыщения I_s и коэффициент неидеальности *n*. Эти параметры экстрагируются из экспериментальных результатов измерения ВАХ;

– моделирования динамического режима работы в процессе переключения, например, из одного статического режима в другой. Здесь для экстракции соответствующих параметров, таких как: барьерная ёмкость при нулевом смещении CJO, контактная разность потенциалов VJ и коэффициент m (учитывающий характер распределения примеси), используется результаты измерений ВФХ диода.

Выводы

На базе сделанного анализа можно сделать вывод о том, что основные параметры PIN-диода (время переключения, значения его сопротивления, ёмкости и мощности рассеяния) зависят от ряда факторов: температур p–n-перехода и окружающей среды, диапазона рабочих частот, величин прямого и обратного токов, проходящих через диод, ширины базы (i-области) диода, теплового сопротивления, времени жизни носителей зарядов. Чтобы учесть влияние данных факторов, требуется проведение компьютерного моделирования с помощью приборно-технологических САПР типа TCAD Synopsys с последующим синтезом SPICE-модели. Вторым вариантом синтеза SPICE-модели PIN-диода является экстрагирование параметров из экспериментальных данных.

Литература

1. Галдина, Н.М., Пахомов, В.В. Проектирование СВЧ-выключателей и переключателей на полупроводниковых диодах: метод. указания к курсовому проектированию. Самара: СГАУ, 2007. 44 с.

2. Шахгильдян, В.В. Радиопередающие устройства: учебник для вузов / под ред. В.В. Шахгильдяна. 3-е изд. М.: Радио и связь, 2003. 584 с.
3. Техническая спецификация ВЧ переключательных PIN-диодов [Электронный ресурс]. URL: https://ptelectronics.ru/
4. Mikael Andersson An advanced PIN-diode model Microwave Journal. 03’ 2017 г.
5. Техническая спецификация PIN-диода HSMP-382x, Avago Technologies.
6. Петров, М.Н., Гудков, Г.В. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: учеб. пособие / М.Н. Петров, СПб.: Лань, 2011. 464 с.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, профессором Петровым М.Н.

УДК 69.059.35
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.31

ВОЗВЕДЕНИЕ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ ПОДЪЁМА ПЕРЕКРЫТИЙ И ЭТАЖЕЙ

Алексеев С.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: stroy_semen@mail.ru

CONSTRUCTION OF BUILDINGS BY LIFTING FLOORS AND FLOORS

Alekseev S.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: stroy_semen@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию технологии метода подъёма перекрытий и этажей при возведении многоэтажных зданий, выявлены её достоинства и недостатки, произведён сравнительный анализ эволюции применения данной технологии как в нашей стране, так и за рубежом, определены перспективы применения метода подъёма перекрытий и этажей.
Ключевые слова: *строительство, метод подъёма перекрытий и этажей, технология возведения здания, монтаж строительных конструкций.*

Abstract. The article is devoted to the study of the technology of the method of lifting floors and floors during the construction of multi-storey buildings, its advantages and disadvantages are revealed, a comparative analysis of the evolution of the application of this technology both in our country and abroad is made, prospects for the application of the method of lifting floors and floors are determined.
Keywords: *construction, method of raising floors and floors, building technology, installation of building structures.*

Метод строительства зданий путём подъёма перекрытий и этажей начал набирать свою популярность в начале 50-х годов в США и ФРГ, а затем перешёл и в другие государства. Архитекторы вместе с ведущими инженерами США, разработали уникальную для того времени технологию возведения зданий. Данная технология использовалась при строительстве жилого комплекса «Ривердэйл», который находится в США на охраняемой территории, принадлежащей Российской Федерации. Здесь живут сотрудники Постоянного представительства России при ООН [1].

Технология возведения заключалась в следующем: сначала были залиты два массивных бетонных столба в которых размещены шахты лифтов, пожарные лестницы и основные, важные коммуникации здания, и которые служили опорой для всей остальной возводимой конструкции. Затем на земле собирался каркас самого верхнего этажа здания. Потом на него крепили наружные стены и окна, внутри собирались перегородки и устанавливались ванные и санузлы. Смонтированный этаж поднимался на требуемую отметку, где закреплялся по запатентованной технологии. В это же время на земле начинали сборку следующего этажа и поднимали его на требуемую отметку. В результате, когда на 20-м этаже работали бригады электриков, сантехников и отделочников, 19-й поднимали наверх, а 18-й уже начинали собирать внизу. Именно благодаря этому здание строилось сверху вниз – с двадцатого этажа до первого. На сборку и подъём одного этажа на нужную отметку уходило в среднем от четырёх до пяти дней [2].

В послевоенное время Советский Союз начинает активно заниматься строительством быстро возводимого и доступного жилья для граждан, победивших фашистскую Германию. Так начинается строительный «БУМ» всем хорошо известных типовых советских зданий. Параллельно с этим инженеры стремились применять более прогрессивные методы в своих проектах. Именно так в 1959 году в городе-герое Ленинграде инженерами было принято решение возводить 4-этажный панельный дом современным методом подъёма этажей и перекрытий. Новый, прогрессивный метод позволял отказаться от привычных всем строителям башенных и автомобильных кранов.

Объёмно-планировочные параметры и конфигурацию здания в плане в этом случае можно выбирать в зависимости только от характера технологического процесса или в целях создания высокоуниверсального здания. Гладкие или кессонированные потолки, предусматриваемые при этом, значительно улучшают внутреннюю визуализацию помещений. Конструкции зданий позволяют снизить высоту этажей (до 25%), уменьшить при этом расход материалов и эксплуатационные затраты на 15%, снизить стоимость строительства (на 10–15%), а также и его сроки. Сетку колонн в таких зданиях обычно выбирают квадратную со стороной от 6 до 12 м. Высота внутренних помещений может быть любой и различной по этажам. Возводимые здания имеют, как правило, рамно-связевую систему каркаса с шарнирным закреплением узлов [3].

Важным конструктивным и технологическим решением многоэтажных жилых зданий выступает монолитное ядро жёсткости. Для протяжённых в плане зданий возводятся несколько отдельных ядер жёсткости. Ядра жёсткости выполняют транспортную функцию, но, кроме этого, являются вертикальными направляющими, а также дают возможность для размещения перекрытия, что обеспечивает пространственную жёсткость здания. Сложная геометрическая форма плана в виде «трилистника», «креста» или «ромашки» позволяет создать

самые рациональные планировочные решения и ярко отобразить архитектурную выразительность зданий [4].

Однако рамки конструктивных решений многоэтажных зданий ограничивают область применения метода подъёма зданий, которые могут быть построены лишь по следующим схемам:

– пространственно-связевая система, образуемая соединением ядра жёсткости с различными вариантами каркаса;

– пространственно-связевая система, восприятие всех нагрузок в которой обеспечивается ядром жёсткости.

В свою очередь первая конструктивная схема делится на две следующие разновидности:

а) плиты перекрытия полностью опираются на колонны, при этом на колонны передаются только вертикальные нагрузки, а восприятие горизонтальных нагрузок осуществляется ядром жёсткости. Чтобы снизить динамические нагрузки, в частности сейсмические, в узлах соединений плит перекрытий с ядром жёсткости устанавливаются демпфирующие устройства (рисунок 1, *а*);

б) железобетонные плиты перекрытий оперты на колонны и ядро жёсткости (рисунок 1, *б*). Это обеспечивает рациональное использование совместной работы конструкций и даёт возможность снизить материалоёмкость решения в сравнении с первым вариантом схемы.

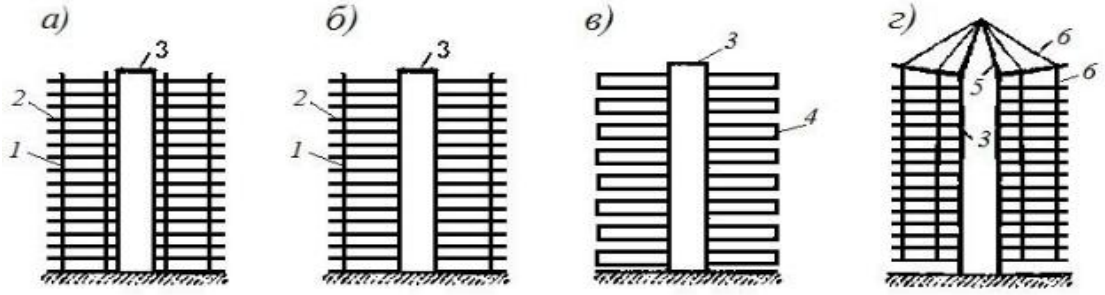


Рисунок 1. Конструктивные схемы многоэтажных зданий, возводимых методом подъёма: *а* – при восприятии вертикальных нагрузок колоннами, а горизонтальных – ядром жёсткости; *б* – при восприятии вертикальных нагрузок колоннами и частично ядром жёсткости; *в* – при восприятии вертикальных и горизонтальных нагрузок ядром жёсткости на уровне каждого этажа; *г* – при восприятии вертикальных нагрузок ядром жёсткости через верхний оголовок, а горизонтальных нагрузок – ядром жёсткости на уровне каждого этажа; *1* – колонна; *2* – плита перекрытия; *3* – ядро жёсткости; *4* – конструкция консольного этажа; *5* – конструкция несущего оголовка; *6* – система подвесок

Вторая конструктивная схема может быть разделена по следующим базовым вариантам [3]: а) система консольных этажей (рисунок 1, *в*): горизонтальная и вертикальная нагрузки переходят на железобетонное ядро жёсткости в уровне каждого этажа. Консольные пояса делаются из предварительно напряжённого железобетона и имеют балочное сечение

или конструкций коробчатого сечения. Применение сталежелезобетонных конструкций, монолитный бетон в которых уложен по профилированному стальному настилу и стальным балкам, обосновывает наиболее распространённый вариант конструктивного решения перекрытий. б) система подвесных этажей (рисунок 1, *г*): вертикальная нагрузка от перекрытий на ядро жёсткости передаётся через систему подвесов, которые размещены на верхнем торце ядра жёсткости. Одним из вариантов данной системы является конструктивная схема с промежуточными консольными поясами, которые воспринимают нагрузки от нескольких нижних этажей.

Технология возведения зданий методами подъёма перекрытий и этажей включает в себя устройство ядер жёсткости, традиционный цикл нулевых работ, монтаж пакета перекрытий, подъём перекрытий или этажей, поярусный монтаж колонн, производство работ по внутренней планировке, устройство стенового ограждения, а также все виды внутренних и отделочных работ.

Цикл нулевых работ подразумевает под собой:

1) устройство котлована;

2) возведение монолитных или сборных фундаментов под колонны, монолитных фундаментов под ядра жёсткости.

Работы в данном цикле имеют отличительную особенность, которая отражается в отсутствии подвальных этажей, необходимость подготовки основания для изготовления пакета плит с помощью устройства подсыпок и уплотнений грунта до верхней отметки фундамента. Требуется уделить особое внимание получению горизонтальной поверхности, которая будет иметь необходимые характеристики поверхностного слоя, которые достигаются за счёт уплотнения виброплитами и виброкатками [4].

Монолитные ядра жёсткости бетонируют как самостоятельные конструкции с применением скользящей или подъёмно-переставной опалубки (рисунок 2, *а*, *б*).

В процессе возведения ядер в подъёмно-переставной опалубке опорами для опалубки служат либо шахтный подъёмник, либо трубчатые леса, которые располагают внутри ствола ядра жёсткости. Подача материалов осуществляется при помощи малогабаритных кранов, башенных кранов или подъёмников в процессе возведения ядер жёсткости как в подъёмнопереставной, так и в скользящей опалубках. Чтобы подавать бетонную смесь к нужному месту укладки, применяют бетононасосы с распределительными стрелами. Объединённая схема возведения зданий подразумевает под собой установку на кровельной плите пространственной рамы с передвижными щитами опалубки и второй плоской рамы, разместившей на себе монтажный кран, которая закрепляется на колоннах внешнего каркаса (рисунок 2, *в*).

Наиболее рациональным считается агрегатный способ возведения ядер жёсткости. Этот способ несёт в себе реализацию преимуществ, которые присущи способам, рассмотренным ранее (рисунок 2, *г*). Этот способ основан на использовании внутри ядра жёсткости специальных вертикальных конструкций, которые применяются в качестве опор несущей рамы, в нижней части которой размещены подвижные щиты опалубки, на верхней же части установлен монтажный кран. При помощи подъёмных механизмов производится передвижение рамы вертикально вверх по колоннам. Агрегатный способ считается универсальным и даёт возможность возводить основное ядро жёсткости в качестве самостоятельной конструкции на всю высоту, опережая подъём на один или несколько этажей.

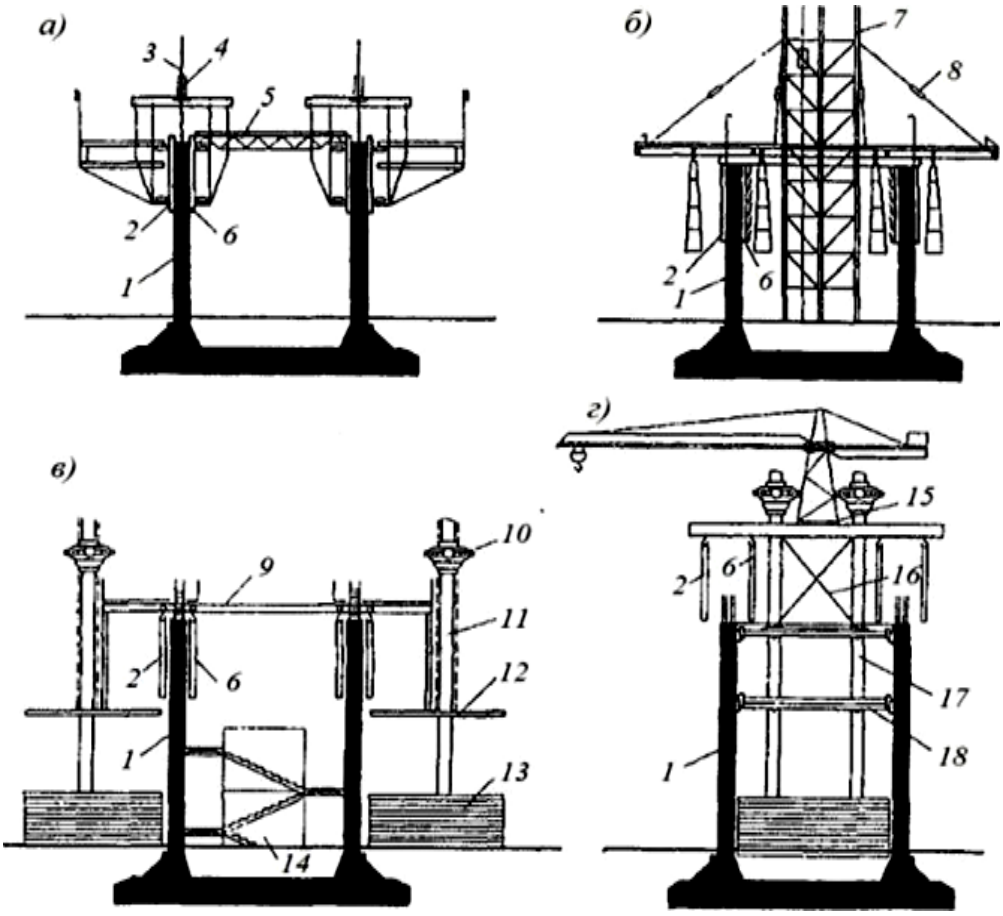


Рисунок 2. Способы возведения монолитных железобетонных стволов ядер жёсткости: *а* – в скользящей опалубке; *б* – в переставной опалубке; *в* – с плиты кровли с помощью домкратного устройства; *г* – с помощью агрегатного устройства; *1* – ствол ядра жёсткости; *2* и *6* – наружные и внутренние щиты опалубки; 3 – опорные арматурные стержни; *4* – специальные домкраты; *5* – рабочие площадки; *7* – опорные стальные трубчатые леса; *8* – ручные тали или рычажные лебёдки; *9* – устройство для возведения ствола с плиты кровли; *10* – подъёмник; *11* – колонна; *12* – плита кровли в процессе подъёма; *13* – пакет плит перекрытий; *14* – элементы лестниц и лифтов внутри ствола; *15* – металлическая платформа с башенным краном; *16* – связи; *17* – внутриствольные колонны; *18* – внутриствольные плиты перекрытий [4]

Засыпка и послойное уплотнение грунта до верхней грани фундамента осуществляется после возведения фундаментов и участка ствола ядра жёсткости. Затем монтируются колонны, относящиеся к первому ярусу, на которых уже закреплены воротники. Количество используемых воротников зависит от числа плит перекрытий. Количество воротников равно числу плит перекрытий.

Особенности изготовления пакетов плит перекрытий:

– обеспечение наилучшего режима кладки, а также лучшего уплотнения и твердения бетонной смеси в крупногабаритных тонкостенных конструкциях плит;

– создание специального разделительного слоя параллельно изготовлению пакета перекрытий;

– устройство технологических особенностей, которые обеспечивают получение ровных поверхностей, которые в несколько раз сокращают затраты труда на доводку во время внутренней отделки помещений.

Чтобы избежать сцепление бетонной смеси, требуется предусматривать разделительный слой, удовлетворяющий следующему ряду условий:

– создать невозможным сцепление свежеуложенного бетона с ранее уложенным, находящимся в состоянии твердения;

– иметь стойкость к механическим воздействиям, а также обеспечить износостойкость и быть устойчивым к возможным повреждениям в момент раскладки арматуры и проведения сварочных работ;

– обладать высокой атмосферостойкостью;

– обеспечить требуемые условия для твердения свежеуложенного бетона;

– быть защищённым от нарушения сцепление арматуры с бетоном, которые будут исключать явление коррозии;

– создать непрерывность процесса укладки бетонной смеси всего пакета плит перекрытий;

– быть легкоудаляемым с поверхности плит, не снижать сцепления отделочных материалов с поверхностью конструкций;

– быть экологически безопасным, дешёвым и технологичным в производстве [5].

Подъём перекрытий осуществляется с помощью специальных подъёмников, размещённых на оголовки колонн, которые комплектуются грузовыми тягами, которые в свою очередь имеют прямой контакт с элементами перекрытий, также называемых воротниками.

Сперва поднимается самый верхний, кровельный диск на который уже должен быть установлен кран. Последующие диски, одновременно по несколько штук, поднимаются после временного закрепления на промежуточных отметках. Плиты нижних этажей закрепляют

окончательно, когда те будут предварительно поднятыми на свои отметки согласно планам. Рисунок 3 отображает этапы последовательности работ подъёма перекрытий и наращивание колонн последующих ярусов.

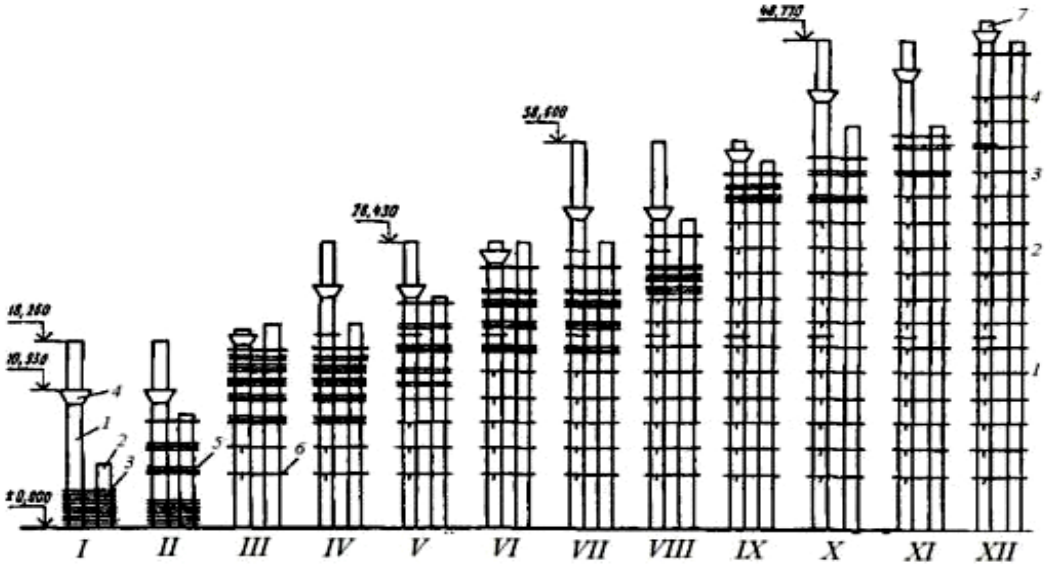


Рисунок 3. Технологическая схема подъёма перекрытий с поярусным наращиванием колонн: *1* – колонна; *2* – стена ядра жёсткости; *3* – пакет плит перекрытия; *4* – подъёмник; *5* – плиты на промежуточных отметках; *6* – плиты перекрытий на проектных отметках; *7* – временные инвентарные колонны, установленные на вершинах верхнего яруса колонн для монтажа подъёмников

Перед подъёмом плит в углубления колонн устанавливают инвентарные защёлки (рисунок 4), которые служат лишь временной фиксацией. Для постоянного закрепления закладываются штыри и другие конструктивные элементы.

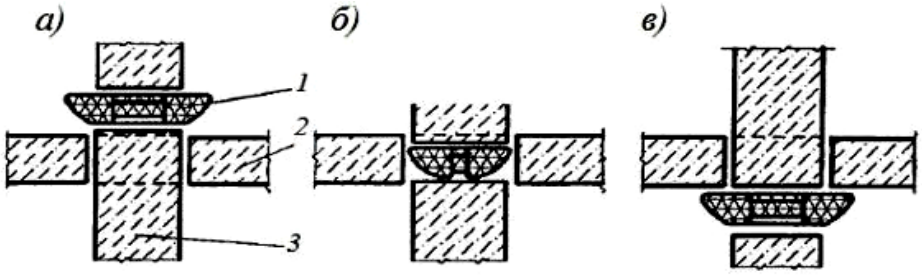


Рисунок 4. Схема автоматической защёлки. Этапы подъёма перекрытия: *а* – защелка перед проходом через неё поднимаемого перекрытия; *б* – в период прохода защёлки; *в* – опирание на защёлку; *1* – защёлка; *2* – перекрытие; *3* – колонна

На оголовки колонн устанавливаются подъёмники таким образом, чтобы была возможность перемещения по вертикали.

На рисунке 5 показаны два типа подъёмников. Их техническая характеристика обеспечивает скорость подъёма перекрытий до 4 м/ч, скорость самоподъёма – до 12 м/ч, опускания грузовых тяг 10–12 м/ч. Число грузовых тяг на один подъёмник равно двум.

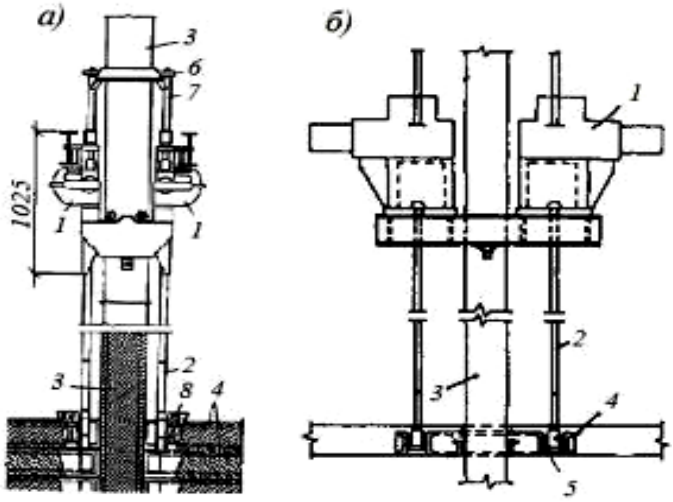


Рисунок 5. Электромеханические подъёмники грузоподъёмностью 50 т: *а* – конструкции Гипростроммаша; *б* – то же, ПЭТКИ; *1* – домкрат-подъёмник; *2* – грузовые тяги; *3* – колонна; *4* – плита перекрытия; *5* – воротник; *6* – верхняя рама подъёмника; *7* – винтовая секция тяги; *8* – фиксатор тяги [3]

В качестве тяг применяются гладкие, винтовые, плоские с отверстиями и другие длиной от шести до восьми метров. Цанговые захваты применяют для фиксации при наличии гладких тяг, гайки применяются в случае с винтовыми тягами, фиксирующие пальцы, вводимые в отверстия тяги, применяют при использовании плоской тяги.

Даже в наши дни метод строительства зданий и сооружений путём подъёма сразу целых этажей остаётся актуальным. Благодаря своим достоинствам и преимуществам этот метод активно применяется по всему миру. Одним из таких достоинств является возможность проводить строительные работы на территории города, в условиях плотной городской застройки.

Литература

1. URL: http://gorod.gov.spb.ru/facilities/51027/info/ (дата обращения: 17.03.2020).
2. URL: http://www.zdanija.ru/prom_zdanija/p2_articleid/3978 (дата обращения: 11.03.2020).
3. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии. Т. 2 / ред. Х. Нестле. 2007.
4. Технология возведения зданий и сооружений. Второе издание / В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус. М.: Высшая школа, 2004.
5. Прыкина, Л.В., Горячев, О.М., Бунькин, И.Ф. Организационное-технические условия основы возведения жилых зданий в стесненных условиях // Механизация строительства. 2009. № 1. С. 37–41.

Статья рекомендована к печати
канд. экон. наук, доцентом Наумовой О.С.

УДК 621.9.048.6
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.32

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Белевцев Д.В., Зехов Д.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s234248@std.novsu.ru, s235212@std.novsu.ru

VIBRO-ACOUSTIC METHOD OF PRESSURE CONTROL

Belevtsev D.V, Zehov D.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s234248@std.novsu.ru, s235212@std.novsu.ru

Аннотация. Метод экспериментально апробирован на трубе с избыточным внутренним давлением. Установлено, что с увеличением внутреннего давления трубы возрастает основная частота ее свободно затухающих колебаний. Описана методика проведения экспериментальных исследований, приведены основные результаты.
Ключевые слова: *виброакустика, давление, контроль, методика.*

Abstract. The method was experimentally tested on a pipe with excessive internal pressure. It is established that the oscillation frequency oscillates freely. The technique of experimental studies is described, the main results are presented.
Keyword: *vibroacoustics, pressure, control, technique.*

Состояние вопроса и краткий анализ литературных материалов

Вибрационный контроль (ВК), или вибродиагностика, – одна из эффективных разновидностей неразрушающего контроля. Она базируется на мониторинге и анализе ключевых показателей вибрации (колебаний), которую создаёт функционирующий исследуемый объект. ВК позволяет контролировать фактическое состояние и своевременно выявлять отклонения в работе насосных агрегатов, вентиляторов, систем охлаждения, отопления и другого промышленного оборудования. Дефекты механических, электромагнитных и прочих систем, как правило, отражаются на вибрации, изменяющей под их влиянием ряд своих параметров. Измерение показателей вибрации в соответствии с ГОСТ Р ИСО 7919-1-99 позволяет получить сведения о техническом состоянии объекта, его неисправностях и остаточном потенциале.

Принцип действия вибрационной дефектоскопии. Изменения в любой системе возникают по причине внутреннего или наружного

воздействия, порождаемого в зависимости от характера рабочего процесса статическими, динамическими или вибрационными нагрузками. Возбудители вибрации и шумов, как правило, имеют механическое, магнитное или аэродинамическое происхождение. Механические колебания (вибрации) генерируют несбалансированные вращающиеся опоры, зубчатые передачи, щёточно-коллекторные узлы и другие детали. Их дисбаланс вызывает вибрации с кратными частотами. Магнитные колебания вызываются изменениями электромагнитных усилий в воздушном зазоре систем с аналогичным названием. Аэродинамические колебания создаются движением деталей в механизмах. Возникновение вибраций говорит о наличии повреждений, параметры которых устанавливают путём измерения колебаний. В диагностических целях определяют и анализируют по ГОСТ ИСО 10816-1-97 три величины: Вибросмещение (амплитуда) – пределы перемещения точки измерения в момент вибрации. Виброскорость – скорость перемещения точки контроля в момент прецессии вдоль оси измерения. Виброускорение – значение вибрации, напрямую связанное с вызвавшей ее силой. В процессе измерения вибраций рассматривается наиболее информативный тип колебаний и параметр, обеспечивающий максимальную равномерность частотного спектра [1].

Физические основы измерительных виброакустических преобразователей. Измерительный преобразователь (ИП), или датчик, представляет собой техническое средство, преобразующее входную физическую величину в другую физическую величину или в соответствующий сигнал отображения, удобный для последующей обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикаций или передачи информации, и имеющее нормированные метрологические характеристики. Сигнал измерительного преобразователя количественно связан с измеряемой величиной. Измерительные преобразователи характеризуются чувствительностью, динамическим диапазоном, пределом и погрешностями преобразований.

Под *чувствительностью ИП* понимают отношение величины изменения выходного сигнала к вызывающему его изменению входной (измеряемой) величины.

Динамический диапазон измерений определяется наибольшим и наименьшим значениями измеряемой (входной) величины, которая воспринимается ИП без искажений.

Предел преобразования равен наибольшему значению входной величины, которая воспринимается ИП без искажений и повреждений.

Под *погрешностью* измерения понимается отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины, которое представляется в абсолютной или относительной форме.

При измерении параметров вибрации используют два принципа измерения – кинематический и динамический.

Кинематический принцип заключается в том, что измерения координат точек исследуемого объекта ведут относительно неподвижной системы координат, реализуемой в приборе или вне прибора.

Динамический принцип заключается в измерении параметров вибрационных колебаний относительно искусственно созданной неподвижной системы отсчёта, связанной с инерционной (практически неподвижной) массой, вывешенной на пружинящих элементах, соединённых с вибрирующим объектом. Динамический принцип в измерительных преобразователях инерционного типа позволяет измерять абсолютные величины параметров вибрационных колебаний. Кинематический принцип в ИП позволяет определять относительные значения величин параметров вибраций.

Преобразователи абсолютных значений параметров вибрационных колебаний делятся на генераторные и параметрические. В *генераторных ИП* осуществляется прямое преобразование механической энергии в электрический сигнал.

В *параметрических ИП* под действием измеряемых механических величин изменяются электрические характеристики элемента схемы – сопротивление, ёмкость, частота, индукция, заряд и др. Особенностью этих ИП является наличие внешних источников питания и устройств (демодуляторов), фиксирующих изменение электрических величин.

К генераторным ИП относят пьезоэлектрические, индукционные, ИП с использованием эффекта Холла и др.

К параметрическим ИП относят резистивные, пьезоэлектрические, индуктивные, трансформаторные, магнитоупругие, емкостные, электронно-механические, вибрационно-частотные, предельные контактные, импедансные и другие датчики. Перечисленные ИП являются контактными, так как их закрепляют на исследуемом объекте и проводником соединяют с измерительной аппаратурой.

Контактные ИП для измерения изделий малых размеров неудобны или даже непригодны, так как искажают измеряемый сигнал. Бесконтактные ИП свободны от указанных недостатков. В бесконтактных ИП реализуется кинематический принцип измерения относительных величин параметров вибрационных колебаний и других процессов.

К бесконтактным ИП относительных значений параметров вибрационных колебаний относят магнитные, радиоволновые, электромагнитные, акустические, радиационные и оптические с использованием эффекта Доплера, интерференции, модуляции, фотоэффекта, поляризации и других физических явлений.

В конструкции датчиков инерционного типа используется измерение абсолютных параметров колеблющейся точки пружинного или упругого

подвеса массивного груза, находящегося в состоянии относительного покоя. Измерительным сигналом может быть вибрационное перемещение $s(t)$, вибрационная скорость ds/dt или вибрационное ускорение d^2s/dt^2. Датчик состоит из инерционного элемента массой M, подвешенного на упругом элементе с коэффициентом упругости $к$, и демпфера (гасителя колебаний) с коэффициентом демпфирования $И$. Параметры колебательной системы M, hn, $к$ определяют режим работы преобразователя: виброметра при измерении $s(t)$, велосиметра при измерении ds/dt, акселерометра при измерении d^2s/dt^2. В качестве подвесов используют пружины различных конструкций, маятники, сочетания пружин и маятников, элементы с взаимодействующими магнитами. Демпфирование инерционного груза осуществляют пневматическими, гидравлическими, электромагнитными и другими методами.

Действие пьезоэлектрических датчиков основано на использовании прямого пьезоэффекта, т.е. свойства некоторых материалов – пьезоэлектриков (кварца, турмалина, сегнетовой соли, метаниабата свинца, цирконат-титаната свинца, титаната бария и др.), генерировать электрический заряд на гранях своих кристаллов под действием упругих деформаций.

Работа индукционных ИП основана на использовании явления электромагнитной индукции, т.е. на возникновении электродвижущей силы в электрической катушке при изменении магнитного поля.

Работа индуктивных ИП основана на изменении индуктивности системы измерения, находящейся в функциональной зависимости от перемещения одного из элементов ИП. Наиболее распространены индуктивные ИП с переменной шириной или площадью зазора в магнитопроводе, а также с подвижным цилиндрическим сердечником [2].

Оборудование большинства технологических систем работает под избыточным давлением пара, воды, масла, газа, воздуха, мазута и других сред. К такому оборудованию можно отнести трубопроводы, сосуды, баллоны, цистерны и т.д. Надёжность и эффективность таких систем, несомненно, зависит от надлежащего контроля и регулирования давления.

Методы измерения давления основаны, как правило, на сравнении сил измеряемого давления с силами:

• давления столба жидкости (ртути, воды) соответствующей высоты;

• развиваемыми при деформации упругих элементов (пружин, мембран, манометрических и анероидных коробок, сильфонов и манометрических трубок);

• тяжести грузов;

• упругими силами, возникающими при деформации некоторых материалов и вызывающими электрические эффекты.

В соответствии с указанными методами средства измерения давления можно разделить на жидкостные, деформационные,

грузопоршневые и электрические [3]. Наибольшее распространение в промышленности получили деформационные средства измерения.

Надёжность работы перечисленных средств измерения давления во многом зависит от условий эксплуатации. Агрессивные среды, чрезвычайно высокие или низкие температуры, пульсации и загрязнения могут быть причинами отказа приборов. Кроме того, для их установки всегда требуется сквозная врезка в объект контроля, что снижает эксплуатационную надёжность оборудования. Наличие этих недостатков способствует разработке новых методов контроля давления.

На собственные колебания трубопроводов и сосудов оказывает влияние внутреннее давление рабочей среды. По изменению собственных частот колебаний оборудования можно определить давление технологического продукта. Такой контроль давления может быть организован установкой микрофонов или виброакустических датчиков на внешней поверхности трубопроводов и сосудов.

Виброакустический метод не требует сквозной врезки в объект контроля, допустим для оборудования, работающего с агрессивными и загрязнёнными средами.

Метод можно организовать на основе анализа естественного шума перекачиваемого продукта [3]. Шум потока всегда содержит отдельные спектральные составляющие, которые обусловлены резонансными колебаниями оборудования [4].

Виброакустический метод измерения давления апробирован в ходе экспериментальных исследований. Разработана экспериментальная установка, структурная схема и фотография которой представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

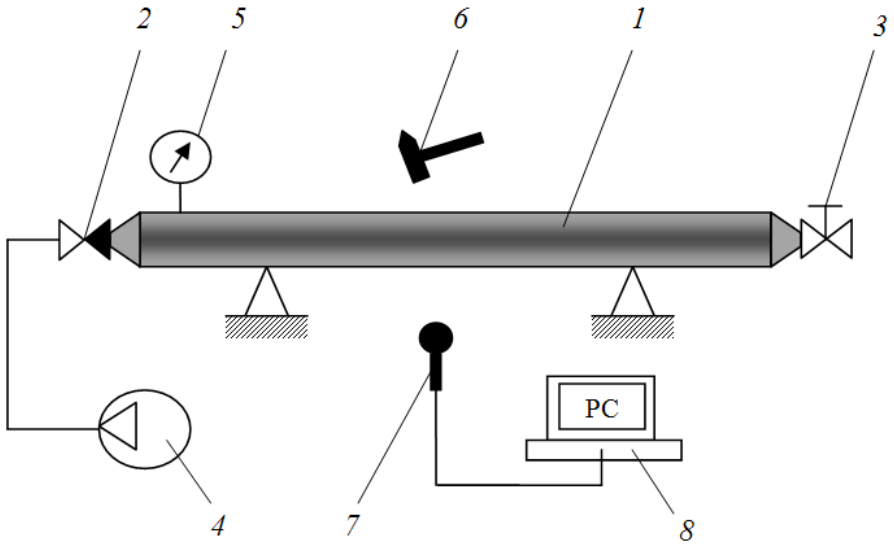


Рисунок 1. Структурная схема экспериментальной установки: *1* – труба (длина 2 м, внешний диаметр 0,159 м, толщина стенки 6 мм), *2* – обратный клапан, *3* – задвижка, *4* – компрессор, *5* – манометр (класс точности 2,5, предел измерения 10 бар), *6* – молоток, *7* – микрофон, *8* – персональный компьютер



Рисунок 2. Фотография экспериментальной установки

Экспериментальная установка работает следующим образом.

Компрессором 4 в трубе 1 создаётся избыточное давление воздуха. Давление воздуха контролируется с помощью манометра 5. Молотком 6 в трубе 1 возбуждаются свободно затухающие колебания. Звук от удара регистрируется микрофоном 7 и записывается в персональный компьютер 8.

Анализ звуковых сигналов производится с применением пакета программ, написанного в среде программирования LabView [4, 5].

Методика анализа звуковых сигналов заключается в следующем:

1. Увеличивается длительность сигнала путём добавления нулей к массиву отсчётов. Процедура добавления нулей позволяет увеличить разрешение спектра по частоте.

2. С применением процедуры быстрого преобразования Фурье рассчитывается амплитудно-частотный спектр сигнала.

3. В спектре находится частота с максимальным значением амплитуды.

Звук от удара по трубе регистрировался с частотой дискретизации 44,1 кГц. Длина записанных звуковых сигналов (без добавления нулей) составляет 44 100 отсчётов.

Для увеличения разрешения спектра по частоте к сигналу добавлялись нули. Пример сигнала, дополненного нулями, представлен на рисунке 3.

На рисунках 4 и 5 представлены спектры сигналов, полученных с трубы с давлением 0 и 5 бар соответственно.

Амплитудно-частотные спектры рассчитывались для сигналов длиной 44 100, 88 200, 176 400 и 352 800 отсчётов. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

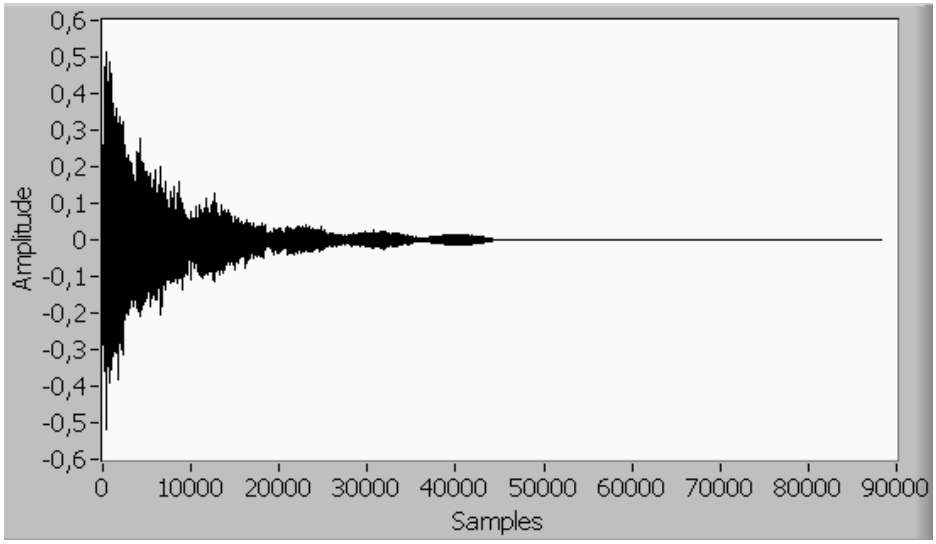


Рисунок 3. Сигнал, дополненный нулями

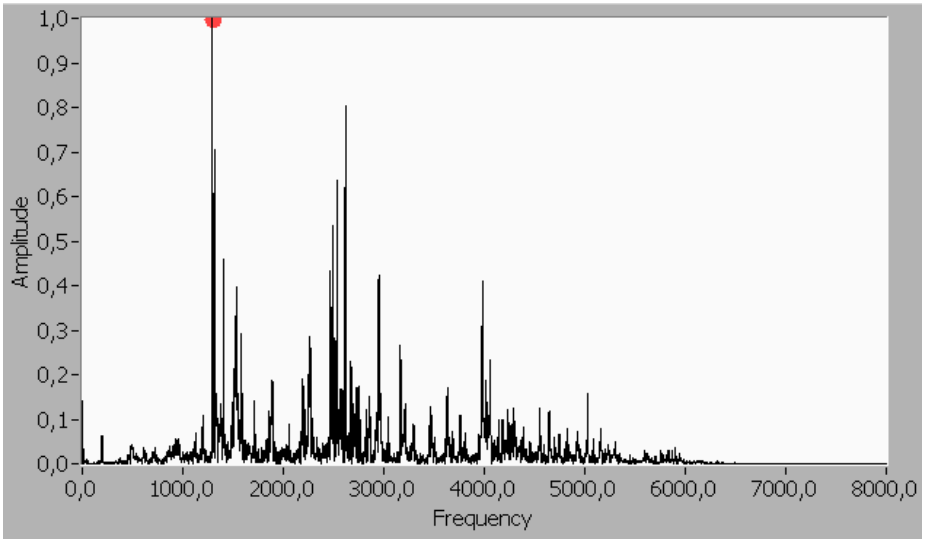


Рисунок 4. Спектр трубы с внутренним давлением 0 бар

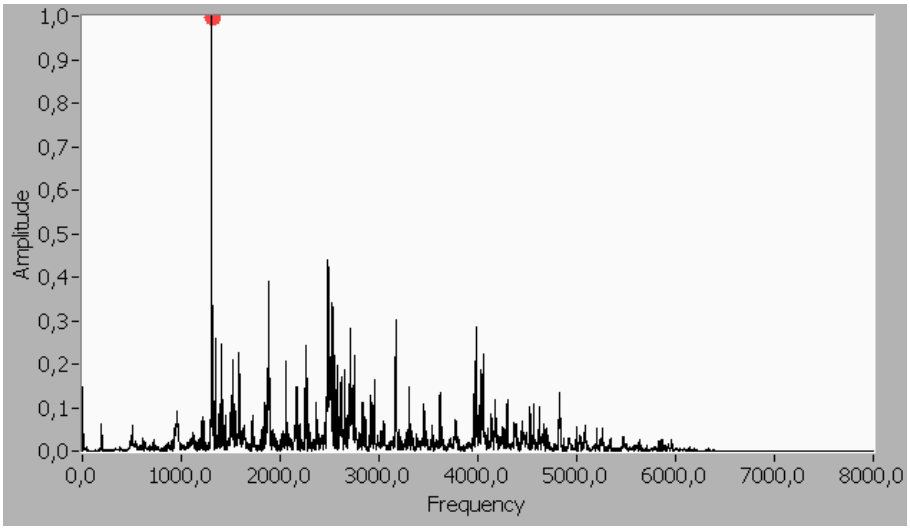


Рисунок 5. Спектр трубы с внутренним давлением 5 бар

Таблица 1. Полученные результаты

		Длина сигнала 44 100 отсчётов	Длина сигнала 88 200 отсчётов	Длина сигнала 176 400 отсчётов	Длина сигнала 352 800 отсчётов
Частота основной гармоники, Гц	при давлении 0 бар	1296	1296	1296	1296
	при давлении 1 бар	1298	1298	1298	1298
	при давлении 2 бар	1300	1300	1299,75	1299,875
	при давлении 3 бар	1302	1302	1302	1302
	при давлении 4 бар	1304	1304	1303,75	1303,75
	при давлении 5 бар	1306	1306	1305,75	1305,875
Разрешение спектра по частоте, Гц		1	0,5	0,25	0,125
Коэффициент детерминации для линейной регрессии		1	1	0,9992	0,9996
Погрешность определения давления по виброакустическому сигналу, бар		0,5	0,25	0,125	0,063

Из таблицы 1 видно, что с ростом внутреннего давления частота основной гармоники колебаний трубы увеличивается линейно (коэффициент детерминации для линейной регрессии $R^2 = 1$). Изменение давления на 1 бар приводит к росту частоты колебаний трубы на 2 Гц.

Оценка погрешности определения давления по виброакустическому сигналу произведена по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta f}{2},$$

где Δf – разрешение спектра по частоте, Гц; 2 – разность частот трубы при разности внутреннего давления 1 бар, Гц.

График зависимости собственной частоты трубы от ее внутреннего давления показан на рисунке 6.

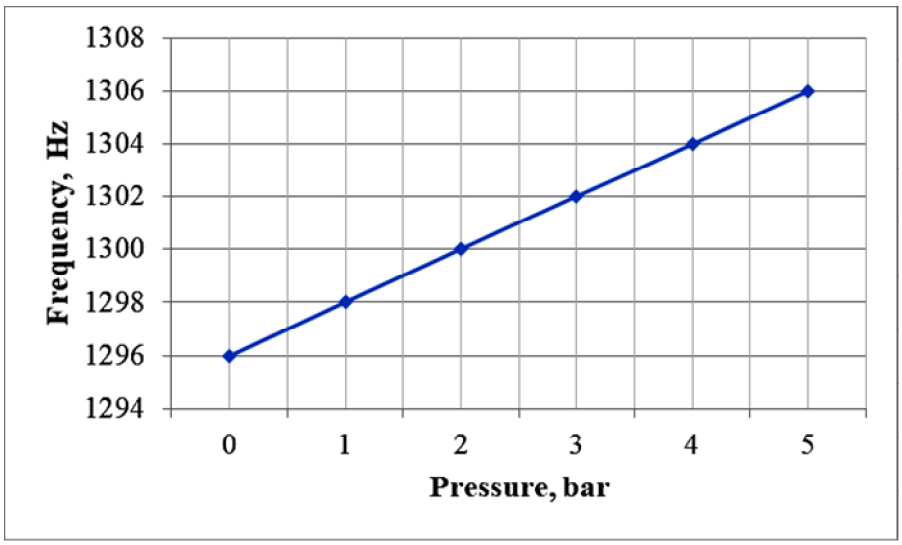


Рисунок 6. Зависимость частоты трубы от внутреннего давления

Исследования подтвердили возможность контроля давления по изменению собственных частот колебаний оборудования.

Экспериментально установлено, что с увеличением внутреннего давления трубы линейно возрастает основная частота свободно затухающих колебаний.

Литература

1. Вибрационный контроль. URL: https://www.serconsrus.ru/services/vibracionnyj-kontrol/
2. Физические основы измерительных виброакустических преобразователей. URL: https://studref.com/564340/tehnika/fizicheskie_osnovy_izmeritelnyh_vibroakusticheskih_preobrazovateley#964
3. Балакин, Р.А., Тимец, В.М. Патент Российской Федерации № 2470274. Опубл. 29.07.2011, опубл. 20.12.2012.
4. Low-frequency vibro-acoustic method of determination of the location of the hidden canals and pipelines / S.O. Gaponenko, A.E. Kondratiev, A.R. Zagretdinov // Procedia Engineering. 2016. С. 2321–2326.
5. Control of rotary equipment unbalance with using statistical criteria comparision of vibration spectrum / I.V. Shvetsov, Yu.V. Vankov, A.R. Zagretdinov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. electronic edition. 2018. С. 12051.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Швецовым И.В.

УДК 692.415
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В XX–XXI ВВ.

Бучацкий С.И.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: melkiyoffitial@mail.ru

RESEARCH OF THE EVOLUTION OF ROOFING MATERIALS IN THE XX–XXI CENTURIES

Buchatskii S.I.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: melkiyoffitial@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию эволюции кровельных материалов за последнее столетие, разработана классификация кровельных материалов, выделены достоинства и недостатки различных материалов для кровельных покрытий. Определены факторы, которые необходимо учитывать при выборе того или иного кровельного покрытия.
Ключевые слова: *кровля, кровельное покрытие, листовые кровельные материалы, штучные кровельные материалы, технология монтажа.*

Abstract. The article is devoted to the evolution of roofing materials over the past century. During this period the classification of roofing materials was developed, merits and demerits of different materials for roof covering were emphasized. There are factors that are obliged to be considered in the selection of a roof covering.
Keywords: *roof, roof covering, sheets roofing materials, piece roofing materials, technology of mounting.*

В период, охвативший отрезок времени, начавшийся в середине девятнадцатого века и закончившийся в начале двадцатого, произошли некоторые изменения в строительном деле. В этот период началось активное внедрение строительной техники, были освоены новые строительные материалы. Данные изменения повлекли за собой некоторые последствия, одним из которых стало использование пространства чердаков для создания в них мансардных этажей. Весь этот период времени вплоть до середины двадцатого века кровельное зодчество оставалось стабильным, изменений в нём не наблюдалось.

Индивидуальные постройки, возводимые на окраинах городов, а также в сёлах носили типовой характер и практически не имели отличий друг от друга. Лишь небольшие детали, носившие, скорее, декоративный характер, помогали строениям обрести хоть сколько-то индивидуальности.

Выбор среди кровельных материалов был небольшой. В подавляющем большинстве случаев для перекрытия кровель использовали обыкновенную солому, однако листовой стали и волнистым асбестоцементным листам, которые в простонародье именуются шифером, также находили применение.

Ещё одним популярным кровельным материалом того времени являлись дранки. Дранки – это пластины, которые изготавливают из лучших пород дерева, таких как сибирская лиственница, канадский кедр или знакомый всем россиянам дуб. Дранки используют в строительстве и по сей день, однако былую популярность данный материал утратил.

К середине двадцатого века свою актуальность утратили и соломенные крыши, на смену которым пришли волнистые асбестоцементные листы. Шифер подкупал людей своей дешевизной и доступностью и вскоре занял доминирующее положение среди кровельных материалов тех лет.

Однако начало двадцатого века ознаменовал железобетон. Железобетон как символ развития архитектурных форм. Железобетон, который в скором времени стал верным другом советского конструктивизма на несколько десятилетий.

Двадцатый век полностью изменил облик зданий. Изменились в том числе и декоративные элементы. Предпочтение стало отдаваться многоэтажным зданиям геометрических форм, что являлось характерным признаком конструктивизма. Такой стиль как конструктивизм имел много особенностей: монолитность, сегментированность, масштабность. Но ещё одной особенностью данного стиля стали плоские крыши, на которых устанавливались парапеты с проёмами, что давало возможность проветривать чердачные помещения. Теперь крыша потеряла своё значение архитектурного элемента, завершающего композицию всего здания. Такие крыши возводились с плоским покрытием или же малым уклоном. Материалами, которые использовались для строительства данных крыш, стали рулонные кровли на основе битума и рубероида, а также мастичные кровли.

В связи с изменением государственного строя в 90-е годы двадцатого столетия плановая экономика сменилась рыночной, что позволило новым, современным строительным материалам проникнуть на российский рынок. Качество и эстетический вид новых материалов осуществили переворот в «кровельном зодчестве», открывая безграничные возможности для архитекторов и проектировщиков. Формы крыш претерпели множество изменений в стремлении архитекторов уйти от приевшихся, стандартных решений. Также появились и совершенно новые формы. Кроме того, стремление рационально использовать пространство стало причиной использования чердачного пространства для создания в нём мансарды [1].

Большое количество факторов оказывает влияние на выбор кровельных материалов.

Первоочередное влияние на выбор кровельного материала оказывает суммарная нагрузка на кровлю. Кровля должна выдерживать силу ветра, массу воздействующих на неё осадков. Кроме того, должна учитываться нагрузка на стропильную систему. Она не должна быть избыточной.

Важную роль играют и эксплуатационные характеристики строительного материала, такие как коррозионная стойкость, пожаробезопасность, механическая прочность, долговечность [2].

Для облицовки сложной геометрической конструкции подойдёт далеко не каждый материал, поэтому конфигурация также играет свою роль в подборе материалов, как и назначение конструкции. У каких-то зданий приоритетной характеристикой будет долговечность, у других же – экономия.

Немаловажную роль в данном деле имеет цена. В это понятие входит как стоимость самого материала, так и сопутствующие расходы на монтаж этого материала.

Ну и заключительным, однако отнюдь немаловажным фактором является эстетика. Внешний вид кровли также принимается во внимание во время проектирования здания, особенно если это здание будет нести культурную ценность.

Классификация наиболее распространённых кровельных материалов представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Классификация наиболее распространённых кровельных материалов

К листовым кровельным покрытиям следует отнести:

– Металлочерепицу.

Универсальным материалом, который используют в строительстве разнообразных зданий с малым количеством этажей, является металлочерепица. Среди достоинств этого материала можно выделить пожаробезопасность, простоту монтажа и механическую прочность. А полное отсутствие шумоизоляции является весомым недостатком. Прослужит металлочерепица около 15 лет. Укладывать её можно даже поверх старой кровли, однако угол наклона крыши должен быть 12° или более.

– Асбестоцементный шифер.

Данное покрытие имеет более долгий срок службы, он составляет примерно 20–30 лет. К достоинствам асбестоцементного шифера относятся невысокая цена, простота укладки, хорошая электро- и звукоизоляция, пожаробезопасность. Данное покрытие используют при облицовке кровель зданий любых типов.

Несмотря на множество плюсов, асбест является канцерогеном и наносит существенный вред здоровью человека, что может, без сомнений, перекрыть собой любые преимущества покрытия. К тому же известно, что асбестоцементный шифер имеет большой вес и считается хрупким [3].

– Фальцевую кровлю.

Данная кровля считается очень надёжной и долговечной. Она подходит любым типам крыш, исключает возможность протечек, имеет приятный эстетический вид. Особенностью фальцевой кровли является её крепление, которое осуществляется за счёт специальных загибов по краям листа, а не с помощью гвоздей. Фальцевая кровля имеет множество достоинств, перечисленных выше, но также имеет и недостатки, которые заключаются в высокой электро- и теплопроводности и низкой шумоизоляции.

– Профнастил.

К достоинствам профнастила можно отнести небольшой вес, высокую прочность, устойчивость к перепадам температур, лёгкость монтажа, приемлемый ценник. Низкая звукоизоляция и неприглядный вид, который вряд ли имеет что-то общее с эстетикой – недостатки данного материала.

– Ондулин.

Срок службы этого материала довольно большой – 20 лет. Достоинства ондулина: малая масса покрытия, приемлемая цена, высокая устойчивость к воздействиям атмосферы, гибкость. Особенностью данного покрытия является использование его при строительстве малых зданий технического или же хозяйственного назначения. Укладка ондулина возможна и на старое покрытие, при этом угол наклона крыши должен составлять 6° или более градусов. Монтаж листов производится на

обрешётку. Вместе с тем данный кровельный материал характеризуется низкой прочностью, горючестью, быстрой потерей цвета; возможно скопление снега за счёт шероховатой поверхности.

В группу штучных кровельных материалов входят:

– Керамическая черепица.

Плитки черепицы изготавливают из глины путём формовки и высокотемпературного обжига. При этом материал приобретает уникальные свойства, главное из которых – долговечность (срок службы – 150 лет).

Керамическая черепица прочна, устойчива к перепадам температур, атмосферным воздействиям, огнеупорна, обеспечивает прекрасную звукоизоляцию, имеет низкую теплопроводность. Нельзя не отметить, что материал этот ещё и очень красив [4].

Минусов у керамической черепицы всего два, но они существенны: большой вес покрытия, требующий устройства мощной стропильной системы, и высокая цена.

– Цементно-песчаная черепица.

Цементно-песчаная черепица также подходит для облицовки кровель любого типа. Служит до 100 лет, имеет почти те же достоинства, что и керамическая, при этом практически не отличаясь от нее внешне. И недостатки у нее те же: ощутимый вес и не менее ощутимая цена.

– Сланцевая черепица.

Натуральный сланец – роскошный материал для элитных построек. Превосходный внешний вид, отличная тепло- и шумоизоляция, прочность, способность выдерживать любые воздействия окружающей среды, воздухопроницаемость, абсолютная экологическая безопасность – главные достоинства материала. Сланцевая черепица имеет колоссальный срок службы: до 200 лет.

– Композитная черепица.

Срок службы композитной черепицы достигает 100 лет, что гораздо больше, чем у металлочерепицы, усовершенствованным вариантом которой она является. Показатели тепло- и звукоизоляции у нее также значительно выше. Композитная черепица легка, прочна, красива, отличается разнообразием форм и цветов.

К недостаткам материала следует отнести достаточно высокую (по сравнению с металлочерепицей) стоимость самого покрытия и его монтажа.

– Мягкая битумная черепица.

Этот мягкий кровельный материал подходит для крыши любой формы, включая куполообразную, с минимальным уклоном 12°. Модули, уложенные внахлёст, спекаются при высокой температуре, что гарантирует защиту от протечек. Технология монтажа проста и не требует применения специальных инструментов, но укладка должна осуществляться на сплошное основание.

Плюсов у мягкой черепицы множество. Она очень легка, устойчива к атмосферным воздействиям, грибку, химическим агентам, обеспечивает прекрасную тепло- и звукоизоляцию, влагозащиту, выдерживает ветровые нагрузки и температурные перепады. При облицовке кровель битумной черепицей почти не образуется отходов. По декоративным же характеристикам этот материал, пожалуй, не уступает керамическому прототипу [5].

Что касается минусов, то главный из них – необходимость строго соблюдать технологию монтажа, чтобы избежать деформации плиток. Спекание листов осложняет частичный ремонт.

В настоящее время большое распространение получает применение мастичных кровель при возведении не только промышленных, но и жилых зданий. Отличительной особенностью данного вида кровельных покрытий является применение вязкой мастики, которая после застывания на поверхности трансформируется в плотную водонепроницаемую субстанцию, высокая эластичность материала даёт возможность сформировать абсолютно непроницаемую плёнку даже на неровных поверхностях. Наиболее значимым преимуществом мастичных кровель считается высокое качество, полное отсутствие швов, что практически к нулю сводит риск протекания при условии нанесения мастики на поверхность тонкими равномерными слоями, а также относительная дешевизна.

На смену устаревшему рулонному кровельному материалу – рубероиду пришли более качественные и современные мембранные покрытия, безосновные материалы, наплавляемые рулонные кровли, самоклеящаяся и наклеиваемая рулонные кровли. Все эти рулонные материалы отличает хорошая водостойкость, ремонтопригодность, устойчивость к перепадам температур, высокая прочность, лёгкость, экологичность, простой монтаж и т.д. Кроме того, неоспоримым достоинством мягких рулонных кровель является их невысокая цена. Вместе с тем технология устройства рулонных кровель не допускает большого уклона поверхности, поэтому возможна для применения в основном для плоских бетонных крыш. Кроме того, она требует тщательной и качественной предварительной гидроизоляции во избежание возникновения и скопления влаги под крышей с последующими протечками, что может способствовать образованию плесени.

Благодаря современным технологиям рынок кровельных материалов не стоит на месте, появляются новые виды кровель (еврошифер, гибкая черепица и другие), обладающие лучшими свойствами прочности, надёжности, изоляции. При выборе кровельных материалов следует учитывать многие факторы, от нагрузки на кровлю до региона, в котором будет вестись строительство. Каждая кровля обладает собственными уникальными свойствами, которые содержат как минусы, так и плюсы, поэтому выбор кровли – это тщательный, выверенный процесс.

Литература

1. Белевич, В.Б. Кровельные работы: учебник для СПТУ. М.: Высшая школа, 1987. 208 с.
2. СП 17.13330.2017. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76 (с Изменением № 1).
3. Еропов, Л.А. Покрытия и кровли гражданских и промышленных зданий. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. 248 с.
4. Кровля. Современные материалы и технология / В.И. Теличенко, В.Ф. Касьянов, С.Д. Сокова, Ю.Н. Доможилов. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. 816 с.
5. Бондаренко, И.Н., Созинов, С.В., Нейман, С.М. Современные кровельные материалы и конструкции кровель, используемые для жилых и промышленных зданий // Вестник МГСУ. 2010. № 4–5.

Статья рекомендована к печати
канд. экон. наук, доцентом Наумовой О.С.

УДК 351.777.81(470.24)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.34

СОЛЬЦЫ: ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ СТРАТЕГИЯ – ШАНС НА ВЫЖИВАНИЕ

Гуляев В.И., Кузьменко С.Н.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: dflbvuekztd@yandex.ru
svetlana.kuzmenko@novsu.ru

SOLTSY: URBAN-PLANNING STRATEGY – A CHANCE TO SURVIVE

Gulyaev V.I., Kuzmenko S.N.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: dflbvuekztd@yandex.ru
svetlana.kuzmenko@novsu.ru

Аннотация. Сольцы – небольшой провинциальный город, нуждающийся в стратегии градостроительного развития, чтобы стать основой комплексного развития этого поселения, результат реализации которого – вернуть своё место в культурно-историческом потенциале Новгородской области. В статье проанализированы примеры из отечественного и зарубежного опыта экономических основ возрождения деградирующих поселений. Сформулированы подходы для создания концепции реабилитации города Сольцы. Научная новизна предлагаемой стратегии заключается в подходе, основанном на возрождении сильных сторон этого ценного исторического поселения. В результате исследования был разработан мастер-план, позиционирующий Сольцы как сильную градостроительную точку областного уровня.
Ключевые слова: *архитектура, градостроительство, концепция, историко-культурный потенциал, градостроительная стратегия, мастер-план.*

Abstract. Soltsy is a small provincial town, which needs an urban planning development strategy to become the basis for a complex development of this settlement, as a result of its implementation – to return its place in the cultural and historical potential of the Novgorod region. The article analyzed examples from domestic and foreign experience of the economic fundamentals of the revival of degrading settlements. Approaches for creating the concept of rehabilitation of the Soltsy town are formulated. The scientific novelty of the proposed strategy is based on an approach based on reviving the strengths of this valuable historical settlement. As a result of the research, a master plan was developed, positioning Soltsy as a strong urban planning development location of the regional level.
Keywords: *architecture, urban planning, concept, historical and cultural potential, urban planning strategy, master plan*.

Большой, крупный город, Москва, Санкт-Петербург – центры притяжения России. Почему? Там есть жизнь: где работать, учиться, большое разнообразие различных мест, чтобы заполнить свободное время.

Большой город никогда не спит, там созданы все условия, чтобы провести своё время с максимальной пользой.

А что в маленьких городах? Ничего. Маленькие города – место, где жизнь практически остановилась. Вся молодёжь, за исключением доли процента, уезжает в города побольше, где есть движение и перспектива. Остаются только пенсионеры, взрослые, которые уже не хотят уезжать, просто потому что поздно, в новом городе нужно будет начинать жизнь с нуля, а также дети – школьники и детсадовцы. Вследствие чего город не развивается, а в некоторых случаях деградирует и вымирает.

Как вернуть в маленький город жизнь? Что можно сделать и зачем, если город всё равно умирает? На этот счёт есть большое количество различных противоречивых теорий. Одни говорят о том, что в ближайшем обозримом будущем малые города, как и государства, перестанут существовать, останутся только большие города-мегаполисы, которые будут жить автономно, представляя собой мини-государства [1]. С другой стороны, есть мнение, что через небольшой отрезок времени малые города будут пользоваться большой популярностью благодаря своей экологичности, доступности, мобильности, лёгкости [2].

В зарубежных странах уже давно идёт практика реконструкции, переформатирования, возрождения небольших городов. Например, шведский город Мальме превратился из вымирающего портового городка в качественный экологичный современный, с развитой инфраструктурой и одним из лучших высших учебных учреждений всего за 20 лет [3]. В России с этим всё гораздо проще: город умер – его забыли, ведь всегда можно построить новый современный город в чистом поле, поближе к крупным агломерациям (Сколково, Иннополис). Почему проще построить новый город и ждать 20 лет, когда в него придёт жизнь, чем оживить, омолодить старый, малый, но ещё живой?

Стратегия градостроительного развития строится «на трёх китах». Экономика – большое количество рабочих мест с достойной заработной платой. Среда – инфраструктура, в которой находятся жители города, – жильё, зоны рекреации, транспортная система и пр. И культура – образование и досуг – учебные учреждения, центры искусств, кинотеатры, театры, коворкинги и многое другое [4].

Сольцы – ничем не примечательный малый город в Новгородской области. Исторический центр, старый, типовой жилой фонд, городская инфраструктура прошлого века, железная дорога, река, своя определённая история – типовые речевые конструкции, подходящие к 90% всех малых городов России. Рабочие места практически отсутствуют, вакансии есть или на узкопрофильные, или низкооплачиваемые места (учителя, врачи, воспитатели в детских садах). Всевозможные фабрики, заводы и предприятия уже давно разорились. Единственное, что может выделить город на фоне области, – военный гарнизон со своим аэродромом. Так что можно сделать с этим городом, чтобы туда вернулась жизнь?

Первый вариант – сделать город туристическим, развить историю города, сделать её наглядной. Возродить курорт на минеральных водах и грязях, ранее существовавший в послевоенное время. Реставрировать прекрасные усадьбы, находящиеся на территории района. Но реальность и тенденции современной жизни таковы, что ехать в Сольцы ради того, чтобы полюбоваться на историческую аллею, пару усадьб и полечиться на курорте, в год будет приезжать небольшое количество людей. Почему? Туристов, проводящих отпуск в малых городах, совсем немного, потому что каждому человеку хочется реального отдыха, на песчаном берегу у тёплого моря, расслабления, как физического, так и эмоционального, психологического.

Второй вариант – найти в городе сильные точки, на которых можно строить дальнейшее развитие. Близкое расположение к крупной агломерации, развитая транспортная инфраструктура, залежи полезных ископаемых и пр. Сольцы расположены достаточно близко в Великому Новгороду и Пскову, что делает город, возможно, достаточно ценным, с точки зрения логистики. Военный аэродром, который в текущий период жизни используется редко, примерно 2–3 месяца в год, всё остальное место простаивает, хотя может использоваться так и для гражданского авиасообщения областного уровня.

Третий вариант – сделать город для жизни, для молодёжи. Интернет подарил человечеству возможность работать удалённо. Получать образование, повышать квалификацию, делать офисную работу, управлять компанией, командой – можно не выходя с дома, сидя на удобном диване. В данной схеме город становится не просто местом существования с дополнительными элементами в виде услуг, а живым, наполненным элементами среды, в которой хочется находиться: безбарьерная среда, большое количество зелёных городских зон, отсутствие транспорта, всё необходимое в пешей доступности.

А что из себя представляет градостроительная стратегия Сольцов? Это комплекс, состоящий из большого количества разнообразных проектов, охватывающих различные области нашей жизни.

Аэротрополис Сольцы – будущий современный авиационный центр Новгородской области – строится на реконструкции городского образования, основанной на коммерческом развитии земель вокруг аэродрома в компактном виде, базирующей на пешеходной доступности населения [5]. Качественная взлётно-посадочная полоса подходит не только для военных целей, но и гражданской пассажирской и грузовой авиации. Согласно Воздушному кодексу РФ, статье 44, части 2: аэродром может совместно использоваться гражданской техникой без права базирования [6]. Концепция кластерной застройки разработана с учётом успешного мирового опыта развития прилегающих земель. Данные территории имеют чёткую специализацию, основанную на долгосрочном

планировании развития – компактность застройки – эффективное развитие коммерческих объектов, максимальное раскрытие потенциала, синергия аэропорта и города.

Индустриальные кластер – современный производственно-складской комплекс, расположенный в непосредственной близости к аэротрополису, имеющий прямое сопровождение ж/д-путями. Включает многофункциональные и сухие склады, производственную зону лёгкой промышленности и крупноузловой сборки и административно-логистический центр.

Современное производство уже не требует столь огромных площадей, высоких построек и пр., они могут быть прекрасно вписаны в городскую среду, без вреда окружающему миру [7]. В связи с этим по всему городу локально запроектированы небольшие территории производственно-хозяйственного назначения, на которых может развиваться малый производственный бизнес (по переработке вторсырья, например; из пластикового маркированного вторсырья в полимерно-песчаную тротуарную плитку, которая в дальнейшем может быть повторно переработана) [8]. Также в городе есть большое количество людей, живущих на частных участках, в частных домах или имеют дачи. Поэтому развитие малых предприятий в виде лесопилорамы и мини-завода по производству сетки-рабицы станет неотъемлемой частью городской структуры.

Рекреационный кластер – предназначен для отдыха местных граждан и гостей города, к которым относятся театр, кинотеатр, аквапарк, парк аттракционов. «Зелёные зоны» равномерно распределены по всей территории города. Парки, скверы, «тропа здоровья», пешеходные улицы, дворы – всё это составляющие лёгких городской структуры, спроектированные таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственный доступ к качественному отдыху на свежем воздухе.

Большой центральный парк включает в себя активный рельеф, озерца, пруды, обустроенные площадки для пикника, уличного скалолазания и верёвочный парк. Также там есть современный центр искусств и физкультурно-оздоровительный комплекс.

Аквапарк с обустроенной прилегающей территорией включает в себя большое количество различных арт-объектов, объектов современного искусства и площадки для самовыражения местных мастеров и художников.

Зоны рекреации в жилой застройке предназначены для дневных прогулок детей и подростков, а также удобного и безопасного пешеходного сообщения между многоквартирными домами, школой, детскими садами и общественными центрами.

И, конечно, сам аэропорт-сити – центр бизнеса г. Сольцы. Отели, гостиницы, кафе и рестораны, офисные и бизнес-центры. Сам кластер нужен для привлечения, организации, сопровождения и развития бизнеса.

В 1915 году купеческая семья открыла санаторий для раненых офицеров Первой мировой войны. В конце 1920-х гг. там был организован бальнеологический и грязевой курорт [9]. Во время Великой Отечественной войны данный объект был разрушен, и на этом его жизнь закончилась. Восстановление санатория-курорта на минеральных водах может стать отправной точкой в реализации всей стратегии градостроительного развития Сольцов. Весь проект расположен на историческом месте – северном берегу реки Шелонь. Современные медицинские корпуса, качественные жилые комнаты, кафе, прекрасный вид и обилие зелёных зон для прогулок. Минеральные воды и грязелечение – оздоровительные методы, не уступающие по своей действенности и актуальности современным дорогостоящим косметологическим и фармацевтическим средствам. Также происходит реконструкция окружающих территорий – ЦРБ, набережная, старые жилой фонд и пр. Удобное расположение даёт доступ для прогулок не только вдоль реки, но и к трём благоустроенным паркам. В десяти минутах – исторический центр города, где можно насладиться архитектурой, погрузиться в прошлое.

Туристический кластер, как важная часть стратегии, представлен историческим центром города. Склады, купечески особняки, лавки, культовые здания отреставрированы, наполнены новой функцией, чтобы дать памятникам архитектуры второе дыхание – отели, гостиницы, магазины (лавки), кафе и рестораны. Центральная аллея является пешеходной, большое количество зелени, единое колористическое решение. Также есть большое количество различных привлекательных мест в самом районе, например, великолепная усадьба купцов Васильчиковых в деревне Выбити или парк-усадьба «Горки», созданная купцом Ванюковым.

Запроектированные жилые многоквартирные дома имеют современную планировку европейского образца. Соразмерные по высоте строения в 3–5 этажей – дают чувство комфорта, безопасности и спокойствия. Квартальная застройка – идеальное решение землепользования и территориального деления. Внутри дворовая территория благоустроена согласно современным стандартам ландшафтного дизайна [10].

Все существующие промышленные зоны подлежат ре-девелопменту – реконструкции и смене функционального назначения. Например, объекты обанкротившейся перчаточной фабрики можно превратить в гостиницу, кафе или ресторан с красивым внутренним двориком. Большое количество пустующих зданий завода электротехнического оборудования Эллипс превращаем в форум-центр. Здесь можно проводить различные выездные встречи, совещания, конференции, форумы, хакатоны, также можно устраивать областной детский образовательно-развлекательный лагерь. В комплексе, для этих целей, представлен разнообразный функционал:

жилые помещения, универсальные аудитории, коворкинг, актовый зал и многое другое.

Вся стратегия развития, описанная выше, – сложный многоструктурный, многофункциональный проект, который при правильном подходе и ступенчатой реализации может не только вернуть жизнь в город Сольцы, но и сделать его одним из ведущих городов Новгородской области.

Литература

1. Магид, М. Гигаполисы: как экономика заставляет города расти и к чему это приводит / Архитекторы.рф [Электронный ресурс]. URL: https://архитекторы.рф/courses/urban-economy (дата обращения: 12.01.2020).
2. Белоголовский, В. Рем Колхас: взгляд в поля [Электронный ресурс]. URL: https://archi.ru/world/85648/arkhitektor-i-derevnya (дата обращения: 14.01.2020).
3. Эстрборн, Э., Бенгтсон, К. Мальме: как сделать из бывшего промышленного города инновационный хаб / Архитекторы.рф [Электронный ресурс]. URL: https://архитекторы.рф/courses/urban-economy (дата обращения: 12.01.2020).
4. Бюджет российских городов: откуда приходят деньги и как они расходуются / КБ «Стрелка»: Архитекторы.рф [Электронный ресурс]. URL: https://архитекторы.рф/courses/urban-economy (дата обращения 12.01.2020).
5. Московский аэропорт Домодедово – Московский Аэротрополис – территория развития [Электронный ресурс]. URL: https://business.dme.ru/partners/developer/aerotropolis/ (дата обращения: 28.01.2020).
6. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ (ред. от 01.04.2020) [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13744/286325ce401f3dc23b8a97305e06ececfd39314f/ (дата обращения: 21.01.2020).
7. Вендина, О. Об экономических сдвигах в развитии города / Архитекторы.рф [Электронный ресурс]. URL: https://www.youtube.com/watch?v=ji89uKN1nEI#action=share (дата обращения: 12.01.2020).
8. Оборудование для переработки пластика и стекла / Rostpolikraft. [Электронный ресурс]. URL: https://18ps.ru/catalog/oborudovanie-dlya-pererabotki-stekla-i-plastika/ (дата обращения: 03.04.2020).
9. Наш район: Администрация Солецкого муниципального района [Электронный ресурс]. URL: http://adminsoltcy.ru/price (дата обращения: 11.05.2020)
10. Варламов И.А. Новые районы Хельсинки [Электронный ресурс]. URL: https://varlamov.ru/2498439.html (дата обращения: 23.02.2020).

Статья рекомендована к печати
канд. архитектуры, доцентом Кузьменко С.Н.

УДК 711.4+004.92
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.35

СУПЕРГРАФИКА КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ПРОСТРАНСТВ

Егорова И.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: irka326@gmail.com

SUPERGRAPHY AS A MEANS OF FORMING URBAN SPACES

Egorova I.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: irka326@gmail.com

Аннотация. Современные тенденции в организации городской среды актуализируют вопросы применения различных средств и инструментов, одним из которых может выступать и суперграфика. Основная цель статьи – на реально существующих примерах оформления общественных пространств показать потенциал суперграфики как мощного многогранного инструмента, позволяющего менять не только городскую среду в сторону ее эстетической привлекательности и комфортности, но и отношение жителей к району своего обитания. В статье автор обозначает некоторые функции суперграфики, а также рассматривает возможности её использования при формировании комфортной городской среды не только для её жителей, но и для туристов. Актуальность темы также подтверждается и практическим мировым опытом использования суперграфики как одного из инструментов гармоничной организации и трансформации городского пространства, что раскрыто автором в описанных в статье примерах.
Ключевые слова: *суперграфика, городская среда, композиция.*

Abstract. Modern trends in the organization of the urban environment actualize the use of various means and tools, one of which can be supergraphy. The main purpose of the article is to show by real examples of designing public areas the potential of supergraphy as a powerful multi-faceted tool that allows you to change not only the urban environment in the direction of its aesthetic attractiveness and comfort, but also the attitude of residents to the area where they live. In the article, the author identifies some functions of supergraphy, and also considers the possibilities of its use in the formation of a comfortable urban environment not only for its residents, but also for tourists. The relevance of the topic is also confirmed by the practical world experience of using supergraphy as one of the tools for the harmonious organization and transformation of urban space, which is revealed by the author in the examples described in the article.
Keywords: *supergraphy, urban space, composition.*

Суперграфика в современном мире – явление довольно распространённое и со времён первого своего упоминания до настоящего времени приобрело мировой масштаб. Сегодня цели суперграфики весьма разнообразны и многоаспектны. Это и повышение эстетической привлекательности города, и улучшение качества его визуальной комфортности, и привлечение туристов, и пропаганда социально значимых проблем или художественных ценностей различных народов мира, удобная навигация и информативность общественных пространств не только для гостей, но для жителей города.

Термин «суперграфика» в различные периоды развития этого явления понимали по-разному. В трудах можно встретить следующие трактовки: разновидность прикладной графики в урбанистической архитектуре (в том числе стрит-арт, граффити, муралы); декорировка поверхности; приём декорирования наружных стен зданий; способ настенной росписи; активное средство визуального обогащения глухих фасадов, а также промышленных и жилых интерьеров; часть графического дизайна (брандмауэры, вывески, световые панели и т.д.) [1].

В современной городской среде суперграфика многофункциональна по своей сути, она не используется как единичное художественное средство, а воспринимается архитекторами как мощный инструмент формирования ткани города по определённым принципам. Супеграфика современного мегаполиса не ограничивается только вертикальными плоскостями глухих фасадов зданий, а заполняет целые пространства, перемещаясь в плоскость пешеходных зон, тротуаров, городского оборудования, скульптуры и художественных инсталляций в парковых зонах, трансформируя среду вокруг этих объектов, расставляя цветовые и композиционные акценты [1].

Ярким примером использования суперграфики как инструмента, помогающего гармонично организовать городскую среду, может служить улица Марка Шагала в Витебске (Беларусь). Свою известность в наше время улица, в первую очередь, приобрела благодаря находящемуся там сегодня музею УНОВИСа, что и стало отправной точкой в формировании визуальной среды квартала. На глухих фасадах домов, расположенных рядом с музеем, начали появляться портретные изображения художников-супрематистов с их цитатами, копии или реплики их картин, таких как композиция «Supremus 58» («Жёлтое и чёрное»), «Принцип росписи стены, плоскости или всей комнаты, или целой квартиры по системе супрематизма» («Смерть обоям»), «УНОВИС», «Supremus 55» («Капля»), «Супрематическая живопись. Летящий аэроплан». Все абстрактные композиции воспроизводились с реальных эскизов К. Малевича и переносились на стены здания так, чтобы они считывались зрителем по-разному с нескольких углов зрения. Большинство изображений расположено на оштукатуренных плоскостях фасадов и воспринимаются

зрителями фронтально, как плоскостная картина. Ощущение движущейся композиции «Supremus 55» создаётся за счёт игры света и тени в солнечный день на фактуре кирпичной стены дома. Совсем по-иному воспринимается композиция «Supremus 58», которая располагается на углу здания так, чтобы при движении по улице эта композиция открывалась не сразу и не отвлекала внимание зрителя от стены Малевича, на которой можно увидеть одну из первых появившихся в квартале композиций [2].

Оформление зданий композициями не случайно, каждая работа как будто ведет зрителя к главной точке притяжения – музею УНОВИСа. Не случайно и цветовое оформление композиций. В воссозданных копиях применяются такие знаковые для творчества супрематистов цвета, как чёрный, охра или горчично-жёлтый, красный, но при этом цвета корректно вписаны в среду – они не слишком яркие и не вызывают дискомфорта при зрительном контакте. Квартал развивается и в наше время, продолжается его формирование как единого целого информационного и эстетически насыщенного пространства. Крыши зданий окрашиваются в красный цвет, так как этот цвет является одним из основополагающих в творчестве мастеров 10-х и 20-х годов XX века.

Таким образом, улица, а вместе с ней и весь квартал приобретают свой «портрет», благодаря которому горожане и туристы запоминают данное место. При попадании в такую среду у зрителя возникает чёткий ассоциативный образ, снимаются ненужные вопросы «Где я нахожусь?», «Что здесь можно посетить?» или «Чем бы мне тут заняться?». Квартал полностью отвечает своей функции, одновременно являясь исторической территорией города и эстетически-познавательным местом для всех посетителей, он выступает как «маяк» или опознавательный элемент данной части города, которая соответствует по своему духу и характеру названию улицы.

Справедливо заметить, что сегодня творчество русских художников-авангардистов начала XX века – Малевича, Кандинского, Родченко, Лисицкого и других – активно используется при разработке дизайна фасадов жилых домов и концепций благоустройства новых кварталов по всему миру. Ярким примером может служить концепция арт-квартала «Бабяково» в Новоусманском районе Воронежской области, где появились улицы Малевича и Кандинского. На глухих фасадах домов методом фрески размещены копии картин художников-супрематистов в увеличенном масштабе. Стиль выдержан за счёт сочетания разноцветных и разновеликих геометрических фигур. Преобразования коснулись не только фасадов домов, но и прилегающей к ним территории, где можно увидеть нестандартные клумбы в виде кругов, треугольников и трапеций, цветные скамейки для отдыха жителей, цветное мощение тротуаров, а также арт-объекты в духе супрематизм, представляющий собой прозрачный куб с геометрическими фигурами внутри [3].

Суперграфика как инструмент способна не только воссоздать «дух места» или гармонично организовать городскую среду, но и полностью трансформировать её в эстетически привлекательное пространство. Ярким примером такой трансформации может служить проект Macro Mural («Макрофреска», Мексика). Целью проекта стало облагораживание района трущоб Пальмитас в мексиканском городе Пачука-де-Сото посредством суперграфики. Но это не единственная цель, которую преследовали художники. С их слов, такие кардинальные перемены вокруг должны были положительно сказаться и на общественном сознании жителей данного района. Ведь на протяжении длительного времени этот квартал славился высоким уровнем преступности и наркомании, и сама городская среда с унылыми домами, плохим освещением улиц и горами грязи способствовала этому. Ситуация начала улучшаться с того момента, как группа художников «Germen Crew» расписала несколько сотен домов яркими цветами и портретами местных жителей, что придало кварталу индивидуальность и некую семейственность. Масштабы суперграфики невозможно оценить локально, лишь при рассмотрении панорамы района у зрителя складывается целостный образ, состоящий из множества цветных рисунков. Такой эффект достигается за счёт расположения зданий относительно друг друга, а также относительно рельефа местности, ведь все здания квартала построены на холме. В данном случае городской квартал выступает прообразом холста художника, на котором изображена реальность города, отражённая в портретах его жителей, выполненных в ярких солнечных цветах. Однако суперграфические изображения являются не единственным инструментом преобразования квартала. Также проект включил в себя установление современного освещения, что понизило уровень преступности [4].

Так, проект «Макрофреска» является наглядным примером, как суперграфика гармонично трансформирует городскую среду, улучшает психоэмоциональное состояние населения и даже меняет социальную ситуацию в районе.

Суперграфика не только трансформирует городское пространство, но и вносит коррективы в привычное восприятие среды, вызывая некое визуальное раздражение, но, скорее, как возбудитель внимания, а не инородное тело, разрушающее общий вид. Такое применение суперграфики при формировании городской среды можно наблюдать на примере жилого комплекса «Комфорт-таун» в Киеве (авторы Александр Попов, Дмитрий Васильев, Бюро «Архиматика»). Аналогом для проекта послужила традиционная застройка таких городов, как Прага, Краков, Львов, где центральное место занимает главная площадь и расходящиеся от нее улицы. При этом авторы подчеркивают, что структура проекта основывается на индивидуальных особенностях участка [5].

Так, по аналогии с европейскими кварталами на домах комплекса «Комфорт-таун» полностью отсутствует какой-либо рисунок, главенство отдано цвету в чистом виде. При этом выбранные специалистами цвета не являются спектральными – оранжевый, голубой, зелёный и красный несколько выбелены и лишь только жёлтый приближается к спектру. Так авторы проекта избегают отчуждения и непонимания в глазах обычных жителей, которые привыкли к серым краскам советских многоквартирных домов. Весь комплекс выполнен как единый ансамбль, главным мотивом которого стало использование архетипа традиционного европейского города. Авторы отошли от существующего сегодня стереотипа застройки новых кварталов высотными точечными зданиями. Вместо них создали на левом берегу реки ансамбль, который можно смело назвать «Новым Подолом» [5]. Архитекторы сделали упор не только на внешний вид, но и на благоустройство территории, где расположены различные площадки, летние кафе, уютные дворы, торговый комплекс, детский садик и школа искусств, что делает данный квартал комфортным для проживания.

В данном проекте суперграфика выступает как основной колористический инструмент, доказывающий, что и чистые открытые цвета, применяемые в формировании городской среды, имеют право на существование. Такое решение делает среду не однородной, задаёт акценты или «цветовые раздражители», которые позволяют разбавить серость городов, выстраивают новые психоэмоциональные связи пространства с его жителями, позволяют по-другому взглянуть на комфортность современного мегаполиса.

Таким образом, на данных примерах можно выявить несколько подходов к организации городской среды посредством суперграфики. В первом случае, когда речь идёт об улице Марка Шагала (Витебск, Беларусь), само историческое место выступило источником творчества, продиктовало использование тематических суперграфических изображений, сформировавших среду квартала, воссоздала «дух места». С другой стороны, на примере арт-квартала «Бабяково» (Воронеж, Россия) можно проследить связь искусства с современностью, когда «дух места» создаётся за счёт отсылок к суперграфическим изображениям картин известных мастеров-супрематистов XX века. Во втором и третьем случаях на примерах проектов «Макрофреска» и «Комфорт-таун» можно утверждать, что главенствующую роль сыграл именно инструмент, в роли которого и выступила суперграфика, что позволило полностью трансформировать окружающую городскую среду в более комфортную и безопасную.

Литература

1. Новикова, Я.В. Суперграфика как фактор формирования и трансформации городской среды // Визуальная антропология – 2019.

Город-университет: жизненное пространство и визуальная среда: материалы III Международной научной конференции. Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2020. С. 137–148.
2. Гулина, М. Места УНОВИСа в Витебске [Электронный ресурс]. URL: https://34travel.me/gotobelarus/post/unovis-guide (дата обращения: 28.03.2020).
3. Стрельников, Роман. В Новоусманском районе появится арт-квартал с картинами Малевича и Кандинского [Электронный ресурс]. URL: http://nu-today.ru/news/14-company-news/3797-v-novousmanskom-raione-poiavitsia-art-kvartal-s-kartinami-malevicha-i-kandinskogo.html (дата обращения: 01.04.2020).
4. Такер, Д. Преображение трущоб: мексиканские художники разукрасили бедные кварталы [Электронный ресурс]. URL: https://www.bbc.com/russian/vert-tra-40988366 (дата обращения: 29.03.2020).
5. Тарабарина, Ю., Кузнецова, А. WAF: «Оскар», но архитектурный [Электронный ресурс]. URL: https://archi.ru/projects/world/9167/zhiloi-kvartal-komfort-taun (дата обращения: 01.04.2020).

Статья рекомендована к печати
канд. пед. наук, доцентом Новиковой Я.В.

УДК 711.454-163(470.24)
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.36

НОВАЯ ЖИЗНЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЗАВОДА «АВТОСПЕЦОБОРУДОВАНИЕ» В ВЕЛИКОМ НОВГОРОДЕ КАК НАУЧНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Зеленина А.Г., Кузьменко С.Н.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: zelenina.na@mail.ru
svetlana.kuzmenko@novsu.ru

NEW LIFE OF THE INDUSTRIAL TERRITORY OF THE PLANT «AVTOSPETSOBORUDOVANIE» IN GREAT NOVGOROD AS A CULTURAL AND COGNITION CLUSTER

Zelenina A.G., Kuzmenko S.N.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: zelenina.na@mail.ru
svetlana.kuzmenko@novsu.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема деградирующих промышленных территорий, их влияние и метод преобразования в кластерную систему на примере Великого Новгорода. Разработано предложение по созданию кластера на одной из промышленной территории, которое приведёт к притоку средств инвесторов, улучшению качество городской среды, повышению социальной структуры и появлению новых общественных мест.
Ключевые слова: *кластер, реновация промышленных территорий, Великий Новгород, городска среда, рефункционализация.*

Abstract. This article is devoted to the problem of degrading industrial territories, their influence and the method of transformation into a cluster system using the example of Velikiy Novgorod. A proposal has been developed to create a cluster in one of the industrial areas, which will lead to an influx of investor funds, an improvement in the quality of the urban environment, an increase in the social structure and the emergence of new public places.
Keywords: *cluster, renovation of industrial territories, Velikiy Novgorod, urban environment, refunktsionalizatsiya.*

Деградация городской среды, в части промышленных территорий, которые нарушают гармоничную архитектурно-пространственную ткань города и препятствуют повышению качества жизни граждан, является большой проблемой нашего времени. Ведь городская среда для горожанина – это место реализации потребности в жилье, работе, учёбе, общении, развлечении, а депрессивные территории наносят

эмоциональный вред и сокращают пространственную свободу для развития и полноценной жизни.

К депрессивным местам можно отнести промышленные территории, которые ограждены заборами с колючей проволокой, серые здания в полуразрушенном состоянии, неблагоустроенная территория, всё это оказывает влияние не только на состояние граждан, но и на архитектурно-градостроительный облик города [1]. Утрата основной функции таких территорий связана с тем, что в середине XX века промышленные предприятия располагались на окраинах города в специализированных промзонах. Постепенный рост городской территории привёл к тому, что предприятия оказались в срединной зоне – между историческим ядром и жилой застройкой [2, 3].

Промышленные территории способны к регенерации за счёт преобразования промышленной территории и повышения инвестиционной привлекательности [4, 5]. В настоящее время, с функциональной точки зрения, реализуются три принципиально разных направления преобразования промышленных территорий:

1. Сохранение промышленной функции – полная реставрация здания, сохранение первоначального облика либо внедрение новых технологий.

2. Частичная рефункционализация – реконструкция планировочной структуры, превращение объекта в музей или включение новых объектов городского значения в историко-промышленные территории.

3. Полная рефункционализация – перепрофилирование промышленных объектов под новую функцию, реабилитация территории и создание новых зелёных массивов либо полный снос промышленного объекта/комплекса и использование территории в других целях [6, 7, 8].

В крупных городах России можно уже наблюдать подобные преобразования. В основном применяют кластерную систему, в которой выделено три типа: образованные на базе высокотехнологичных предприятий; на базе научных и образовательных центров; на базе малого и среднего бизнеса.

Очень важно не путать креативный кластер и бизнес-центр. Разница между ними в том, что в кластере арендаторы взаимосвязаны, у них один арендодатель, имеется общая имиджевая политика в создании общей инфраструктуры и в стратегии пространственного развития. Внешний пиар сосредоточен на отборе событий, которые происходят на территории. Что касается прибыли – бизнес-центры рассчитывают на быструю прибыль, а кластеры зачастую выстраивают экономическую стратегию за счёт инвесторов, они участвуют в развитии новой экономики, создают свой стиль и образ жизни, смело конкурируют с музеями и центрами культуры [9].

На данный момент существуют различные кластеры, большое внимание привлекают креативные кластеры, поскольку они направлены на самовыражение и взаимодействия людей, такие пространства становятся

«третьем местом». К примеру, одним из самых первых креативных кластеров в Москве был «Artplay», он появился в середине двухтысячных годов, когда московское правительство стало переносить промышленные предприятия за пределы города, тем самым индустриальные территории освобождались под новые функции. Сейчас «Artplay» располагается на территории бывшего завода «Манометр», это целый культурный квартал, состоящий из помещений под аренду, выставочных залов, образования, развлечения [10]. Постепенно стало больше появляться подобных пространств – это центр современного искусства «Винзавод», арт-кластер «Красный Октябрь», дизайн-завод «Флакон». Создание культурно-познавательных пространств стало настолько актуальным, что они сейчас присутствуют в любом крупном городе России, поскольку являются центром притяжения, местом альтернативного досуга и творчества. Все эти примеры показывают, что идея развития креативных кластеров – достаточно перспективное и экономически интересное направление.

Во всех регионах России присутствуют заинтересованные творческие сообщества в создании креативных кластеров. На примере Великого Новгорода, который является одним из древнейших и известнейших городов России с большим притоком туристов, поскольку находится между двумя крупнейшими городами России – Москвой и Санкт-Петербургом, можно сказать, что культурно-познавательный кластер необходим.

Ситуация с индустриальными территориями в границах города Великий Новгород проблемная, поскольку около 30% занимают промышленные предприятия (рисунок 1). Некоторые из них уже не действующие и находятся в аренде под складские нужды [11].

Один из таких участков – территория бывшего завода «Автоспецоборудование» на улице Большая Санкт-Петербургская, 43, где изначально было производство передвижных авторемонтных комплексов для Министерства обороны. Однако в 2015 году производство прекратило свою деятельность в Великом Новгороде и уже в 2017 возобновилась работа на новом предприятии в городе Владимир.

Данная промышленная территория – это нереализованный потенциал, поэтому разработан проект по созданию культурно-познавательного кластера, который повысит уровень и качество городской среды для граждан.

Концепция проекта: создание культурно-познавательного кластера в виде многофункционального комплекса.

Основные задачи:

1. Спроектировать систему взаимодействующих общественных пространств внутри и снаружи под открытым небом для отдыха и общения горожан, это станет альтернативой проведения времени в торговых центрах.

2. Гармонизация архитектурного ансамбля.
3. Повышение практических навыков для студентов НовГУ.
4. Благоустройство территории вдоль железной дороги.

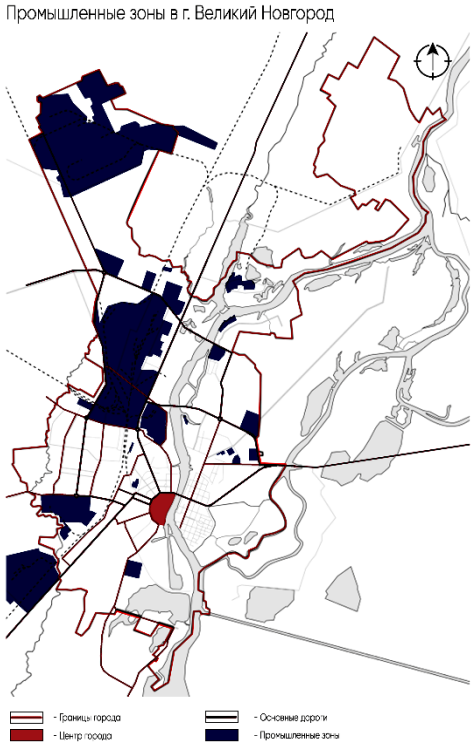


Рисунок 1. Промышленные зоны в г. Великий Новгород

На основе детального предпроектного анализа было выявлено, что территория раздроблена и предоставляется в аренду сторонним организациям под производственные и складские помещения, частично находится в запущенном состоянии. Инфраструктура располагает к созданию культурно-познавательного кластера, поскольку рядом располагаются крупные торговые центры «Лента» и ТЦ «Волна», поликлиника «Волна», деловая зона, а также Политехнический институт, Политехнический колледж и Институт электронных и информационных систем НовГУ, общежития НовГУ [12].

Что касается транспорта, то участок расположен на одном из важных транспортных узлов, с восточной стороны располагается одна из самых протяжённых улиц – Большая Санкт-Петербургская, связывающая исторический центр с жилой зоной. С западной стороны участка проходит железная дорога, с начала 2019 года начал ходить первый рельсовый автобус (рисунок 2).

Проектное решение предусматривает осуществить на данной промышленной территории следующие мероприятия: полная рефункционализация – частичный снос зданий и сооружений, находящихся в ветхом состоянии, наделение зданий новыми функциями и

применение методов адаптации к современным условиям, создание общегородского многофункционального комплекса (рисунок 3).



Рисунок 2. Транспортно-пешеходная схема

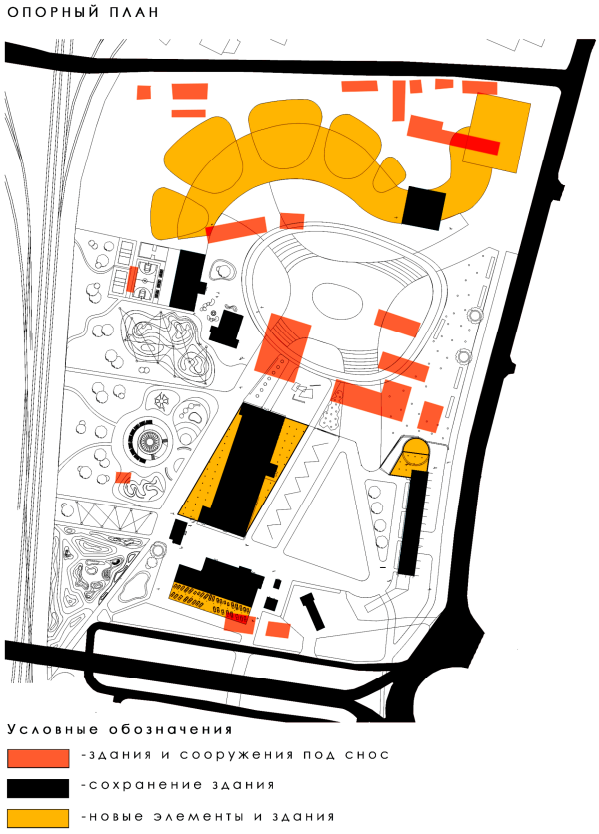


Рисунок 3. Опорный план

Методы адаптации для промышленной территории бывшего завода «Автоспецоборудование»:

– Аппликация – реконструкция фасадной плоскости, создание «фальш-фасада» при помощи композиции из объёмов и плоскостей, различных по фактуре, текстуре, цвету.

– Интеграция – пристройка дополнительных объёмов, модификация масштабов, формы, положения здания для архитектурно-планировочной структуры.

– Аналогия – сохранение «духа места» при помощи применения функциональных аналогий: детали, элементы инженерного оборудования на фасаде здания или в экстерьере, говорящие о функции и специфике предприятия в прошлом.

Культурно-познавательный кластер будет новым общественным пространством, состоящим из восьми различных зон:

1. Учебно-производственная зона.
2. Интеллектуально-деловая зона.
3. Творческо-развлекательная зона.
4. Спортивная зона.

5. Зона общественного центра.
6. Центральная площадь.
7. Хозяйственно-транспортная зона.
8. Рекреационная зона.

В состав этих зон входят подзоны, исходя из функции зданий и сооружений. Каждая зона носит свою идею и наполнена функциями, делая территорию актуальной для большинства (рисунок 4).

В учебно-производственной зоне ранее располагались склады, теперь там появится вдоль одного из фасадов ретро-выставка автомобилей. На базе кластера будет запущена специальная технологическая платформа для обучения и повышения квалификации, где студенты политехнического института смогут заниматься машиностроением, столярными работами и производственными исследованиями. Взаимосвязь университета и кластера приведёт к «потоку проектов» – высокотехнологичных стартапов, созданных студентами.

Интеллектуально-деловую зону займут начинающие фрилансеры, проектные группы. Планируется разместить коворкинг, офисы творческих организаций/бюро, пространства для студентов проектных команд.

Творческо-развлекательная зона будет открыта для тех, кто хочет окунуться в процесс или повысить свой навык в ремесленном деле: гончарное мастерство, работа с деревом, металлом, декоративно-прикладное искусство и многое другое.

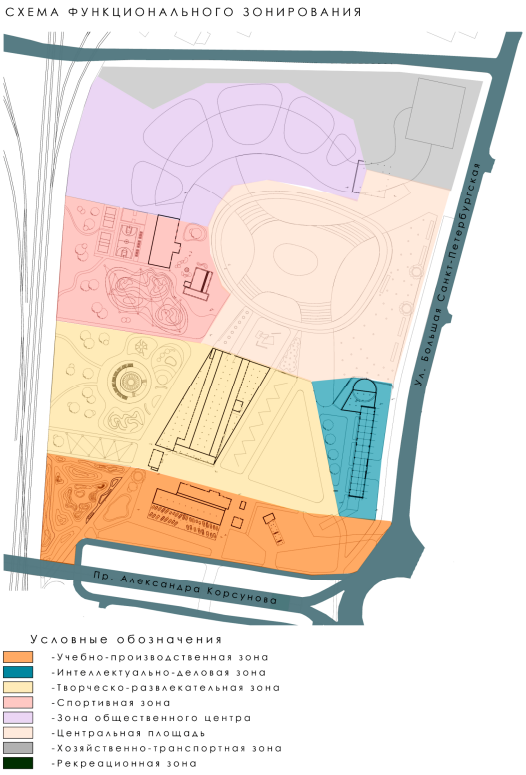


Рисунок 4. Схема зонирования территории

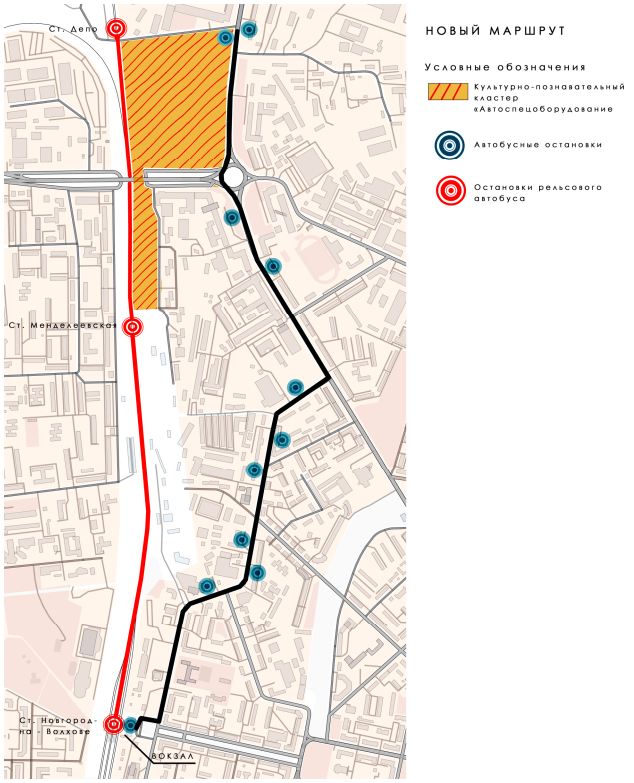


Рисунок 5. Схема маршрута от вокзала до кластера

Спортивная зона для любителей встретиться с друзьями и поиграть в баскетбол, волейбол или просто потренироваться.

В общественном центре можно будет насладиться большим разнообразием еды, сходить в кино или на концерт, записаться в фитнес-клуб, поплавать в бассейне и пройтись по галерее.

Центральная площадь будет служить местом встречи, организации праздников, а на соседней малой площади можно проводить ярмарки и фестивали.

Хозяйственно-транспортная зона выделена под обслуживание всей территории и под хранение транспорта для посетителей и работников.

Концепция культурно-познавательного кластера

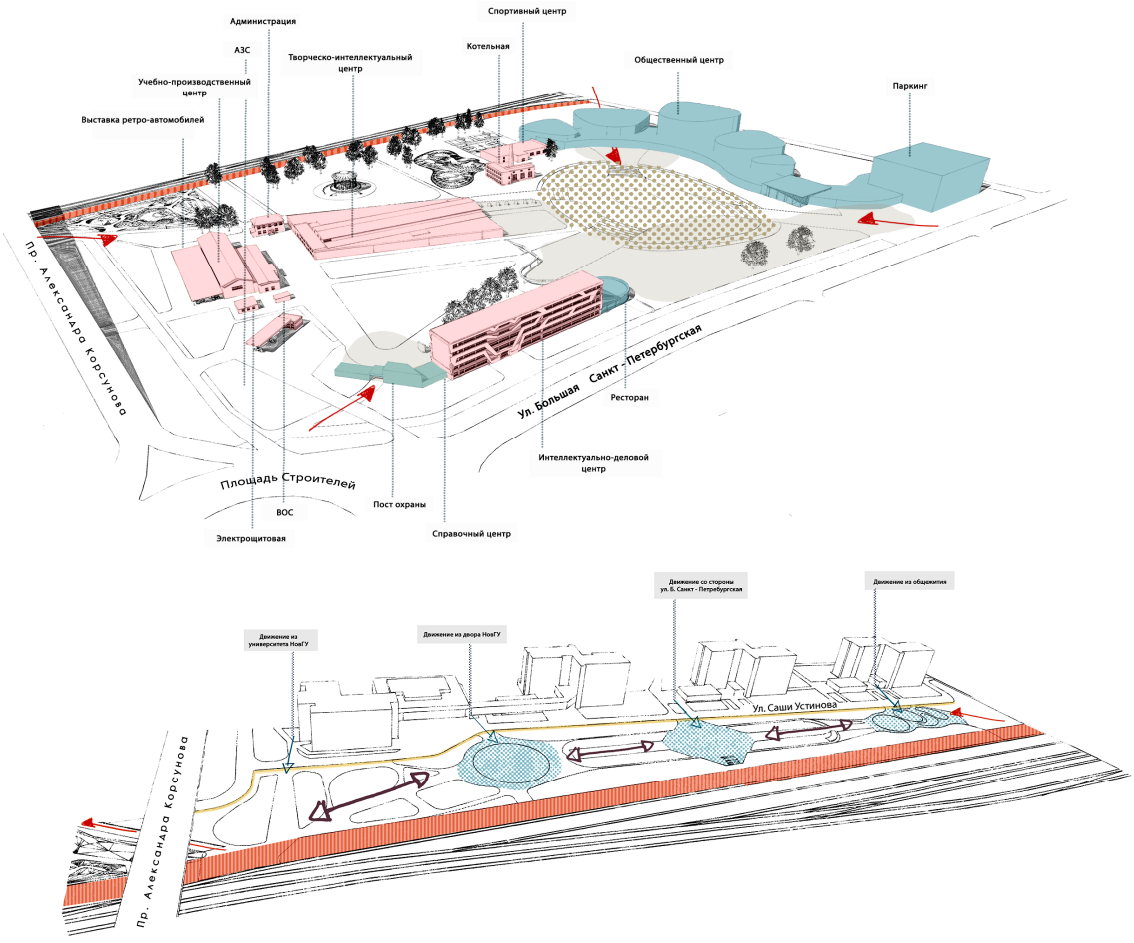


Рисунок 6. Концепция культурно-познавательного кластера

Стоит отметить, что проектным предложением разрабатывается не только территория бывшего завода «Автоспецоборудование» под кластер, но и окружение, поскольку создаётся связанная среда, которая обновляет город. Проработана рекреационная зона со стороны железной дороги от станции «Депо» до станции «Менделеевская», поскольку предлагается использовать рельсовый автобус как средство передвижения от вокзала,

тем самым снизить нагрузку с кольца и упростить передвижение туристов к культурно-познавательному кластеру (рисунок 5). Так как территория вдоль железной дороги находится на охранной зоне, то там допускается расположение прогулочных троп и площадок для активностей.

Преобразование крупных промышленных территорий актуальна для многих городов России. Создание новых общественных пространств, переосмысление промышленных зданий является частью процесса трансформации российских городов в постиндустриальный период. В Великом Новгороде находится достаточно много таких территорий.

Таким образом, культурно-познавательный кластер «Автоспецоборудование» в Великом Новгороде – это креативное пространство, на территории которого найдут занятия и интерес жители и гости города разных возрастных и социальных групп и получат возможность для реализации своих творческих замыслов (рисунок 6).

Литература

1. Страх над городом: как архитектура помогает справляться с беспокойством [Электронный ресурс]. URL: https://archspeech.com/article/strah-nad-gorodom-kak-arhitektura-pomogaet-spravljatsja-s-bespokojstvom (дата обращения: 27.02.2020).
2. Промышленные зоны и их место в функциональной и территориальной структуре городов [Электронный ресурс]. URL: https://studwood.ru/1585070/nedvizhimost/promyshlennye_zony_mesto_funktsionalfun_territorialnoy_strukture_gorodov (дата обращения: 02.02.2020).
3. Зорина Е.С. Пространственно-значимые объекты в городе: методика изучения и реконструкция (Тезисы) [Электронный ресурс]. URL: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz22_pril/22/template_article-ar=K21-40-k32.htm (дата обращения: 20.02.2020).
4. Родяшина, К.Е. Депрессивные территории в структуре современного города: понятие, характеристики, классификация [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/depressivnye-territorii-v-strukture-sovremennogo-goroda-ponyatie-harakteristiki-klassifikatsiya/viewer (дата обращения: 20.01.2020).
5. Золотых, М.А. Реновация промышленных зон в современных условиях города [Электронный ресурс]. URL: http://saf.petrsu.ru/journal/article.php?id=1183 (дата обращения: 20.02.2020).
6. Цитман, Т.О., Богатырева, А.В. Реновация промышленной территории в структуре городской среды // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 4 (14). С. 29–35.

7. Жир, М.Ю. Рефункционализация депрессивных территорий на месте промышленной зоны // Молодой учёный. 2019. № 19 (257). С. 134–136. URL: https://moluch.ru/archive/ 257/58804/ (дата обращения: 25.02.2020).
8. Функция в архитектуре и ее трансформация. Понятие рефункционализации [Электронный ресурс]. URL: https://vuzlit.ru/1126539/ funktsiya_arhitekture_transformatsiya_ponyatie_refunktsiorefunktsio (дата обращения: 20.02.2020).
9. Быкова, В. Развитие творческих кластеров [Электронный ресурс]. URL: http://rocket-center.ru/blog/Kreativnye-industrii/94/Razvitie-tvorcheskikh-klasterov-v-Rossii.html (дата обращения: 20.01.2020).
10. Масловская, А. Творческие кластеры: Дизайн-центр Artplay [Электронный ресурс]. URL: https://www.the-village.ru/village/city/public-space/103033-pryamaya-rech-sergey-desyatov-artplay-na-yauze (дата обращения: 15.01.2020).
11. Основные положения генерального плана городского округа Великий Новгород от 28.12.2009 № 553 [Электронный ресурс]. URL: https://www.adm.nov.ru/spage.xhtml?docid=52 (дата обращения: 15.01.2020).
12. Кушнир, И.И. Послевоенное градостроительство [Электронный ресурс]. URL: http://a-nevsky.ru/library/arhitektura-novgoroda8.html (дата обращения: 25.02.2020).

Статья рекомендована к печати
канд. архитектуры, доцентом Кузьменко С.Н

УДК 621.594
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.37

ВЛИЯНИЕ КОАГУЛЯЦИИ НА ПРОЦЕССЫ РОСТА И ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ КРИСТАЛЛОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Ибрагимова Ю.В., Иванов Д.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s233650@std.novsu.ru
E-mail: s233344@std.novsu.ru

THE EFFECT OF COAGULATION ON THE PROCESSES OF GROWTH AND CHANGES IN THE NUMERICAL CONCENTRATION OF CARBON DIOXIDE CRYSTALS

Ibragimova Y.V., Ivanov D.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s233650@std.novsu.ru
E-mail: s233344@std.novsu.ru

Аннотация. Процесс фазового перехода в твёрдое состояние паров диоксида углерода, содержащихся в расширяющемся потоке газовой смеси, состоит из образования центров кристаллизации и последующего роста образовавшихся кристаллов, обусловленного увеличением степени переохлаждения потока. В определённых сечениях проточной части расширительного устройства образуются кристаллы-зародыши, которые растут по мере движения в проточной части. Поэтому в каждом из определённых сечений проточной части могут находиться кристаллы диоксида углерода различного размера. В результате их взаимодействия может произойти коагуляция, выражающаяся как прилипание более мелких кристаллов к более крупным. Рассматривается влияние процесса коагуляции на изменение количества более мелких кристаллов и на рост более крупных. Приводятся уравнения, на основании которых произведены расчёты исследуемых процессов.
Ключевые слова: *коагуляция, концентрация, кристаллы, углерод, фаза.*

Abstract. The process of phase transition to the solid state of carbon dioxide vapors contained in an expanding gas mixture stream consists of the formation of crystallization centers and subsequent growth of the crystals formed, due to an increase in the degree of supercooling of the stream. Crystals nucleate in certain sections of the flow part of the expanders and grow as they move in the flow. Therefore, crystals of carbon dioxide of various sizes can be found in each of certain sections. As a result of their interaction, coagulation can occur, expressed as the adhesion of smaller crystals to larger ones. The influence of the coagulation process on the change in the number of smaller crystals and on the growth of larger ones is considered. Equations are given on the basis of which the calculations of the studied processes are made.
Keyword: *коагуляция, концентрация, кристаллы, углерод, фаза.*

Математическая модель процесса образования кристаллов диоксида углерода в объёме расширяющегося газового потока позволяет определить, в том числе, численную концентрацию образующихся кристаллов-зародышей диоксида углерода и их размер, а также размер кристаллов, растущих по мере продвижения потока вдоль проточной части расширительного устройства [1].

Для поставленной задачи применим метод Эйлера. Кристаллы диоксида углерода, образующиеся и растущие в расширяющемся потоке, имеют размер менее 1 мкм [2], поэтому их можно отнести к классу высокодисперсных аэрозолей [3]. Расчёт коагуляции методом Эйлера предполагает одномерное движение всех частиц, которые при их соударении обязательно слипаются [4]. На основе этого метода следует решить задачу создания математического аппарата для описания процесса коагуляции кристаллов.

Если рассматривать кристалл, который движется относительно неподвижных других кристаллов такого же размера, то его соприкосновение с неподвижными кристаллами произойдёт, когда расстояние между центрами этих кристаллов будет равным a (a – размер грани кубического кристалла). Центр движущегося кристалла, каждая боковая грань которого (относительно направления движения) соприкоснулись с неподвижными кристаллами, будет находиться в центре параллелепипеда с площадью основания $4a^2$ (площадь квадрата со стороной $2a$). Объём такого параллелепипеда в единицу времени можно выразить как

$$V = 4a^2 \cdot \overline{c_c},$$

где $\overline{c_c} = \sqrt{3kT/m_c}$ – среднее значение относительной скорости броуновского движения кристаллов в движущемся потоке [10];

k – постоянная Больцмана;

T – температура потока;

m_c – масса кристалла.

Количество соприкосновений

$$Z = V \cdot N,$$

где N – количество кристаллов в единице объёма.

Учитывая, что все кристаллы в потоке движутся со средней скоростью $\overline{c_c}$, следует использовать среднюю скорость движения относительно других кристаллов

$$\overline{c_{теq.}} = \overline{c_c} \cdot \sqrt{2}.$$

С целью сокращения записи закономерностей процесса коагуляции введем константу коагуляции

$$K = 4a^2 \cdot \bar{c}_c \cdot \sqrt{2}.$$

Чтобы не учитывать одно соприкосновение два раза, действительную константу коагуляции необходимо уменьшить вдвое:

$$K_r = \frac{K}{2} = 2a^2 \cdot \bar{c}_c \cdot \sqrt{2}.$$

Тогда количество соприкосновений в единицу времени

$$Z_r = 2a^2 \cdot \bar{c}_c \cdot \sqrt{2} \cdot N = K_r \cdot N.$$

Если умножить количество кристаллов в единице объёма на число соприкосновений в единицу времени, то получим количество кристаллов, которое уменьшилось в результате процесса коагуляции в единице объёма за единицу времени

$$\frac{dN}{dt} = -N \cdot Z_r = -K_r \cdot N^2.$$

Обозначим размер мелких и крупных кристаллов a_s и a_l соответственно. Движущийся мелкий кристалл соприкоснется с неподвижными (как допущение) крупными кристаллами в пределах параллелепипеда с объёмом в единицу времени:

$$V = (a_s + a_l)^2 \cdot \bar{c}_{cs}.$$

Учитывая скорость крупных кристаллов, можно вычислить среднюю скорость броуновского движения кристаллов различных размеров:

$$\bar{c}_{c\,avg} = (\bar{c}_{cs} + \bar{c}_{cl})/2.$$

Действительную константу коагуляции можно представить как

$$K_r = (a_s + a_l)^2 \cdot \frac{\bar{c}_{c\,avg}}{2}.$$

Количество соприкосновений мелких кристаллов с крупными (число мелких кристаллов, центры которых лежат внутри параллелепипеда) в единицу времени

$$Z_r = K_r \cdot N_s.$$

Умножая количество крупных кристаллов в единице объёма на число столкновений с ними мелких кристаллов в единицу времени, получим число мелких кристаллов, которые исчезнут в процессе коагуляции с крупными кристаллами в единице объёма за единицу времени

$$\frac{dN_s}{d\tau} = -N_l \cdot Z_r = -K_r \cdot N_s \cdot N_l. \quad (1)$$

Условия для осуществления процесса коагуляции кристаллов диоксида углерода. Когда число исчезающих мелких кристаллов dN_s сопоставимо с их количеством N_s. Когда число dN_s на несколько порядков

меньше числа N_s, то существенного сокращения этой группы мелких кристаллов не произойдёт.

Стоит отметить, что в проточной части детандера образуются кристаллы-зародыши с размером грани куба a, равными $3a_m$ и $2a_m$ (a_m – параметр молекулярного кристалла диоксида углерода) [5]. Количество кристаллов в единице объёма, образующихся в различных сечениях проточной части, колеблется от $1 \cdot 10^4$ (кристаллы с параметром $a = 3a_m$) до $1 \cdot 10^{18}$ (кристаллы с параметром $a = 2a_m$). Количество образующихся кристаллов в единице объёма можно обозначить как N_s.

Следует рассматривать рост кубического кристалла с параметром a. Принимается предположение, что выросший в результате коагуляции кристалл будет также иметь кубическую форму (равновесную с газовой фазой). Тогда кристалл с параметром $2a$ будет состоять из 8 кристаллов с параметром a (к кристаллу с параметром a должно присоединиться еще 7 таких же кристаллов), кристалл с параметром $3a$ – из 27 кристаллов и т.д. Если обозначить параметр выросшего кристалла na, где n – положительное целое число больше единицы, то количество кристаллов с параметром a, которое должно к нему присоединиться, можно выразить как $n^3 - 1$ (коагуляция кристаллов одного размера).

В действительности размер присоединяемых кристаллов будет меньше, чем a. Если параметр мелких кристаллов будет в f раз меньше, чем a, т.е. a/f, то для увеличения кристалла с параметром a до размера na потребуется присоединение к нему мелких кристаллов в количестве $(n^3 - 1) \cdot f^3$.

Например, количество кристаллов с параметром $a/2$, которое необходимо присоединить к кристаллу с параметром a с целью его увеличения до параметра $2a$, будет составлять величину $(2^3 - 1) \cdot 2^3 = 56$.

Учитывая количество крупных кристаллов N_l, можно вычислить количество необходимых для их роста мелких кристаллов:

$$dN_s = (n^3 - 1) \cdot f^3 \cdot N_l. \qquad (2)$$

Если величина dN_s, определяемая по уравнению (2), окажется больше, чем величина dN_s, выраженная из уравнения (1), то рост крупных кристаллов в результате коагуляции не произойдёт.

Результаты расчёта процесса коагуляции для кристаллов диоксида углерода. В качестве примера выбраны кристаллы диоксида углерода, образующиеся и растущие в процессе расширения газовой смеси, содержащей 10% CO_2, в центростремительном турбодетандере с давления 200 kPa до давления 110 kPa [5]. Величины основных параметров процесса кристаллообразования, необходимые для расчёта коагуляции, приведены в таблице 1. К этой таблице следует привести несколько пояснений:

– в сечении 6 проточной части турбодетандера впервые появляется значимое число кристаллов-зародышей;

– после сечения 11 процесс образования и роста кристаллов завершается;

– подстрочная надпись «*s*» относится к кристаллам-зародышам, образовавшимся в рассмотренных сечениях;

– подстрочная надпись «*l*1» относится к кристаллам, образовавшимся в предыдущих сечениях и выросших в рассматриваемых сечениях;

– подстрочная надпись «*l*2» относится к кристаллам, образовавшимся за два сечения до рассматриваемого;

– подстрочные надписи «*l*3», «*l*4», «*l*5» относятся к кристаллам, образовавшимся за три, за четыре и за пять сечений до рассматриваемого, соответственно.

Таблица 1. Расчётные параметры кристаллов диоксида углерода в различных сечениях проточной части

№ п/п	Параметры, размерность	Сечения					
		6	7	8	9	10	11
1	$a_s \cdot 10^9, m$	1,701	1,700	1,132	1,131	1,131	1,131
2	$a_{l_1} \cdot 10^9, m$	–	6,848	7,262	5,821	6,084	6,210
3	$a_{l_2} \cdot 10^9, m$	–	–	18,620	20,360	18,282	19,233
4	$a_{l_3} \cdot 10^9, m$	–	–	–	38,971	43,230	40,894
5	$a_{l_4} \cdot 10^9, m$	–	–	–	–	68,702	75,411
6	$a_{l_5} \cdot 10^9, m$	–	–	–	–	–	106,404
7	$N_s, 1/m^3$	$2{,}33 \cdot 10^5$	$0{,}44 \cdot 10^5$	$4{,}55 \cdot 10^{17}$	$1{,}99 \cdot 10^{17}$	$0{,}79 \cdot 10^{17}$	$0{,}73 \cdot 10^{17}$
8	$N_{l_1}, 1/m^3$	–	$2{,}33 \cdot 10^5$	$0{,}44 \cdot 10^5$	$4{,}55 \cdot 10^{17}$	$1{,}99 \cdot 10^{17}$	$0{,}79 \cdot 10^{17}$
9	$N_{l_2}, 1/m^3$	–	–	$2{,}33 \cdot 10^5$	$0{,}44 \cdot 10^5$	$4{,}55 \cdot 10^{17}$	$1{,}99 \cdot 10^{17}$
10	$N_{l_3}, 1/m^3$	–	–	–	$2{,}33 \cdot 10^5$	$0{,}44 \cdot 10^5$	$4{,}55 \cdot 10^{17}$
11	$N_{l_4}, 1/m^3$	–	–	–	–	$2{,}33 \cdot 10^5$	$0{,}44 \cdot 10^5$
12	$N_{l_5}, 1/m^3$	–	–	–	–	–	$2{,}33 \cdot 10^5$
13	$m_s \cdot 10^{24}, kg$	7,891	7,887	2,278	2,334	2,332	2,332
14	$m_{l_1} \cdot 10^{22}, kg$	–	5,160	6,164	3,179	3,627	3,866
15	$m_{l_2} \cdot 10^{20}, kg$	–	–	1,038	1,360	0,986	1,148
16	$m_{l_3} \cdot 10^{19}, kg$	–	–	–	0,954	1,303	1,104
17	$m_{l_4} \cdot 10^{19}, kg$	–	–	–	–	5,232	6,922
18	$m_{l_5} \cdot 10^{18}, kg$	–	–	–	–	–	1,944
19	$\bar{c}_{c_s}, \frac{m}{s}$	29,523	29,297	53,383	52,977	52,607	52,535
20	$\bar{c}_{c_{l_1}}, \frac{m}{s}$	–	3,622	3,286	4,540	4,218	4,081
21	$\bar{c}_{c_{l_2}}, \frac{m}{s}$	–	–	0,800	0,694	0,809	0,749
22	$\bar{c}_{c_{l_3}}, \frac{m}{s}$	–	–	–	0,262	0,223	0,242
23	$\bar{c}_{c_{l_4}}, \frac{m}{s}$	–	–	–	–	0,111	0,096
24	$\bar{c}_{c_{l_5}}, \frac{m}{s}$	–	–	–	–	–	0,058

До наибольшего размера вырастут первые образовавшиеся кристаллы диоксида углерода (в сечении 6), когда достигнут последнего сечения 11. Такие же выводы справедливы и для массы кристалла. В восьмом сечении начинают образовываться чуть более мелкие кристаллы, однако их количество возрастает многократно (на 12 порядков).

В таблице 2 приведены расчётные показатели количества более мелких кристаллов, которые должны исчезнуть в результате коагуляции с более крупными кристаллами, причём кристаллы, обозначенные как «*l*1», будут более мелкими относительно кристаллов «*l*2», кристаллы «*l*2» будут более мелкими относительно кристаллов «*l*3» и т.д. Эти показатели должны быть сопоставлены с количеством самих более мелких кристаллов, представленных в таблице 1.

Например, в сечении 7 при коагуляции с кристаллами «*l*1» в единице объёма должно исчезнуть $5{,}12 \cdot 10^{-10}$ кристаллов «*s*», в то время как в этом сечении в единице объёма находится $0{,}44 \cdot 10^{5}$ таких кристаллов, т.е. на 14 порядков больше. Поэтому в этом сечении существенного сокращения более мелких кристаллов в результате коагуляции не произойдёт. В том же сечении 7 количество кристаллов «*s*», которое должно присоединиться к кристаллам «*l*1» для увеличения их параметра *a* в два раза, определяется по уравнению (2) и составляет в единице объёма $1{,}066 \cdot 10^{8}$, что больше числа самих этих кристаллов (более чем на три порядка), и тем более больше, чем количество мелких кристаллов, которое может сократиться в результате коагуляции (более, чем на 17 порядков).

Таблица 2. Параметры взаимодействия групп кристаллов диоксида углерода

№ п/п	Группы кристаллов	Параметры, размерность	Сечения				
			7	8	9	10	11
1	*s* – *l*1	$\Delta N_s/\Delta\tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	$6{,}20 \cdot 10^{-6}$	$2{,}01 \cdot 10^{7}$	$6{,}28 \cdot 10^{19}$	$1{,}16 \cdot 10^{19}$	$4{,}40 \cdot 10^{18}$
		$\Delta N_s, \frac{1}{m^3}$	$5{,}12 \cdot 10^{-10}$	$1{,}76 \cdot 10^{3}$	$5{,}92 \cdot 10^{15}$	$1{,}18 \cdot 10^{15}$	$5{,}05 \cdot 10^{14}$
2	*s* – *l*2	$\Delta N_s/\Delta\tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	$5{,}58 \cdot 10^{8}$	$5{,}46 \cdot 10^{7}$	$1{,}81 \cdot 10^{20}$	$3{,}18 \cdot 10^{19}$
		$\Delta N_s, \frac{1}{m^3}$	–	$4{,}91 \cdot 10^{4}$	$5{,}15 \cdot 10^{3}$	$1{,}85 \cdot 10^{16}$	$3{,}66 \cdot 10^{15}$
3	*s* – *l*3	$\Delta N_s/\Delta\tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	$9{,}90 \cdot 10^{8}$	$9{,}10 \cdot 10^{7}$	$7{,}73 \cdot 10^{20}$
		$\Delta N_s, \frac{1}{m^3}$	–	–	$9{,}34 \cdot 10^{4}$	$9{,}28 \cdot 10^{3}$	$8{,}88 \cdot 10^{16}$
4	*s* – *l*4	$\Delta N_s/\Delta\tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	$1{,}18 \cdot 10^{9}$	$2{,}49 \cdot 10^{8}$
		$\Delta N_s, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	$1{,}21 \cdot 10^{5}$	$2{,}86 \cdot 10^{4}$

5	*s* – *l*5	$\Delta N_s / \Delta t, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	–	$2{,}58 \cdot 10^{9}$
		$\Delta N_s, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	–	$2{,}97 \cdot 10^{5}$
6	*l*1 – *l*2	$\Delta N_{l_1} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	$7{,}06 \cdot 10^{-6}$	$1{,}81 \cdot 10^{7}$	$6{,}74 \cdot 10^{19}$	$1{,}23 \cdot 10^{19}$
		$\Delta N_{l_1}, \frac{1}{m^3}$	–	$6{,}19 \cdot 10^{-10}$	$1{,}70 \cdot 10^{3}$	$6{,}88 \cdot 10^{15}$	$1{,}41 \cdot 10^{15}$
7	*l*1 – *l*3	$\Delta N_{l_1} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	$2{,}55 \cdot 10^{8}$	$2{,}38 \cdot 10^{7}$	$8{,}62 \cdot 10^{19}$
		$\Delta N_{l_1}, \frac{1}{m^3}$	–	–	$2{,}40 \cdot 10^{4}$	$2{,}42 \cdot 10^{3}$	$9{,}90 \cdot 10^{15}$
8	*l*1 – *l*4	$\Delta N_{l_1} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	$2{,}80 \cdot 10^{8}$	$2{,}44 \cdot 10^{7}$
		$\Delta N_{l_1}, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	$2{,}86 \cdot 10^{4}$	$2{,}80 \cdot 10^{3}$
9	*l*1 – *l*5	$\Delta N_{l_1} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	–	$2{,}41 \cdot 10^{8}$
		$\Delta N_{l_1}, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	–	$2{,}77 \cdot 10^{4}$
10	*l*2 – *l*3	$\Delta N_{l_2} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	$8{,}67 \cdot 10^{-6}$	$1{,}97 \cdot 10^{7}$	$8{,}09 \cdot 10^{19}$
		$\Delta N_{l_2}, \frac{1}{m^3}$	–	–	$8{,}18 \cdot 10^{-10}$	$2{,}00 \cdot 10^{3}$	$9{,}30 \cdot 10^{15}$
11	*l*2 – *l*4	$\Delta N_{l_2} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	$1{,}84 \cdot 10^{8}$	$1{,}67 \cdot 10^{7}$
		$\Delta N_{l_2}, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	$1{,}88 \cdot 10^{4}$	$1{,}91 \cdot 10^{3}$
12	*l*2 – *l*5	$\Delta N_{l_2} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	–	$1{,}47 \cdot 10^{8}$
		$\Delta N_{l_2}, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	–	$1{,}69 \cdot 10^{4}$
13	*l*3 – *l*4	$\Delta N_{l_3} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	$1{,}08 \cdot 10^{-5}$	$2{,}30 \cdot 10^{7}$
		$\Delta N_{l_3}, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	$1{,}10 \cdot 10^{-9}$	$2{,}64 \cdot 10^{3}$
14	*l*3 – *l*5	$\Delta N_{l_3} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	–	$1{,}72 \cdot 10^{8}$
		$\Delta N_{l_3}, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	–	$1{,}97 \cdot 10^{4}$
15	*l*4 – *l*5	$\Delta N_{l_4} / \Delta \tau, \frac{1}{m^3 \cdot s}$	–	–	–	–	$1{,}31 \cdot 10^{-5}$
		$\Delta N_{l_4}, \frac{1}{m^3}$	–	–	–	–	$1{,}51 \cdot 10^{-9}$

По результатам расчёта процесса коагуляции кристаллов диоксида углерода, образующихся при расширении газовой смеси с начальными параметрами: давлением 200 kPa и концентрацией диоксида углерода 10%, можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее значимо возможное сокращение более мелких кристаллов произойдёт в сечении 10 при взаимодействии групп кристаллов «*s* – *l*2», где из всего количества (в единице объёма) кристаллов «*s*», равного $7{,}9 \cdot 10^{16}$, могут исчезнуть $1{,}85 \cdot 10^{16}$, то есть 23%.

Но для увеличения хотя бы в 2 раза размера а кристаллов «*l*2» потребуется число кристаллов «*s*» (в единице объёма), равное $1{,}35 \cdot 10^{22}$, что почти на 6 порядков больше их количества в этом сечении. Поэтому даже это взаимодействие групп кристаллов не приведёт к росту более крупных кристаллов. Можно предположить, что количество кристаллов «*s*», которое способно к коагуляции с кристаллами «*l*2», но которого не хватает для увеличения размера кристаллов «*l*2», будет участвовать в формировании кристаллов «*l*1» в следующем сечении (наряду с другими кристаллами «*s*» в рассматриваемом сечении).

2. Во всех обозначенных сечениях проточной части взаимодействие всех групп кристаллов не приведёт к росту более крупных кристаллов за счёт присоединения к ним более мелких кристаллов, а количество способных к коагуляции мелких кристаллов незначительно.

Дальнейшие исследования будут посвящены расчётам процесса коагуляции кристаллов диоксида углерода, образующихся при расширении газовых смесей с иными начальными параметрами и в других расширительных машинах, что позволит оценить влияние коагуляции в условиях иных скоростей образования и роста кристаллов.

Литература

1. Данилов, М.М., Смирнов, А.С. Основные характеристики формирования твёрдой фазы диоксида // Бюллетень Международной академии холода. 2014. № 2. С. 37–40.

2. Данилов, М.М. Анализ процесса кристаллизации диоксида углерода в потоке часть центрипетального турбо расширителя // Научный журнал ню ИТМО. Последовательность: Холодильная техника и кондицирование. 2015. № 4. С. 18–23.

3. Сапожков, С.Б. Арендателева, С.И. Ушакова, О.В. Определение минимального толщины защитного покрытия и длительной сварки в углекислом газе // Серия конференций ВГД: Материаловедение и инженерия. Т. 656 (012046), Великий Новгород, 2019.

4. Ли, Xiang-Yu, Брандербург, А., Хауген, Н.Е.Л., Svensson, G. Eulerian and Lagrangian approaches to multi-dimensional condensation and collection / J. Adv. Модель. Земная Система, 2017. Ви. 9, № 2. С. 1116–1137.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Швецовым И.В.

УДК 621.91
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.38

ВЛИЯНИЕ МИКРО- И НАНОДОЗ СОТС НА ПРОЦЕСС ЛЕЗВИЙНОГО РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Михеева Ю.В., Никитин Д.Г.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s234641@std.novsu.ru
E-mail: s233246@std.novsu.ru

THE INFLUENCE OF MICRO- AND NANODOTS LUBRICATING AND COOLING TECHNOLOGICAL MEANS (LCTM) ON THE PROCESS OF BLADE CUTTING OF MATERIALS

Mikheeva Yu.V., Nikitin D.G.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s234641@std.novsu.ru
E-mail: s233246@std.novsu.ru

Аннотация. Повышение работоспособности режущих инструментов и качества обработанных поверхностей в процессах лезвийной обработки металлов во многом определяется интенсивностью адгезионных взаимодействий между трибосопряженными поверхностями инструментального и обрабатываемого материалов. Это обусловлено высокой химической активностью образующихся в процессе стружкоотделения ювенильных поверхностей в трибосопряженном контакте. Как показывают теория и практика, одним из основных механизмов влияния на величину адгезии является формирование на границе раздела инструмент – обрабатываемый материал разделительных смазочных плёнок путём введения в контактную зону внешних технологических средств (lubricating and cooling technological means – *LCTM*).
Ключевые слова: *микродоза, резание металлов, лезвийная обработка.*

Abstract. Improving the performance of cutting tools and the quality of the processed surfaces in the processes of metal blade processing is largely determined by the intensity of adhesive interactions between the tribo-conjugated surfaces of the tool and the processed materials. This is due to the high chemical activity of the juvenile surfaces formed in the process of chip separation in tribo-conjugated contact. As shown by theory and practice, one of the main mechanisms of influence on the amount of adhesion is the formation of separation lubricant films at the interface between the tool and the processed material by introducing external technological means (lubricating and cooling technological means – LCTM) into the contact zone.
Keyword: *the micro dose, cutting metals, cutting edge treatment.*

Согласно теории радикально-цепного механизма, ювенильные поверхности, образованные при трении и резании металлов, не только проявляют большую активность к физической адсорбции и химическим реакциям, но и излучают поток энергетических частиц (электронов, квантов излучения), интенсивность которого максимальна в момент вскрытия слоёв. Эти частицы оказывают существенное влияние на протекание химических процессов, происходящих на контактных поверхностях режущего инструмента и обрабатываемого материала.

Это положение было неоднократно подтверждено как непосредственно авторами настоящей работы, так и другими отечественными и зарубежными исследователями и производственниками. Так, проведёнными исследованиями по влиянию на процесс резания распылённых lubricants and coolants было установлено, что для обеспечения смазочного действия достаточно подавать 0,5–3,0 г/час распылённого масла или 50–150 г/час распылённой водоэмульсионной lubricants and coolants (1 г распылённой жидкости имеет такую же поверхность, какую имеют 27 кг нераспылённой). При изучении влияния воды на процесс резания стали было установлено, что капля воды оказывает на процесс резания такое же действие, как струя с расходом в несколько литров.

В рамках данной работы под качеством инструментальных материалов понимаем соответствие контролируемых параметров физико-механических характеристик инструментальных материалов тем величинам, которые определяют эксплуатационные свойства металлорежущего инструмента или, сравнивая которые между собой, можно отдать предпочтение тем, которые имеют преимущества в эксплуатационных свойствах [1]. В работе также использован подход и программная среда, которые позволяют в сравнении с другими указанными подходами и программными средами более точно моделировать напряжённое состояние материала инструмента и, тем самым, повысить точность проектирования параметров инструмента под конкретные условия эксплуатации [2].

Нашими исследованиями [3, 4], направленными на изучение смазочной способности наноразмерных йодсодержащих структур, предварительно сформированных в поверхности инструментов, зафиксировано значительное улучшение характеристик процесса резания и повышение работоспособности быстрорежущих инструментов на различных операциях механической обработки (рисунок 1).

Второй вывод основывается на том положении, что объём смазочных плёнок, образованных в результате радикально-цепных реакций, должен быть достаточным для осуществления смазочного действия, т.е. находится в прямой зависимости от количества в контактной зоне активных атомов и радикалов. При прочих одинаковых условиях концентрация активных частиц определена энергией связи в молекулах внешней среды и работой выхода электрона компонентов *LCTM*.

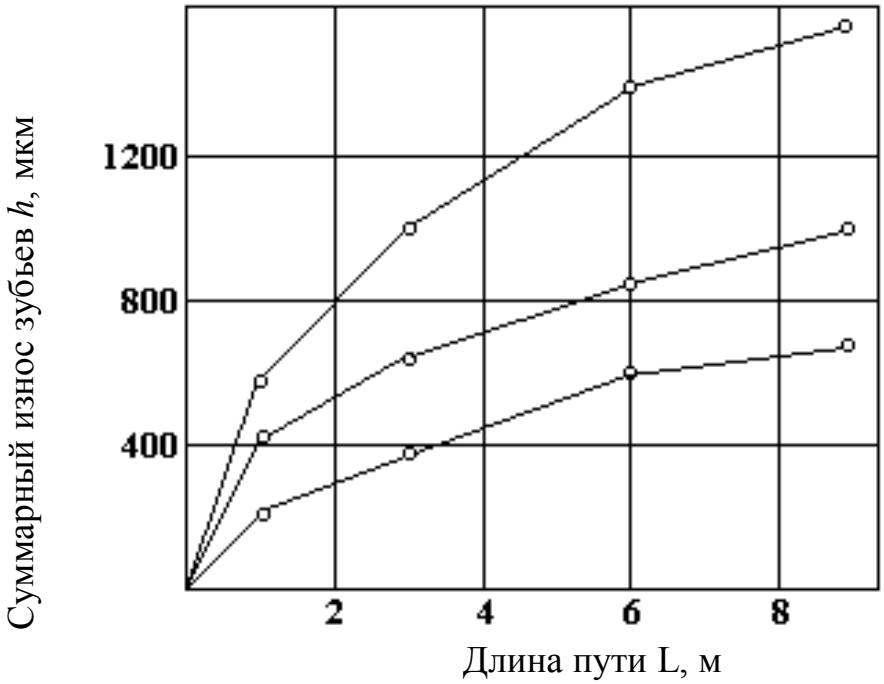


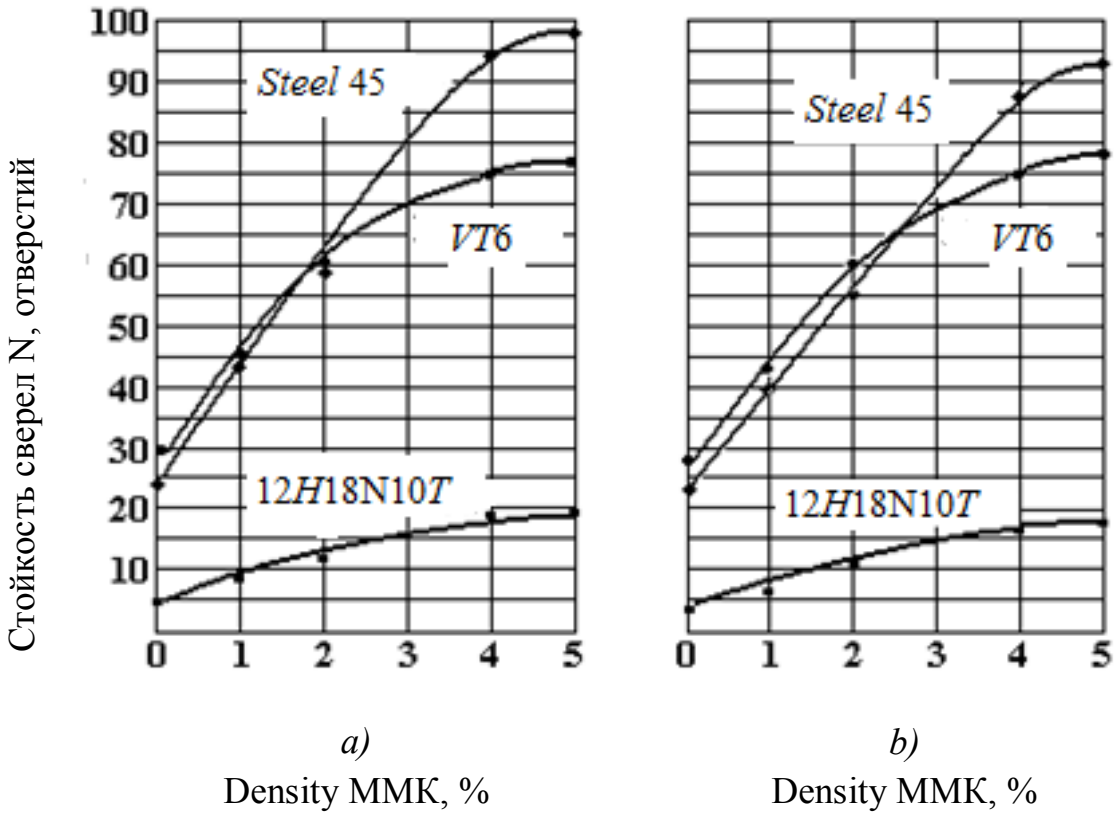
Рисунок 1. Динамика изменения суммарного износа зубьев фрезы из стали *P*9 от длины пути резания при фрезеровании пазов в углеродистой стали *U*8 без применения *LCTM*: *1* – без дополнительного упрочнения; *2* – упрочнённых химико-термической обработкой; *3* – упрочнённых химико-термической обработкой с дополнительным введением в насыщающую атмосферу паров йода в количестве 0,05%, V = 1,6 м/с, S = 315 мм/мин

Так, на рисунке 2 представлены результаты исследований по использованию в качестве технологического средства микродоз *LCTM*, каждая из которых имела оболочку из непроницаемого для нее материала – в виде микрокапсул, размеры которых варьировались в пределах от 1 до 45–50 мкм. Для повышения эффективности такой *LCTM* микрокапсулы были наделены возможностью направленного движения к режущему клину инструмента. В ходе исследований установлено, что оптимальный расход микрокапсул находился в пределах 5,5–8,5 г/час. Таким образом, уменьшение количества подаваемой в контактную зону *LCTM*, по сравнению с традиционно используемыми средствами, составило более чем 10 000 раз. При этом было зафиксировано увеличение в 1,5–2,0 раза стойкости инструментов.

Задача по интенсификации образования реакционных частиц в контактной зоне была решена посредством предварительной передачи отдельным элементам технологической среды энергии путём воздействия на *LCTM* различными физическими и химическими методами – физическая и химическая активация *LCTM* [3].

Основные составные части воздуха можно подразделить на три группы: постоянные, переменные и случайные. К первым относятся кислород (порядка 21%), азот (около 78%) и инертные газы (около 1%). Содержание этих компонентов практически не зависит от места взятия

пробы. Ко второй группе относится углекислый газ (0,02–0,04%) и водяной пар (до 3%). Содержание случайных составных частей (третья группа) зависит от местных условий. Часто бывают примешаны продукты работы промышленности и транспорта, продукты жизнедеятельности биологических объектов (микроорганизмов, растений, животных и т.п.).



a) Density ММК, %

b) Density ММК, %

Рисунок 2. Зависимости стойкости сверл из стали *R6M5* от концентрации микрокапсул в носителе: *a*) при V = 4,71 м/мин; *b*) при V = 6,28 м/мин

Установлено, что наличие влаги в воздухе способствует значительному повышению стойкости режущих инструментов, причем максимальное увеличение наблюдается при низкой концентрации водяных паров (рисунок 3). Предварительная активация увлажнённого воздуха коронным разрядом приводит к еще большему повышению стойкости инструментов.

Анализ представленных на рисунке 4 экспериментальных кривых показывает, что использование в качестве *LCTM* увлажнённого воздушного потока приводит к уменьшению глубины искажения матричной структуры обрабатываемого материала. Это можно интерпретировать как уменьшение силы сцепления при адгезии. Одновременно в экспериментах фиксировалось и уменьшение микротвёрдости искаженного стоя, что показывает на количественное уменьшение точек схватывания контактных поверхностей.

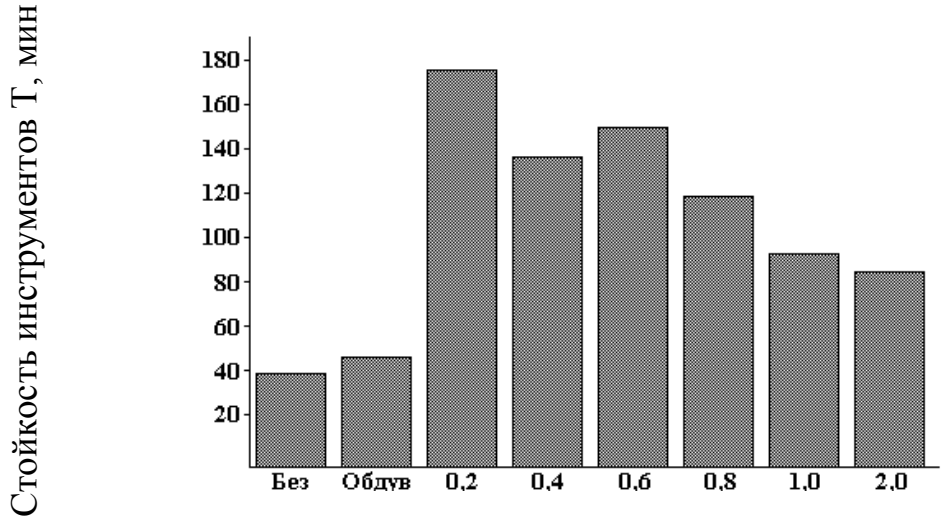


Рисунок 3. Стойкость быстрорежущего инструмента при резании стали 45 с обдувом контактной зоны увлажнённым воздухом V = 1,2 м/с, t = 0,5 мм, S = 0,1 мм/об

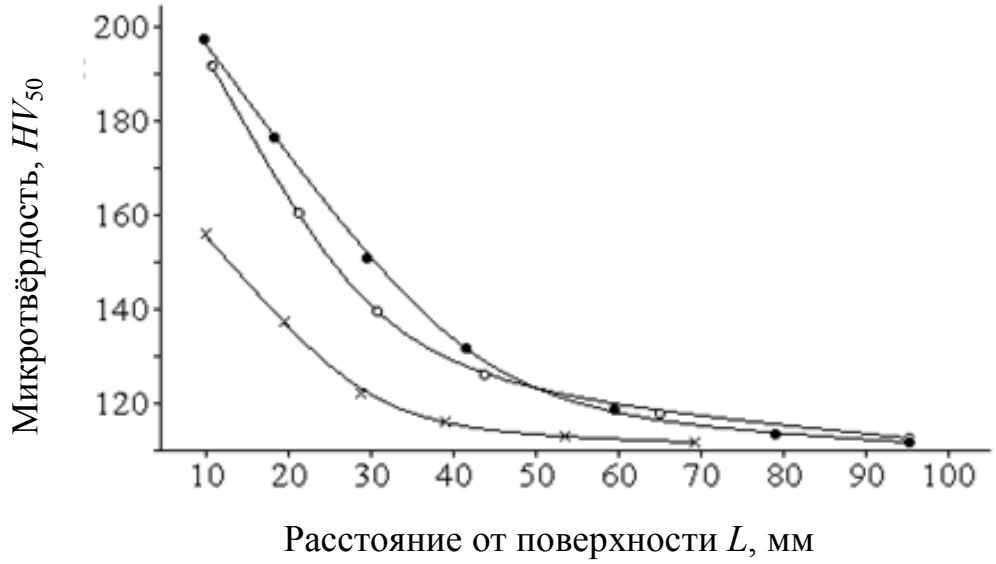


Рисунок 4. Изменение величины и микротвёрдости зоны пластической деформации при точении титана *VT*1-0, V = 0,5 м/с, t = 0,5 мм, S = 0,1 мм/об.: ● – без *LCTM*, ○ – обдув сжатым воздухом, × – обдув сжатым воздухом, обогащенным парами воды

Подобное улучшение характеристик зоны резания и стойкости инструментов наблюдается и в случае введения в воздушный поток органики – индустриального масла *I*-20*A* в концентрациях 0,1–1,0 г/час. Отмечено повышение стойкости резцов, уменьшение утолщения стружки и шероховатости обработанной поверхности. При прочих одинаковых условиях проведённых экспериментов можно констатировать, что

введение в состав воздуха микродоз органических веществ с высокой смазочной способностью улучшает трибологическое состояние контактной зоны. На рисунке 5 представлена трибограмма процесса трения по схеме диск–диск стали 45 по стали 45, закалённой до твёрдости 57 единиц по *HRC*. Как следует из рисунка, введение в состав воздушного потока масла *I*-20*A* в количестве 0,5 г/час эффективно уменьшает момент трения (зона «*b*») по сравнению с трением всухую (зона «*a*») до величины, соизмеримой с аналогичным показателем для 100%-ного масла *I*-20*A*. Предварительная ионизация воздушно-масляного потока (зона «*c*») приводит к дальнейшему уменьшению момента трения и одновременно улучшает динамику процессов контактного взаимодействия, стабилизируя его.

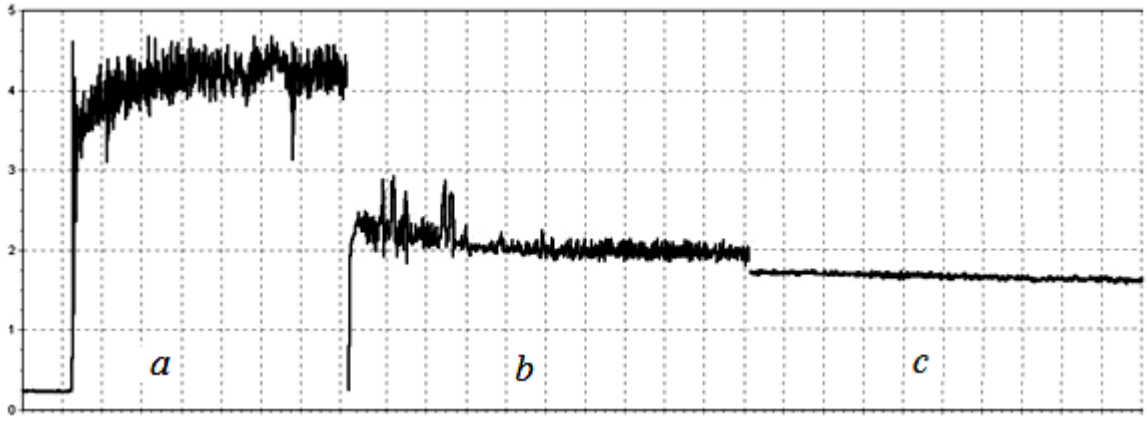
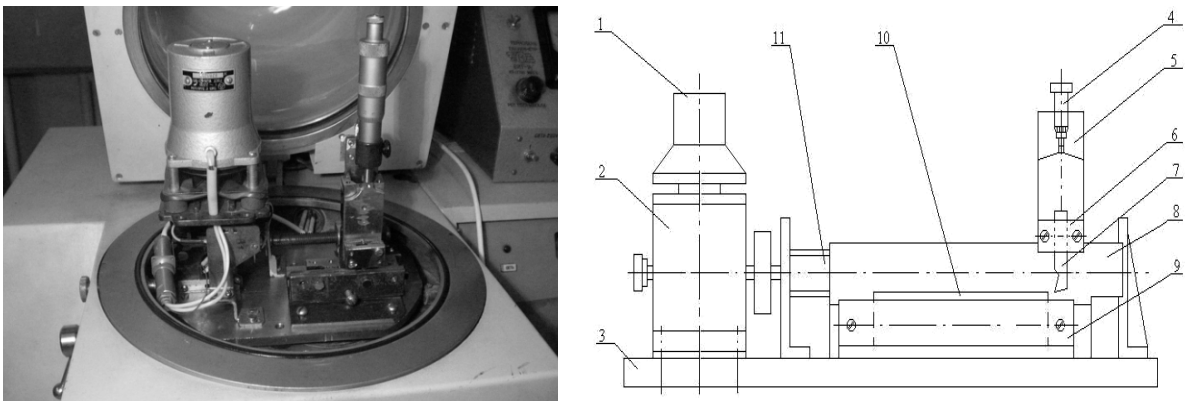


Рисунок 5. Трибограмма момента трения стали 45 по стали 45 закалённой при нагрузках: a) 2,6 *MPa*; b), c) 3,6 *MPa*; $V = 0{,}5$ м/с

Изучение влияния основных компонентов воздуха (кислорода и азота), а также их количества, на параметры процесса резания при строгании проводилось на авторской установке, размещённой под вакуумным колпаком вакуумного поста *VUP*-4 (рисунок 6). Вращение от электродвигателя 1 через понижающий редуктор 2 передаётся на приводной вал 11, который представляет собой винт с гайкой. При вращении вал приводит в поступательное движение гайку с закреплённой на ней горизонтальной направляющей 8. На этой направляющей закреплена пластина с вертикальной направляющей 5, на которой при помощи зажимов 6 установлен резец 7, вертикальное перемещение которого регулируется микрометрическим винтом 4. Исследуемый образец 10 крепится неподвижно на плите основания 3 зажимами 9.

В качестве исследуемых материалов использовались сталь 45, аустенитная нержавеющая сталь 12*H*18N10*T*, титановый сплав *VT*1-0. Образцы представляли собой пластины толщиной 0,8 мм. Резание осуществлялось резцами из быстрорежущей стали *R*6*M*5 при скорости резания $V = 2$ мм/с и глубине резания $t = 0{,}05$ мм.

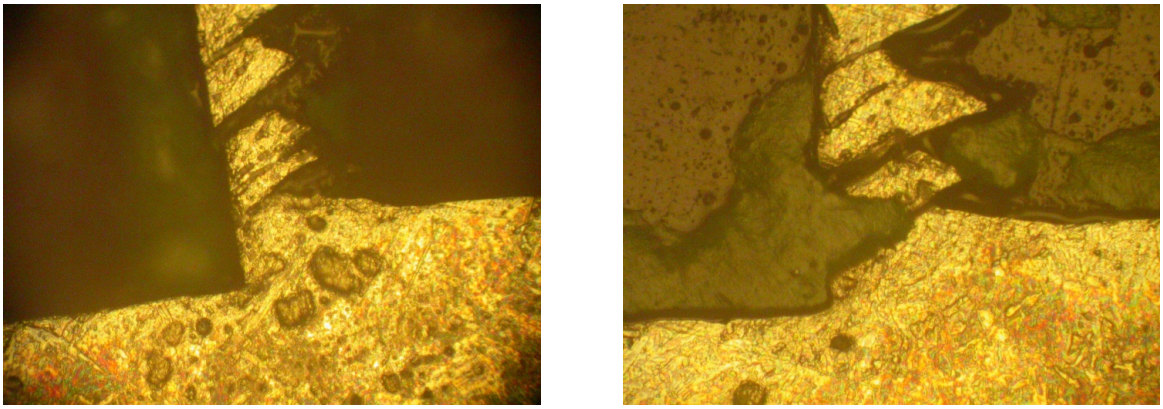


а) *б*)

Рисунок 6. Внешний вид (*а*) и схема установки (*б*)
для резания в контролируемой атмосфере

В ходе исследований было установлено, что изменение вида газообразного *LCTM* и его количества оказывает заметное влияние на процессы стружкоотделения и характеристики процесса резания.

На рисунке 7 представлены снимки корней стружек, полученные методом падающего резца при точении титанового сплава *VT*1-0. Из фотографий следует, что уменьшение давления в вакуумной камере, а следовательно, количества потенциального смазочного материала (в данных случаях воздуха), существенным образом приводит к увеличению коэффициента утолщения стружки ξ и уменьшению условного угла сдвига β.



а) *б*)

Рисунок 7. Фотографии корней стружек, полученные при свободном точении в вакуумной камере сплава *VT*1-0 резцом из стали *R*6*M*5 при использовании в качестве *LCTM* воздуха: *а*) при нормальном давлении; *б*) при давлении 10^{-5} мм рт. ст.; $V = 2$ мм/с, $t = 0{,}1$ мм (× 300)

Более поздними исследованиями, проведёнными авторами настоящей работы, установлено, что в данном случае при описании физико-химических процессов в контактной зоне следует учитывать тот факт, что количество азота более чем в 3 раза превышает концентрацию кислорода [4].

Настоящими исследованиями установлено, что применение (по отдельности) и кислорода, и азота в качестве *LCTM* оказывает заметное влияние на процессы стружкоотделения (рисунок 8).

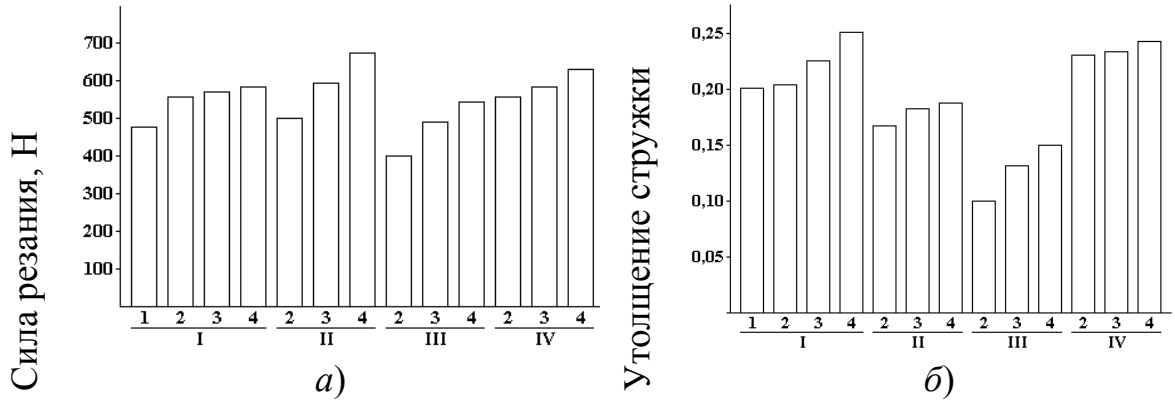


Рисунок 8. Результаты исследований сил резания (*а*) и утолщения стружки (*б*) при свободном точении в вакуумной камере стали 45 при использовании в качестве *LCTM* воздуха (I), кислорода (II), азота (III), гелия (IV) при давлении: 1 – нормальном, $2 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст., $3 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст., $4 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. V = 2 мм/с, t = 0,1 мм

Определено, что количество дополнительно вводимых микрокапсул зависит от марки обрабатываемого материала. Так, при точении сталей 40Х и 12*H*18*N*10*T* эффективная концентрация озонсодержащих микрокапсул в составе применяемой *LCTM* (дистиллированной воды) составила 4%, для сплава *VT*5-1 – 2%, *VT*6 – 1%.

В случае использования в качестве *LCTM* азота (рисунок 8) отмечены минимальные значения сил резания и коэффициента утолщения стружки. Результатом физико-химических превращений является образование в контактной зоне нитридных соединений типа $Fe_{2\text{-}3}N$ (ξ- и ε-*фазы*) с решётками ортогонального и гексагонального типа. Это установлено электронной микроскопией методом реплик, извлечённых с прирезцовой стороны стружки. Экспериментами не выявлено наличия кубической γ'-*фазы* (Fe_4N). По-видимому, это связано с достаточно узкой областью гомогенности данной фазы в системе *Fe-N* либо ее количество очень мало. Одновременно с этим электронограммами зафиксированы новые фазы на передней поверхности резца, расшифровка которых показала присутствие отдельных включений нитридных соединений типа Fe_nN_m, в своём большинстве так же имеющих решетку гексагонального структурного типа.

Образованные нитридные фазы должны способствовать улучшению трибологической обстановки контактной зоны, что и зафиксировано в проведённых исследованиях. С другой стороны, образование нитридных фаз неизбежно приведёт к повышению поверхностной твёрдости, а это, в свою очередь, изменит процесс стружкоотделения, переводя его в сторону резания более хрупких материалов, для которых характерно уменьшение

величины продольной усадки стружки, ее уширения и утолщения, что и представлено на рисунке 8, *б*.

Относительно невысокие силы резания (примерно на уровне воздуха), зафиксированные в случае использования гелия, по нашему мнению, обусловлены следующим. Малые размеры гелия (1,37 Å), например, по сравнению с молекулой азота (4,45 Å), позволяют ему достаточно свободно проникать в поверхность обрабатываемого материала.

Таким образом, проведёнными исследованиями установлено, что для эффективного воздействия на трибологическую обстановку контактной зоны при резании металлов требуемое количество внешних технологических средств может быть значительно сокращено.

Литература

1. Создание алгоритма улучшения рабочих поверхностей инструмента с использованием компьютерного моделирования / А.И. Круглов, Ю.М. Зубарев, Д.В. Желнов, И.В. Швецов // Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия: материалы конференции ISPCIET-2019. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования, НовГУ. 2019. С. 012028.
2. Швецов, И.В., Мокрицкий, Б.Ю., Желнов, Д.В. Технологический метод оценки качества адгезии покрытия к основанию инструментального материала при вдавливании с выдержкой времени нагружения образца ВГД // Серия конференций: Материаловедение и техника: материалы конференции ИСПЦИЭТ 2019. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования, НовГУ. 2019. С. 012047.
3. Латышев, В.Н., Наумов, А.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства: справочник // Смазочно-охлаждающие технологические средства: руководство / под общ. ред. Л.В. Худобина. М.: Машиностроение. 2006. 543 с.
4. Особенности формирования вторичных структур на трибосопряженных металлических поверхностях с участием ионизированного воздуха / В.Н. Латышев, А.Г. Наумов, Л.И. Минеев, Н.А. Демьяновский // Металлообработка. 2007. № 1. С. 9–12.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Швецовым И.В.

УДК 004.93+72.01
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.39

АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОСТРАНСТВО КАК ЭЛЕМЕНТ ЭСТЕТИКИ ВИДЕОИГРЫ

Орлов А.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s6njin@gmail.com

ARCHITECTURAL ENVIRONMENT AS AN ELEMENT OF VIDEO GAME AESTHETICS

Orlov A.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s6njin@gmail.com

Аннотация. В статье представлено описание разработки виртуальной среды в видеоиграх и аргументы, почему этой частью работы может заниматься архитектор. Также анализируется взаимное влияние индустрии видеоигр и реального мира, в частности в архитектуре.
Ключевые слова: *видеоигры, архитектура, виртуальные пространства, проектирование.*

Abstract. The article describes the development of a virtual environment in video games and the reasons why an architect can do this part of the work. It also analyzes the mutual influence of the video game industry and the real world, in particular in architecture.
Keywords: *videogames, architecture, virtual environment, design.*

Видеоигры являются весьма перспективным направлением индустрии развлечений, развивающимся на стыке с актуальными научными знаниями в различных областях, а также в сотрудничестве с уже утвердившимися формами искусства. Является ли видеоигра, как таковая, формой искусства – вопрос, скорее, открытый и спорный (подробно о статусе видеоигры в современной культуре говорится в докладе Брайана Мориарти), однако очевидно, что игры включают в свой собственный язык определённые виды и элементы классических искусств: текстовый сценарий, режиссуру, музыкальное и графическое оформление, дизайн персонажей и игровых пространств [1].

Крупные проекты требуют огромного штата сотрудников: художники, композиторы, писатели, самое главное – программисты, которые и создают конечный вид. Если разработчики видят необходимость, практикуется приглашение для участия в проекте

ландшафтного дизайнера и архитектора – профильного специалиста в области архитектурного пространства, искусственной окружающей среды. Безусловно, игра может вовсе не иметь реалистичной визуализации, музыкального или даже художественно-графического оформления, но это, скорее, исключения из правил. Зачастую создают проработанное, выверенное с точки зрения визуального восприятия, физических свойств, современных или исторических стилевых трендов игровое пространство, так называемый «дизайн уровней», который представляет значимую и непосредственно воспринимаемую составляющую эстетики видеоигры. Для такой работы подбирают архитекторов, способных создавать несуществующие контексты, генерировать объекты, сооружения, пространства на основе абстрактных идей или геймплейного повествования, готовых принять и признать ценности и правила виртуальных условностей, способных осваивать и учитывать некоторые элементы и принципы, используемые разработчиками на стадии планирования, разработки концепции, стратегии игры [2].

Современные крупные проекты имеют открытые миры, с которыми может взаимодействовать игрок, а проектирование игрового пространства схоже с действительным и даже имеет больше свободы. Для того, чтобы создать как можно более удобное игровое пространство, к проектам привлекаются практикующие архитекторы, часто даже не имеющие отношения к видеоигровой индустрии, так как штатный художник студии может не иметь должного уровня компетенций. Возможность привлечения специалистов в области архитектуры в область проектирования видеоигр обусловлена общностью подходов, композиционных принципов, свойственных всем видам пространственных и пластических искусств без исключения. Именно общность художественного выразительного языка обеспечивает взаимную интеграцию разных областей.

По опыту основательницы дизайнерской студии FOURM, и одной из тех, кто отвечает за архитектуру в The Witness, Дианны Ван Бюрен (Deanna Van Buren), привлекая архитектора и дизайнера к работе над игрой, команда приобретает специалиста, имеющего опыт в концептуальной разработке, способного работать в итеративном цикле и мыслить критически, воспринимать пространство с точки зрения пользовательского опыта, вникать в геймплейные концепции. Глубокие познания архитектора в создании трёхмерного окружения помогают в разработке геймплея, который обеспечивает более высокий уровень погружения геймера в мир игры. Полезным для разработчиков видеоигры является также опыт архитектора в общении с заказчиками и с профессионалами из других сфер, что облегчает процесс коммуникации. Прогресс в развитии игровых движков, технологий рендеринга, виртуальной реальности и других аспектах делает вклад архитекторов в разработку цифровой среды – как

реалистичной, так и фантастической – более ценным, чем когда-либо прежде [3].

Архитекторы и ландшафтные дизайнеры понимают, что любая постройка привлекает внимание в контексте своего окружения. Нельзя заниматься дизайном зданий без учёта ландшафта, частью которого они являются [3]. Для создания качественного пространства имеет значение буквально всё: с какой стороны находится север, где встает в игровом мире солнце, каков «природный» ландшафт, какие материалы для строительства в нём могут иметься. Важно также то, что в игровой, как и в естественной реальности средовые объекты имеют свою историю, поэтому недостаточно просто смоделировать архитектуру, антураж и стаффаж в стиле какой-то одной эпохи, важно отобразить и те изменения, перестройки, разрушения, которые происходили в игровой среде «с течением времени» и возникли к моменту присутствия персонажа в игре. Разработчики игр могут отобразить такой «ход времени» в разных элементах повествования, используя одну и ту же локацию, «изменённую временем» по ходу игрового действия.

Ландшафтный архитектор способен помочь разработчикам отобразить взаимодействие ландшафта и зданий, разнообразие геологических формаций и биологических зон, направить внимание геймера на элементы игры. Разработчики игр могут довольно хорошо воспроизводить элементы существующих зданий, однако продвинутым уровнем, в котором нужно участие архитектора, является разработка «архитектурных объектов» в стилистике самой игры и под потребности игрового мира. В случае выполнения этого условия не понадобится маскировать огрехи при помощи «кустов», «камней» и других подобных неструктурированных и случайных элементов.

Архитектор, владея знаниями строительных конструкций, применения материалов и принципов строительства, поможет разработчикам избежать в проектировании интерьеров и экстерьеров таких досадных нестыковок, как, например, каменные колонны, возведенные на деревянном полу, или сочетание нескольких случайно примененных материалов в одном сооружении, которое в реальности разрушится под воздействием естественных физических факторов, а в игре призвано изобразить древнюю и надёжную крепость.

Создание эффектных архитектурных «пародий» или же отсылок к реальным памятникам архитектуры, которые успешно практикуются разработчиками видеоигр, требует серьёзных интеллектуальных усилий. Тут может помочь знание истории искусств, игра с пропорциями, масштабностью, работа с открытыми или замкнутыми пространствами. Необходимо просчитывать, какое ощущение у игрока должно вызывать данное пространство: нужно, чтобы игрок мог легко ориентироваться или, наоборот, требуется создать ощущение запутанности. Отличным примером

служит игра «Mirror’s Edge», в ней представлен огромный хай-тек мегаполис из стеклянных небоскрёбов, но как игрок должен понять, с чем ему взаимодействовать, если всё окружение белое и минималистичное, а геймплейной особенностью является «паркур» по крышам небоскрёбов? Решить эту задачу помогают правильно расставленные колористические акценты, например, белое здание с зеркальными панелями и ярко-красный рекламный щит, за который игрок может зацепиться.

Важное значение в восприятии игрового пространства приобретают переходы и окружение. Игроку не обязательно заходить в каждое здание или взаимодействовать с любой деталью, но они должны создавать целостную атмосферу. В качестве примера можно привести игру «Bloodborne», конкретно локацию «Ярнам», которая представляет собой многоуровневый город с готической архитектурой, хотя сам сеттинг игры – викторианская эпоха. Этим сочетанием авторы создают особую атмосферу и погружение в историю. Многие игры не имеют «открытых миров» (когда из одной локации в другую есть непосредственный открытый переход), но такой элемент даёт множество инструментов для передачи среды; например, игрок, переходя из тёмной и жуткой локации, через специальный портал попадает в светлую и яркую, тем самым контраст усиливает ощущения от обеих.

Помимо самих зданий, объектов, городов в игре, как и в реальности, имеет значение и пустое пространство. Пустота, промежутки между предметами и объектами, где действует персонаж, являются такими же полноправными элементами проектирования. Необходимо простроить внутренние связи объектов, способы перемещения персонажа в пустоте между ними, оценить пропорции, высотные доминанты, соотношение внутреннего пространства интерьера и экстерьера строения и многие другие сугубо профессиональные аспекты. Эти задачи стоят перед архитектором, в то время как дизайнер в игре в большей степени сосредоточен на персонаже. Выверенные взаимодействия качественного персонажа и детализированной среды требуют также отдельного внимания со стороны всех разработчиков.

Важное значение для восприятия игрового мира имеют детали: освещение, фактуры поверхностей, детали мебели, архитектурный декор. Их проработка отнимает много сил и времени, но позволяет создавать особое ощущение от пространства, либо делать его максимально приближенным к реальности, либо обобщённым, условным, но при этом обязательно выдержанном в общем стилевом русле. В некоторых играх, например Relativity, Mirror’s Edge, разработчики используют не только архитектуру и декор, антураж, ландшафтные элементы, но и различные инженерные конструкции, такие как электро- и теплосети, ясное и уместное применение которых способно производить благоприятное впечатление.

Необходимым элементом для целостного визуального образа пространства игры является цвет. Цвет как таковой и цвет в пространстве городской среды, восприятие и воздействие цветовой среды на зрителя и/или пользователя являются неотъемлемой компетенцией архитектора и дизайнера. Ещё одним средством организации архитектурного пространства игры является модульность, которая позволяет, как в реальной архитектуре, создавать простые для восприятия, но в то же время эффектные объёмы.

Таким образом, привлекая к разработке дизайна игрового мира профессионалов в сфере архитектуры, разработчики получают доступ к огромному пулу возможностей сделать свой продукт более качественным. И эти усилия нельзя назвать неоправданными. *Переоценить роль архитектуры в игре сложно. Она выполняет много функций, формируя своеобразную игровую эстетику.* Архитектура задаёт условия и рамки, разметку окружения, в котором происходят события в игре, заменяет законы физического мира [4]. В симуляторах реальности (Assassin's Creed, GTA5) архитектура вызывает у игрока ощущение, что выдуманный мир максимально похож на настоящий.

Здания в реальном мире укрывают нас от погоды, создают приватность, помогают организовать жизнь общества. Всего этого не нужно в видеоиграх – физический мир там лишь условность. Поэтому роль архитектуры в видеоиграх одновременно и проще – это лишь театральный задник, – и сложнее, потому что она действует и на поле смыслов.

У видеоигр есть свой особый язык, и архитектура в нём становится выразительным средством. Свобода видеоигр как жанра открывает большое пространство для создания различного рода метафор. При этом сила высказывания часто оказывается сильнее, чем в других медиа. В студиях геймдизайна для этого есть специальный термин – процедурная риторика. В отличие от вербальной и визуальной, процедурная риторика оперирует погружением в деятельность. Мы понимаем идею, участвуя в ней [4]. Архитектура тоже становится частью идеи. Так, в классической серии игр Bioshock действие разворачивается в подводном утопическом городе. Отделённое толщей воды от остального мира, городское пространство становится метафорой полной изоляции, сквозь которую почти не проникает свет, звуки и альтернативные идеи.

Иначе проявляет себя архитектурное пространство в играх-исследованиях: в Gone Home мы ходим по пустому дому, пытаясь разобраться, куда делась семья главной героини, и только виртуальный дом способен подтвердить или опровергнуть возникающие версии. Архитектура как таковая может стать сутью игры. Классический пример – Minecraft, игра, где надо придумывать и создавать миры из типового набора блоков, решая при этом не только эстетические вопросы, но и практики использования этих зданий, людей, которые будут реализовывать

эти практики, их взаимоотношения. Это полноценная архитектурная задача.

В игровом пространстве архитектор в большей степени свободен, главная цель – создавать нужную игре атмосферу, в реальном же проектировании всё упирается в инженерную составляющую, материалы и т.д. Возможно, полёт творческой мысли в виртуальных мирах впоследствии отразится и на реальном, способствуя развитию воображения, сплочённости и благополучию общества. Взаимное обращение реальной и игровой архитектуры потенциально могут давать новые решения и обеих областях.

Литература

1. Мориарти, Б. Оправдание Роджера Эберта. Доклад XXV Конференции Разработчиков Игр. Сан-Франциско. [Электронный ресурс]. URL: http://aushestov.ru/%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%B5%D0%BE%D0%B8%D0%B3%D1%80%D1%8B-%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0-%D0%BD%D0%B5-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83%D1%82-%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2/

2. Хохлов, В. Дизайн уровней в многопользовательских играх [Электронный ресурс]. URL: https://www.progamer.ru/dev/mpleveldesign.htm

3. Хохлов, В. Архитектура в играх. Как произвести впечатление [Электронный ресурс]. URL: https://www.progamer.ru/dev/architecture.htm

4. Кудрявцева, Е. Архитектура в игровом дизайне. Интернет-журнал о дизайне и архитектуре Berlogos [Электронный ресурс]. URL: http://www.berlogos.ru/article/arhitektura-v-igrovom-dizajne/

Статья рекомендована к печати
канд. пед. наук, доцентом Анфимовой Е.Б.

УДК 658.26:62-93
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.40

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СБРОСНОГО ТЕПЛА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И СОЗДАНИЕ ЕДИНОЙ СЕТИ ПАРА С ВЫРАБОТКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА СЧЁТ ПЕРЕПАДОВ ДАВЛЕНИЯ

Паршутин А.А., Петров А.Э.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s234469@std.novsu.ru
E-mail: s233531@std.novsu.ru

USING WASTE HEAT FOR HEAT SUPPLY AND CREATING A SINGLE STEAM NETWORK WITH POWER GENERATION DUE TO PRESSURE DIFFERENCES

Parshutin A.A., Petrov A.E.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s234469@std.novsu.ru
E-mail: s233531@std.novsu.ru

Аннотация. В современных экономических условиях внешние поставщики тепла зачастую в силу их монопольного положения становятся для предприятия-потребителя весьма дорогими, в силу чего возникает задача сокращения до минимума получение тепла от них, максимально используя собственные возможности. В настоящей статье рассмотрены на частном примере некоторые технические особенности использования сбросного технологического тепла на предприятии при переводе системы теплоснабжения предприятия на собственные источники тепла, а также создание единой сети пара с выработкой электроэнергии за счёт перепадов давления.
Ключевые слова: *тепло, энергия, перепад давления, пар, сеть.*

Abstract. In modern economic conditions, external heat suppliers often become very expensive for the consumer enterprise due to their monopoly position, which leads to the task of reducing heat production from them to a minimum, making maximum use of their own capabilities. In this article, some technical features of the use of process waste heat at the enterprise when transferring the heat supply system of the enterprise to its own heat sources, as well as the creation of a unified steam network with power generation due to pressure differences, are considered on a particular example.
Keyword: *heat, pressure drop, steam, network.*

1. Введение

Отказ от внешнего источника или существенное изменение количества получаемого от него тепла за счёт использования собственного ведёт к изменению топологии системы теплоснабжения. Очевидно, что сеть трубопроводов должна быть приведена в соответствие с новым

взаимным расположением источников и потребителей. В противном случае ее пропускная способность на отдельных участках может оказаться недостаточной для полного обеспечения теплом потребителей при имеющихся сетевых насосах. В соответствии с техническим заданием исследовалась возможность перевода системы отопления предприятия на собственные источники тепла, отказавшись от подогрева сетевой воды в бойлерной тепловой электростанции. При этом под собственными источниками тепла подразумевалась утилизация технологического тепла предприятия и существующая собственная котельная.

2. Объекты и методы исследования

2.1. Анализ возможности использования сбросного тепла для теплоснабжения предприятия.

Одной из частных задач была задача исследования возможности использования для отопления цехов сбросного технологического тепла этих цехов, а именно:

– в количестве 10 Гкал/час на каждом вводе абонентов 911 и 918 (здесь и далее нумерация абонентов соответствует принятой нумерации на предприятии) путём подогрева обратной сетевой воды при существующих расходах в данные корпуса, либо установкой специальной мини-бойлерной (рисунок 1);

– в количестве 40 Гкал/час по схеме мини-бойлерной с выдачей этого тепла на трубопроводе обратной сетевой воды объединенного потребителя 1015 (рисунок 2).

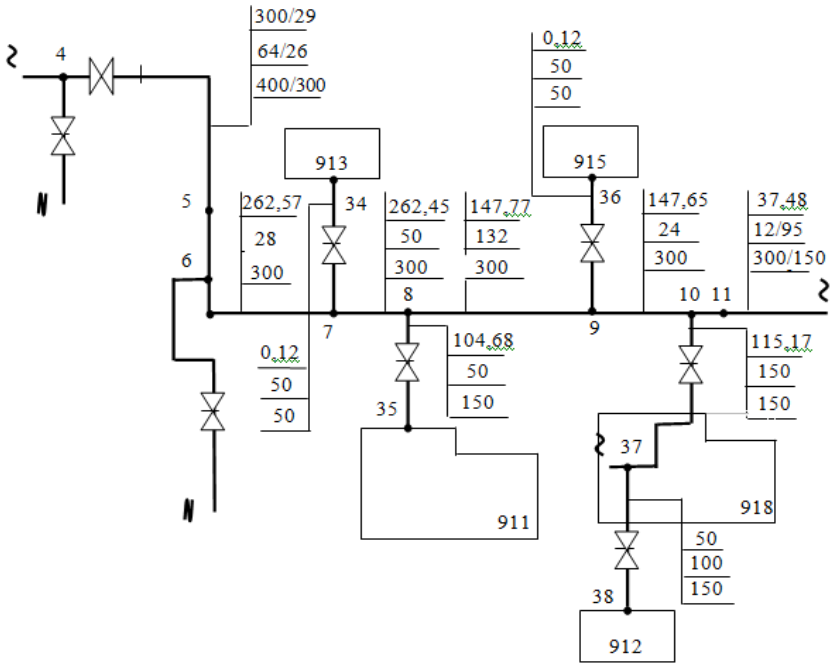


Рисунок 1. Участок схемы теплоснабжения в районе абонентов 911 и 918: (на рисунке: для упрощения показаны только трубопроводы обратной сетевой воды; цифры, приведённые на схеме столбиком, указывают сверху вниз величины расхода сетевой воды в т/час, длину данного участка трубопровода в м, диаметр трубы на данном участке в мм)

Как показало исследование, использование тепла абонентов 911 и 918 вполне возможно с учётом следующих теплотехнических особенностей данных абонентов.

При температурном графике 150/70 °С требуемые расходы сетевой воды абонентов 911 и 918 составляют, соответственно, 114,68 и 115,17 т/ч, и подвод тепла в количестве 10 Гкал/ч к каждому расходу даёт подогрев обратной воды около 87 °С.

При расчётном давлении на выходе из этих абонентов около 4 ата и соответствующей температуре насыщения 143 °С подогрев на 87 °С приводит к недопустимому вскипанию воды в течение большей части отопительного сезона.

Установка мини-бойлерной для абонентов 911 и 918 при пропуске через нее 250 т/ч воды технически осуществима, но вряд ли целесообразна, т.к. количество потребляемого тепла сетью зависит от температуры наружного воздуха, а количество сбрасываемого технологического тепла является независимой величиной. Поэтому большую часть отопительного сезона сбрасываемое тепло не может быть утилизировано сетью.

Наиболее рациональным решением задачи утилизации данного количества тепла является его подвод к обратной сетевой воде в местах сети с большим расходом. Такими ближайшими к абонентам 911 и 918 местами является участки трубопровода между узлами 4, 5, 6 и 6, 7 (рисунок 1), в которых номинальный (при температурном графике 150/70 °С) расход составляет, соответственно, 360 т/ч и 262,57 т/ч.

В случае установки теплообменника между узлами 4, 5, 6 подогрев сетевой воды составит всего 55,5 °С, и температура на выходе из подогревателя не превысит 125,5 °С, что даёт минимальное значение запаса до вскипания около 15 °С. При этом всё располагаемое тепло может использоваться в течение всего отопительного сезона.

Установка теплообменника на участке между узлами 6 и 7 при температурном графике 150/70 °С практически исключена из-за относительно малого расхода сетевой воды и невозможности, в связи с этим, предотвратить её вскипание.

Однако ситуация может измениться, если будет принят другой температурный график и расход воды изменится. Например, при температурном графике 115/70 °С расход сетевой воды через участок между узлами 6 и 7 станет равным 466,3 т/ч и величина подогрева воды снизится до 43 °С.

Более сложно организовать утилизацию 40 Гкал/ч в объединенном потребителе 1015 (рисунок 2).

Помимо нецелесообразности использования мини-бойлерной по указанным выше причинам решение этой проблемы усложняется еще необходимостью отвода 40 Гкал/ч большим расходом воды (550 т/ч при температурном графике 150/70 °С). В ближайшем участке главного

магистрального трубопровода имеющийся расход 126,9 т/ч значительно меньше.

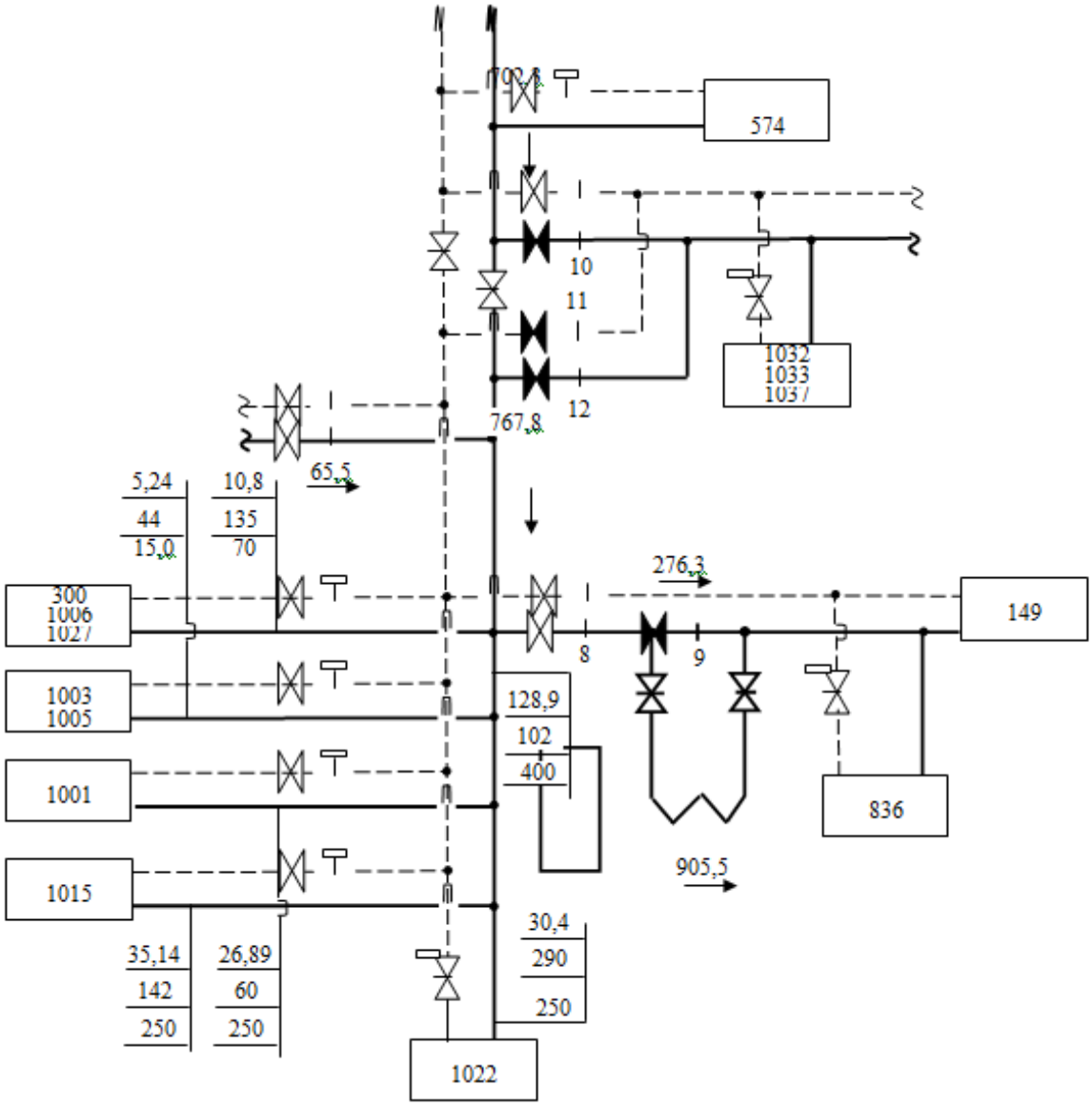


Рисунок 2. Участок схемы теплоснабжения в районе объединенного потребителя 1015

Единственно возможным решением является искусственное увеличение расхода воды через участки магистральных трубопроводов обратной воды, прилегающих к объединенному потребителю, с установкой на этих участках подогревателей сетевой воды.

Наиболее целесообразным решением представляется установка подогревателей на байпасе участка магистрального трубопровода обратной сетевой воды между запорной арматурой 8 и отводом воды к объединённому потребителю (1032, 1033, 1037) с перекрытием этого трубопровода задвижкой 9 и закрытием задвижек 10, 11, 12, как показано на рисунке 2. Благодаря указанным перекрытиям удаётся расход обратной сетевой воды через теплообменник увеличить со 140,2 т/ч до 905,5 т/ч. Для

повышения надёжности рекомендуется установка нескольких параллельно включённых подогревателей.

Указанное увеличение расхода сетевой воды через отдельные магистральные трубопроводы, по всей видимости, повлечёт за собой необходимость увеличения на отдельных участках диаметра труб.

2.2. К вопросу создания на предприятии единой сети пара 40 ата с выработкой электроэнергии за счёт перепадов давления 40/27/1,2 ата.

Одной из задач, поставленной при создании единой сети пара *Р*-40, было определение места врезки *ROU* 40/27 на конкретном участке с определением максимальной пропускной способности *ROU* при подаче пара с тепловой электростанции, отключенных потребителях *Р*-40 и противодавлении за *ROU* 29 ата.

При анализе установленного техническим заданием распределения расходов пара по потребителям пара *Р*-40 обращает на себя внимание большая величина расхода пара через *ROU* 40/27 (до 135 т/ч), что является ощутимой потерей потенциала.

Использование вместо *ROU* паровой турбины могло бы позволить снимать мощность, максимальная величина которой составляет:

$$N = G \cdot dh \cdot \text{КПД} = 2925 \text{ кВт},$$

где G = 375 кг/с (135 т/ч) – максимальный расход пара через турбину;

dh = 120 кДж/кг – теплоперепад на турбине в режимах с указанным расходом пара на *ROU*;

КПД = 0,65 – общий коэффициент полезного действия агрегата турбина-генератор (принят по аналогам).

Готовой паровой турбины такой или близкой мощности, выпускаемой отечественными предприятиями на параметры пара *ROU* 40/27, авторам не известно. Поэтому с реализацией идеи установки турбины вместо *ROU*, по всей видимости, возникнут трудности, т.к. придется разрабатывать проект новой турбины, что, естественно, в значительной степени удорожит её создание и, не смотря на очевидный экономический эффект, учитывая неустойчивую экономическую ситуацию в стране, приведёт к неприемлемому сроку окупаемости.

Что касается вопроса определения максимальной пропускной способности *ROU* при заданной техническим заданием геометрии трубопроводов и противодавлении за *ROU* 29 ата, то эта величина в первую очередь зависит от пропускной способности дроссельно-регулирующей арматуры, использованной в *ROU*. В стандартной *ROU*, ближайшей по своим характеристикам к условиям работы в составе заданной сети Р-40, максимальная пропускная способность дроссельно-регулирующего клапана 995-150 составляет:

$K_{V\max}$ = 282 м^3/ч, что при рассматриваемых режимах обеспечивает максимальный расход пара:

$$G = 3{,}6\sqrt{\frac{\Delta P \cdot F^2 \cdot 2}{\sum \zeta \cdot v}} = 96 \text{ т/ч},$$

где: ΔP = 12 кг/см^2 – заданный минимальный перепад давления между источником (тепловая электростанция) и потребителем (сеть П-27);

F = 0,07 м^2 – площадь проходного сечения трубы заданного диаметра на рассматриваемом участке;

v – м^3/кг, удельный объём пара на входе в дроссельно-регулирующий клапан *ROU*;

$\Sigma\varsigma$ – суммарный коэффициент гидравлического сопротивления трассы, приведённый к F = 0,07 м^2.

Определённый выше расход пара значительно меньше требуемого по заданию 135 т/ч. Однако следует обратить внимание, что заданный на *ROU* перепад давления 40/27 не характерен для *ROU* и может обеспечиваться не дроссельно-регулирующим клапаном, а обычным регулирующим, что сильно расширяет пропускную способность такого *ROU*.

В рассматриваемой задаче в качестве одного из возможных вариантов для дросселирования пара может быть рекомендован двухседельный регулирующий клапан 14*с*-76-64 Dy 400, при котором максимально обеспечивается пропуск 180 т/ч пара.

Оптимальное место врезки *ROU* для уменьшения гидравлических потерь на участке до него должно находиться непосредственно в точке 2.

Что касается установки вместо *ROU* турбогенератора, то тут следует заметить следующее. Учитывая значительную разницу параметров пара от разных производителей, в точке 2 перед турбогенератором необходима будет установка смешивающего устройства. Параметры пара в точке 2 после смешения будут составлять P = 32 ата, *ROU* = 411–417 ^{o}C. Для сравнения, номинальные параметры пара на входе серийных противодавленческих турбин на средние параметры аналогичного предприятия составляют P = 3,5 МПа, T = 435 ^{o}C, из чего следует, что при имеющих место параметрах такая турбина будет работать в нерасчётных режимах при низких к.п.д. При условии невозможности эксплуатации турбины при таких параметрах пара, возникает необходимость доработки турбин или разработка новой конструкции.

Суммарный расход пара на турбину от трёх производителей составляет 210–240 т/ч. Номинальный расход пара на противодавленческую турбину с перепадом 35/11 *MPa* и мощностью 6 МВт находится в пределах 90–100 т/ч, т.е. возможна установка двух турбин. Это даёт возможность при плановом ремонте одного из производителей пара эксплуатировать одну турбину на 100% мощности,

что экономически выгодней эксплуатации одной более мощной турбины на частичных нагрузках.

При схеме единой сети пара *Р*-40 с двумя турбинами представляется интересным вариант с установкой одной из турбин в непосредственной близости от производителей пара цеха *АК*-72 и котельной к. 1101, что даёт возможность избежать лишних теплогидравлических потерь при транспортировке пара к точке 2.

В схеме единой сети пара *Р*-40 с турбогенераторами необходимо предусмотреть наличие *РОУ*, установленных параллельно турбинам, которые будут обеспечивать потребителей пара пониженного давления при плановых или вынужденных остановах турбин. Для этого можно использовать существующие *РОУ*, а при необходимости предусмотреть установку новых. Наиболее удобным представляется расположить *РОУ* в непосредственной близости от турбин. В этом случае переключение подачи пара потребителям с турбины на *РОУ* не повлияет на режим работы остальной части сети пониженного давления.

Наличие в сети источника пара с пониженной температурой (агрегаты производства аммиака) в значительной степени снижает потенциал свежего пара перед турбиной. В связи с этим следует рассмотреть вариант использования пара с более высокой температурой на турбинах с рабочим перепадом 40/12 ата, а пар с более низкой температурой смешивать с паром с выхлопов турбин для получения пара 27 ата.

Выбор перепада давления на турбинах, их мощность и количество необходимо проводить с точки зрения обеспечения нужд производства в паре пониженного давления. Для этого необходимо провести анализ годовых графиков выдачи и потребления производствами пара *Р*-40, *Р*-27 и *Р*-12.

3. Выводы

1. На основе проведённого расчётного исследования обосновываются варианты наиболее рациональной организации использования сбросного технологического тепла цехов для нужд теплоснабжения предприятия с размещением подогревателей сетевой воды на магистральных трубопроводах с искусственным увеличением в отдельных случаях расхода сетевой воды через эти теплообменники.

2. При создании на предприятии единой сети пара *Р*-40 представляется целесообразным:

– в случае установки *РОУ* 40/27 вместо дроссельно-регулирующего клапана *РОУ* использовать двухседельный регулирующий клапан 14*с*-76-64 *Dy* 400, обеспечивающий требуемый расход пара;

– при использовании вместо *РОУ* турбогенератора, устанавливать два турбогенератора в непосредственной близости от производителей пара, а именно: у цеха *АК*-72 и котельной к. 1101.

Литература

1. Роль контрольно-измерительных приборов и систем управления в проектах повышения мощности атомных электростанций, 2008 г. (Австрия, Вена: МАГАТЭ) NP-T1. 3.
2. Модернизация проточного сечения цилиндра низкого давления к-500-6.4 / Н.Н. Давыденко, В.А. Соломеев и др. 3000 паровая турбина для увеличения ее мощности теплотехника 9. С. 21–25.
3. Активная зона реактора тепловой энергии неопределённость расчёта блока 1 2009 расчёт ООО Ле-0113 (генерирующая компания Экселон).
4. Коттон, К., Шофилд, П. Анализ изменений рабочих характеристик паровых турбин. Мощность машин и установок 2 62-72 ПП, 1971.
5. Конференция. Серия: Материаловедение и инженерия-общество – 2019. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого». 2019. С. 012008.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Швецовым И.В.

УДК 656.13+64.011.56
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.41

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПАРКОВКИ ДЛЯ АВТОПОЕЗДА

Петров Н.В.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: fenrir09214576@gmail.com

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC PARKING SYSTEM FOR ARTICULATED LORRY

Petrov N.V.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: fenrir09214576@gmail.com

Аннотация. В статье изложено исследование проблемы процесса движения автопоезда задним ходом в ограниченном пространстве. Проведён Customer Development. Исследуя рынок услуг, было представлено возможное решение. Показаны результаты разработки математической модели автопоезда
Ключевые слова: *парктроник, система парковки, автопоезд, автоматическая система, автопилот.*

Abstract. The article presents a study of the problem of the process of the movement of the road train in reverse in a limited space. Held by Customer Development. Exploring the service market, a possible solution was presented. Showing the results of the development of a mathematical model of the road train.
Keywords: *parking system, large-sized vehicle, automatic system, autopilot.*

Автопоезд – это крупногабаритное транспортное средство, требующее предельной осторожности и концентрации внимания при вождении (не путать с поездом!).

На этапе подачи заявки на грант было выявлено, что выполнение манёвра задним ходом – сложный процесс, требующий владения соответствующими профессиональными навыками и компетенциями на очень высоком уровне не только у водителей-новичков, но и очень опытных водителей.

Растёт количество автопоездов, участвующих в транспортировке грузов. Квалификация водителей не повышается, а наоборот – снижается. Система автоматической парковки автопоезда позволит автоматизировать или упростить процесс движения автопоезда задним ходом при постановке под погрузку/разгрузку (маневрировании автопоезда в условиях

ограниченного пространства), что существенно снизит время на выполнение данных манёвров и повысит безопасность движения. В настоящее время имеется задел в виде структурной схемы автоматической парковки автопоезда и программы расчёта кинематики движения автопоезда, которые были успешно загружены в микроконтроллер и, в данный момент, дорабатываются совместной работой программиста и инженера. В дальнейшем требуется более детальная проработка алгоритма управления системой автоматической парковки, выбор компонентной базы и опробация работы системы на макете или на реальном автомобиле.

Научная новизна предлагаемых в проекте решений объясняется разработкой структурной схемы и алгоритма управления системой автоматической парковки автопоезда. Систему планируется предлагать в виде дополнительной опции (Помощник при парковке) или же внедрять систему в автопилот автомобиля. Данного продукта нет на рынке услуг. На данный момент ведутся разработки автопилота для автомобиля «KAMAZ», так же немецкая фирма «ZF» демонстрировала на выставке IAA опытный образец автопоезда с системой автоматической парковки. Другой информации не имеется.

На текущий момент прямые аналоги разрабатываемой системы отсутствуют.

Основанием для выполнения работы стало решение проблемы парковки крупногабаритного транспортного средства задним ходом. Сложность выполнения маневра.

В ходе исследований и разработки системы автоматической парковки требуется выполнение следующих задач (часть которых уже выполнена):

- Разработка принципиальной схемы системы автоматической парковки.
- Разработка математической модели автопоезда (рисунок 1) и алгоритма управления системой.
- Выбор и приобретение датчиков для системы автоматической парковки.
- Разработка и изготовление макета автопоезда.
- Проведение макетных испытаний системы автоматической парковки автопоезда.
- Оптимизация алгоритма работы и параметров системы управления.

В ноябре 2019 года получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ: «Определение начального и конечного положения автопоезда при перпендикулярной парковке». Из работы, проведённой над созданием программы, был сделан вывод о том, что нужно написать аналогичную программу для параллельной парковки и добавить вариации для перпендикулярной, чтобы демонстрировать инвесторам разного уровня.

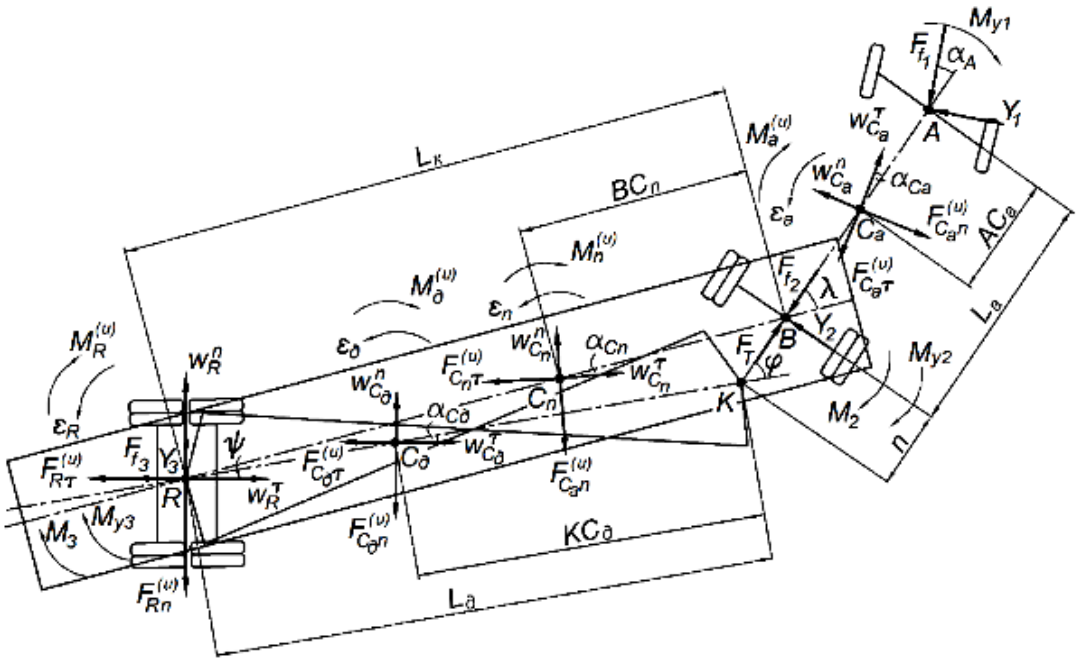


Рисунок 1. Математическая модель автопоезда

Подача заявки планируется в 2020 году.

Актуальность проблемы обусловлена:

1) сложностью постановки автопоезда задним ходом в ограниченное пространство;

2) отсутствием решений, предлагаемых на рынке;

3) жалобами заказчиков на наносимый ущерб автопоездами перевозчиков при постановке на место парковки, будь то магазины, склады или предприятия.

Подобные научные работы проводили и проводят с одиночными автомобилями в Стэнфордском университете еще в 2000, а также в Японии энтузиастами.

На первом этапе нашего подхода используется вариант хорошо известного алгоритма A* (Рисунок 2), примененного к кинематическому состоянию транспортного средства в пространстве, но при этом он изменяет состояние обновлённого состояния, которое захватывает данные непрерывного состояния в дискретных узлах поиска A*. Как и в обычном A*, пространство поиска (x, y, z) дискретизировано, но в отличие от традиционного A*, которое позволяет посещать только центры ячеек, наше гибридное состояние A* ассоциируется с каждой ячейкой сетки как непрерывное трёхмерное состояние транспортного средства. Гибридное состояние A* не гарантирует, что оно найдет решение с минимальными затратами из-за слияния непрерывных координат, которые занимают один и тот же элемент в дискретизированном пространстве. Тем не менее результирующий путь гарантированно является управляемым (а не кусочно-линейным, как в случае стандартного A*). Кроме того, на

практике решение гибридного A* обычно находится в окрестности глобального оптимума, что позволяет часто получать глобально оптимальное решение через вторую фазу нашего алгоритма.

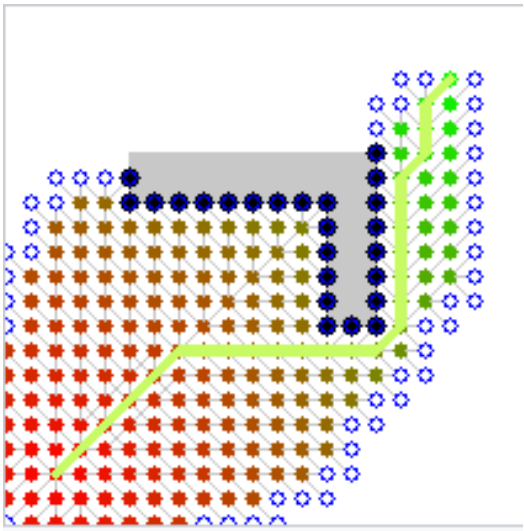


Рисунок 2. Иллюстрация алгоритма A*

Основное преимущество гибридного алгоритма A* или алгоритма Дейкстры проявляется в манёврах в ограниченном пространстве, где ошибки дискретизации становятся критическими. Наш алгоритм планирует движение вперёд и назад с учётом штрафов за движение задним ходом, а также за переключение направления движения.

Первый метод игнорирует препятствия, но учитывает неголономную природу автомобиля. Неголономная система – механическая система, на которую, кроме геометрических, накладываются и кинематические связи, которые нельзя свести к геометрическим, что позволяет добиться большей точности при расчётах и практическом их применении [6]. Чтобы вычислить его, мы предполагаем целевое состояние (xg, yg, zg) = (0,0,0) и вычисляем кратчайший путь к конечной точке (x, y, z) в некоторой дискретной окрестности цели, предполагая полное отсутствие препятствий. Эта стоимость является допустимой эвристикой. Затем в качестве нашей эвристики мы используем максимум неголономной стоимости без препятствий и двумерное евклидово расстояние. Эффект этой эвристики заключается в том, что он обрезает поисковые ветви, которые приближаются к цели с неправильными заголовками. Обратите внимание, что, поскольку эта эвристика не зависит от информации от датчика времени выполнения, она может быть полностью предварительно вычислена из «простого» и «просто переведённого» и «повернутого» для достижения текущей цели. В наших экспериментах в реальных сценариях вождения эта эвристика обеспечивала почти на порядок увеличение числа

узлов, увеличенных по сравнению с прямыми затратами на евклидово расстояние 2D.

Второй метод игнорирует неголономную природу автомобиля, но использует карту препятствий для вычисления кратчайшего расстояния для достижения цели динамического программирования в 2D. Преимущество этой эвристики состоит в том, что она обнаруживает все U-образные препятствия и тупики в 2D, а затем направляет более дорогой 3D-поиск в сторону от этих областей.

Пути, создаваемые гибридным алгоритмом A*, всё ещё неоптимальные и достойны дальнейшего совершенствования. Эмпирически мы находим, что такие пути являются управляемыми, но могут содержать неестественные отклонения, которые требуют ненужного управления. Поэтому мы в процессе изучения и использования гибридного алгоритма A* будем применять двухэтапную процедуру оптимизации. Реструктурировав программу с помощью нелинейной оптимизации на координаты вершин пути, мы улучшаем длину и плавность, а следовательно, и точность парковки задним ходом.

Итогом исследований стала программа, позволяющая определить начальное и конечное положение автопоезда (соответственно до и после парковки), а также траекторию движения с возможными подстройками (в случае неудачной попытки), что сокращает время парковки на 35% (заявлено 30–40%), увеличивается точность парковки ~ 0,1 м, снижается время простоев в 1,5 раза (из-за уменьшенного времени, требуемого для совершения манёвра задним ходом).

При постановке на место парковки видно, в какую сторону нужно крутить рулевое колесо и как «выкручивать» колёса для максимально точной постановки на нужное место парковки, в том числе в ограниченном пространстве. Система рекомендуется для создания помощника для парковки (бюджетный вариант) или внедрение в автопилот.

При работе с полученной математической моделью выяснилось, что использовать дешёвые датчики типа ARDUINO – нецелесообразно ввиду того, что никто не будет инвестировать в подобные дешёвые датчики. Следовательно, будут использованы заявленные – РЕАЛЬНЫЕ датчики. Также при оптимизации математической модели при использовании нового алгоритма A* было предусмотрено решение, позволяющее заменить большое количество датчиков на лидар (контролирует как ближнюю зону вокруг автомобиля, так и дальнюю при минимизации интерференции с другими машинами).

Это приводит к увеличению точности парковки до 0,05–0,1 м ввиду того, что лидар строит цельные проекции того, что вокруг. Это даёт колоссальное преимущество в сравнении с ультразвуком.

После защиты 1 года выполнения проекта по гранту «УМНИК» была разработана математическая модель движения автопоезда при перпендикулярной парковке (рисунок 3) и закуплены устройства и

компоненты для сборки первого образца (или прототипа) устройства для парковки.

Для прототипа используется микрокомпьютер (для обработки и вывода информации, полученной с датчиков), датчики-дальномеры (точные измерения до 4 метров с использованием угла 45 градусов), камера с инфракрасным датчиком (обзор такой камеры 170 градусов, что позволит полностью контролировать пространство для парковки автопоезда, а также обладает ночным видением). Установка камеры предусмотрена на верхней части прицепа автопоезда, для защиты от загрязнения и большей области обзора (как в играх Euro truck simulator и подобных).

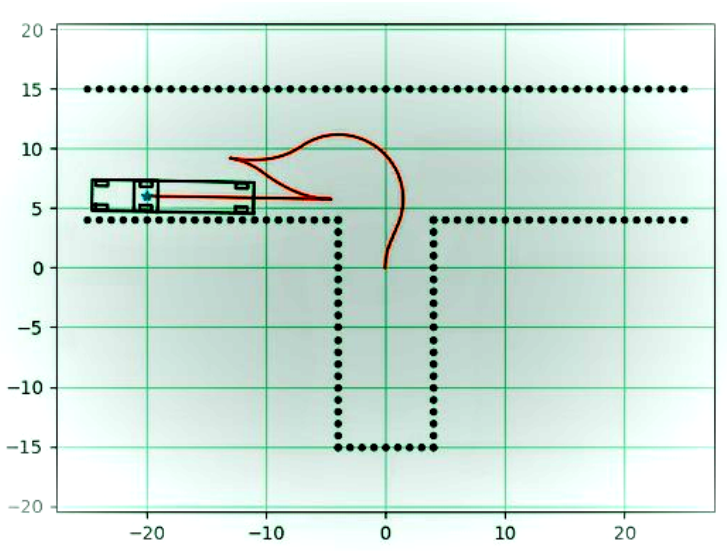


Рисунок 3. Разработанная математическая модель

Перед работой в системе MATLAB была разработана модель в «бумажном варианте» – кинематические схемы, формулы для расчётов и т.д.

Для удобства отображения и обработки данных используется сенсорный дисплей, который позволяет видеть наименования объектов, которые находятся в опасной зоне ввиду того, что в программном комплексе используется решение для распознавания любых объектов, в том числе и людей.

Рассматривая статистику, можно предположить, что разработка будет актуальна для отечественных автомобилей включительно, т.к. по данным аналитического агентства «Автостат» [1] и статистике ДТП [2] видно, что 4 из 5 позиций заняты автомобилями российского производства.

Также разработка решает проблему порчи имущества при выполнении манёвра задним ходом ввиду того, что количество «слепых» и опасных зон существенно уменьшено. Добавлена функция распознавания объектов.

Система автоматической парковки также позволит снизить количество ДТП ввиду помощи водителю путём использования

соответствующих датчиков и камеры на автопоезде, в частности на прицепной технике. Это позволит обеспечить видимость в слепых зонах пешеходов, предупредить водителя путём распознавания и звуковым сигналом, а также покажет нужный угол на приборной панели водителя при выполнении манёвра задним ходом (доп. опция без вмешательства в узлы и агрегаты автомобиля).

Предварительные итоги:

1. Создана математическая модель в системе MATLAB (для одиночного и для автопоезда);
2. Разработан индивидуальный алгоритм перпендикулярной и параллельной парковки автопоезда задним ходом;
3. Создана интернациональная команда по дальнейшей разработке программы;
4. Зарегистрирована интеллектуальная собственность;
5. Подобран и доработан программный комплекс;
2. Ведётся распайка и сборка устройства.

Данный проект был успешно защищен в программе «УМНИК» и нуждается в дальнейшей разработке и выходе на рынок.

В перспективе сотрудничество с крупными грузоперевозчиками.

Ввиду простой коммерционализируемости проекта он представляет собой экономически выгодное предложение для автомобильной промышленности, а в частности, перевозчиков и разработчиков автопилота.

Литература

1. Официальный сайт «Автостат» [Электронный ресурс]. URL: https://www.autostat.ru/news/
2. Официальный сайт статистики ДТП ГИБДД [Электронный ресурс]. URL: https://www.stat.gibdd.ru/
3. Neville Hogan. The mechanics of multi-joint posture and movement control // Biological Cybernetics, 1985. С. 243–251.
4. Павлов, В., Воронин, А.Н. Метод потенциальных функций для кодирования ограничений внешнего пространства интеллектуального мобильного робота. Советское автоматическое управление, 1984. С. 45–51.
5. Миядзаки, Ф., Аримото, С. Сенсорная обратная связь для роботов-манипуляторов // Журнал робототехнических систем, 1985. С. 53–71.
6. Официальный сайт Википедии [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0
7. Официальный сайт Википедии по алгоритму A* [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/A*

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Сапожковым С.Б.

УДК 621.357.6+004.356.2
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.42

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПРИНТЕРА ДЛЯ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ

Розова Т.М., Тихонов А.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: tatiana.akita@yandex.ru

MANUFACTURE OF ARTWORK ON A 3D-PRINTER FOR ELECTROPLATING

Rozova T.M., Tikhonov A.A.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: tatiana.akita@yandex.ru

Аннотация. Разработана гальванопластическая форма «Софийский собор» в программе 3D мах для печати на 3D-принтере с учётом требований, предъявляемым к таким формам. Гальванопластическая форма напечатана по технологии послойного термического укладывании АБС полимерной нити. Установлены причины возникновения некоторых видов брака при печати на 3D-принтере и способы их устранения. Для напечатанной на 3D-принтере формы предложена и опробована на образцах технологическая схема позитивной гальванопластики без операций травления и активации.
Ключевые слова: *3D-принтер, Софийский собор, гальванопластика, форма, меднение.*

Abstract. The electroplating form “Sophia Cathedral” was developed in the 3D max program for printing on a 3D-printer, taking into account the requirements for such forms. The electroplating form is printed using the technology of layer-by-layer thermal stacking of ABS polymer thread. The causes of some types of defects when printing on a 3D-printer and ways to eliminate them are established. A technological scheme of positive electroplating without etching and activation operations was proposed and tested on samples for a 3D-printed form.
Keywords: *3D-printer, St. Sophia Cathedral, electroplating, shape, copper plating.*

1. Введение

Гальванопластика основана на нанесении гальванических покрытий на форму. Существует негативная гальванопластика с отделением электроосаждённого металла от формы (негатива) и позитивная гальванопластика, в которой металл наносится на форму позитив и не всегда отделяется от формы. Одна из самых трудоёмких и длительных операций гальванопластики – операция изготовления формы. Существенно сократить время изготовления форм, уменьшить экономические затраты и получить эстетически привлекательное изделие позволит использование 3D-принтера. 3D-принтер – это устройство, которое создаёт изображение в

трёхмерном измерении. В 1988 году Скотт Крамп нашёл подход для осуществления трёхмерной печати – формование через декомпозицию плавящегося материала (FDM). На этом принципе сегодня работают почти все трёхмерные принтеры. Сам термин «трёхмерная печать» появился в 1995 году в недрах Массачусетского технологического института [1]. Технология 3D-печати, как правило, основывается на последовательном наращивании слоями объёмного предмета. Выбор технологии зависит, в первую очередь, от выбранного материала, условий дальнейшей эксплуатации изделия, а также от конфигурации печатаемого предмета. С каждым днём популярность 3D-технологий набирает стремительные обороты. Во многих отраслях промышленности всё чаще используются детали и образцы, полученные с помощью 3D-печати [2]. С развитием 3D-технологий и получением деталей более сложной конфигурации активно началось применение 3D-печати для изготовления художественных изделий из пластмасс. Однако пластмассы не лишены недостатков: низкая твёрдость, износостойкость и не всегда достаточные декоративные свойства. Устранить недостатки пластмасс и существенно улучшить их свойства можно с помощью позитивной гальванопластики электролитическими покрытиями. Покрытия позволяют сочетать положительные (ценные) свойства пластмасс со свойствами наносимых покрытий [3]. Цель данной работы: разработать 3D-модель художественного изделия для гальванопластики, учитывающую требования, предъявляемые к таким гальванопластическим моделям; напечатать модель на 3D-принтере; разработать технологию гальванической металлизации модели, более экономичную и экологически чистую по сравнению со стандартизированным химико-гальваническим процессом металлизации пластмасс.

2. Методика выполнения экспериментов и использованные материалы

Образцы изготавливали из акролонитрилобутадиенового полимера АБС: марки REC, углеродсодержащей пластмассы марки ABS CJNDUCTIVE и из бронзасодержащей пластмассы марки BFBronze. В пластмассе BFBronze содержание бронзы по массе составило 50% или по объёму немного больше 20%. Образцы имели форму круга диаметром 20 мм и толщиной 1 мм. Форма «Софийского собора» диаметром 5,5 см была напечатана из полимера АБС марки REC на 3D-принтере по технологии FDM, основанной на послойном термическом укладывании полимерной нити диаметром 1,75 мм. Для приготовления электролита меднения использовали дистиллированную воду и химически чистые химикаты. Электроосаждение покрытия осуществляли с помощью выпрямителя переменного тока со стабилизацией тока и защитой от короткого замыкания марки ВПТГ-3. Электроосаждение покрытий выполняли в лабораторной гальванической ванне с объёмом электролита 1 литр.

3. Результаты экспериментов и обсуждения

Основное внимание в данной работе было уделено разработке трёхмерной компьютерной модели «Софийский собор» для печати на 3D-принтере. Разработка модели осуществлялась в программе Autodesk 3ds max методом полигонального моделирования. Метод полигонального моделирования основан на манипуляциях с гранями, вершинами и рёбрами объектов. Было принято решение о разработке нескольких вариантов 3D-моделей, чтобы выбрать наиболее подходящую. Процесс разработки гальванопластической формы представлен на рисунках 1–4. Важным моментом было избежать голых полигонов. То есть модель должна обязательно иметь стенки, никаких односторонних полигонов и обязательно замкнутая, чтобы при следующем этапе при подготовке к печати избежать полых и проваливающихся частей. Перед экспортом осуществлялась проверка модели через модификатор STL Check, чтобы убедиться в отсутствии ошибок.



Рисунок 1. Построение 3D-модели

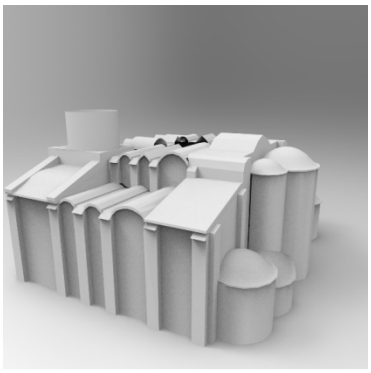


Рисунок 2. Проработка деталей



Рисунок 3. Объёмная 3D-модель Софийского собора

Объёмную модель Софийского собора (рисунок 3) очень сложно использовать в качестве модели для позитивной гальванопластики. Это связано с тем, что модель имеет трудно покрываемые гальваническим способом участки, а именно: близко расположенные тонкие и узкие детали; очень маленькие детали, углубления, выемки; высокие и острые

выступы. Такими высокими острыми выступами являются купола собора. Соответственно, при нанесении гальванических покрытий на них будет существенно увеличиваться катодная плотность тока, а это может привести к такому виду брака, как пригар. Значительно более технологичны модели в виде барельефов, представленных на рисунке 5.

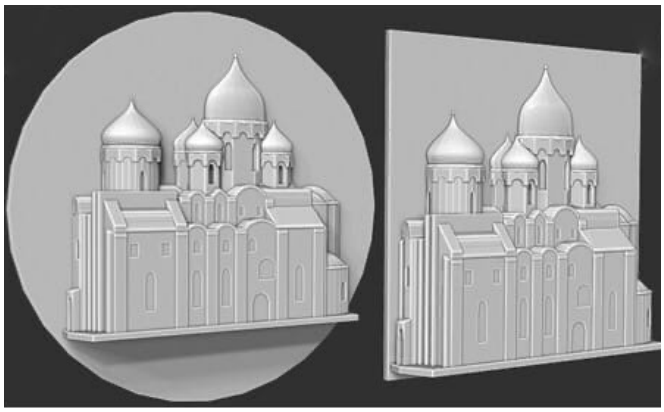


Рисунок 4. 3D-модели Софийского собора в виде барельефов

Для изготовления художественных изделий для гальванопластики использовали полимер АБС. АБС-полимеры безвредны для электролитов, которые предполагается использовать в гальванопластическом процессе. АБС-полимеры не загрязняют эти электролиты и не разрушаются от длительного пребывания в этих электролитах. АБС-полимеры относятся к высокотехнологичным материалам, и самое главное: АБС-полимеры – это лучшие полимеры для химико-гальванической металлизации. Это связано с тем, что эти полимеры травятся селективно и позволяют получать на их поверхности металлические покрытия с максимальной прочностью сцепления (адгезией), что особенно важно для позитивной гальванопластики. Формы и образцы были получены на 3D-принтере по технологии получения трёхмерных моделей FDM – осаждение моделей плавлением. Эта технология основана на послойном термическом укладывании полимерной нити. Использовалась АБС-пластики диаметром нити 1,75 мм. Однако первая пробная печать не позволила получить качественное изделие. Барельеф «Софийский собор» имел брак в виде незаполненных элементов в нижней части. Данный дефект возник из-за того, что модель не была замкнутой. Кроме того, маленькие элементы, такие как окна и колонны, плохо заметны и при этом будут пропадать при осаждении покрытий. Чтобы исправить эти недостатки, необходимо отредактировать 3D-модель, а именно замкнуть модель и убрать окна и двери. После редактирования модель печатается чётко, без каких-либо дефектов. Таким образом, на первом этапе работы была отработана технология изготовления образцов и гальванопластической формы «Софийский собор» на 3D-принтере из АБС-полимеров.

Затем отрабатывалась технология металлизации этих образцов. Типовой технологический процесс химико-гальванической металлизации пластмасс позволяет осуществлять нанесение покрытий с микронной точностью без искажения конфигурации и тонких деталей гальванопластической формы, что особенно важно для негативной гальванопластики. Для ряда изделий, получаемых по технологии позитивной гальванопластики и, в частности, для разработанной формы «Софийский собор», такая точность не всегда обоснована, так как наращиваемый сверху формы металл всё равно создаст незначительные искажения. Типовой стандартизированный технологический процесс химико-гальванической металлизации пластмасс может состоять из 18 операций, включая дорогую операцию активации в растворах палладиевых солей и экологически опасную операцию травления в смеси серной кислоты и хромового ангидрида [4]. В связи с этим были опробованы более экономичные и менее экологически опасные технологии. Для этой цели образцы диаметром 20 мм и толщиной 1 мм, изготовленные из полимеров АБС марок REC, ABS CJNDUCTIVE и BFBronze обезжиривали в растворе 1, промывали в горячей воде (50–60 ^{o}C), а затем сенсибилизировали в растворе 2. Эти операции выполнялись для повышения смачиваемости поверхности полимеров электролитом предварительного меднения. Качество такой подготовки поверхности контролировали по смачиваемости поверхности полимеров водой. Вода при качественной подготовке поверхности полностью покрывает поверхность полимера тонкой сплошной плёнкой. Для такой подготовки поверхности необходимо выполнять: обезжиривание в течение 10–15 мин, промывку в горячей воде – 2 мин, сенсибилизацию 15 мин, промывку в холодной воде после сенсибилизации в течение 10 мин. Так как образцы из полимера АБС марки REC не содержат в своём составе токопроводящих добавок, то на их поверхности потребовалось создать токопроводящий слой. Электропроводящий слой создавался с помощью токопроводящего лака «Graphite» на основе коллоидного графита. Для этого на подготовленный и высушенный образец из полимера АБС марки REC нанесли три слоя покрытия лаком «Graphite» по инструкции, рекомендованной производителем лака. После этого выполнялась первая электролитическая операция гальванопластики – затяжка, которая очень часто выполнятся в электролитах предварительной металлизации. Затяжка – это операция нанесения первого тонкого слоя металла на поверхность гальванопластической формы. Чаще всего затяжка выполняется в сернокислых электролитах меднения. Сернокислые электролиты меднения просты по составу, стабильны в эксплуатации и имеют невысокую стоимость. Однако сернокислые электролиты меднения, даже со специальными добавками, обладают невысокой рассеивающей и кроющей способностью. Низкие кроющая и рассеивающая способности

электролитов приводят к увеличению времени затяжки, затрудняют, усложняют этот процесс, а для изделий очень сложной конфигурации делают этот процесс невозможным. Рассеивающая и кроющая способности значительно выше у щелочных электролитов, особенно у цианистых. Однако цианистые электролиты очень токсичны. Наиболее простыми по составу, устойчивыми и безвредными по сравнению с другими щелочными электролитами меднения являются пирофосфатные электролиты, при этом по рассеивающей и кроющей способности пирофосфатные электролиты существенно превосходят сернокислые электролиты меднения. В связи с этим в качестве электролита предварительного меднения нами использовался пирофосфатный электролит меднения. Состав этого пирофосфатного электролита 3 представлен в таблице 1.

Таблица 1. Составы и режимы работы электролитов обезжиривания, сенсибилизации и предварительного меднения

Компоненты, г/л, и режимы	1	2	3
Натрий едкий	15–25		
Натрий углекислый	30–50		
Медь сернокислая			32–40
Олово хлористое		40–50	
Тринатрий фосфат	30–50		
Калий пирофосфат			300–350
Соляная кислота, мл/л		40–50	
Препарат ОС-20	3–5		
Лимонная кислота			15–25
pH			8,3–8,7
Температура, ^{o}C	60–80	18–25	18–30

Как видно из таблицы 1, в состав раствора для обезжиривания входит препарат ОС-20. Препарат ОС-20 – это смесь полиэтиленгликолевых эфиров синтетических первичных высших жирных спиртов. ОС-20 С является поверхностно-активным веществом, которое способствует смачиванию поверхности полимера. Как видно из таблицы 1, в состав пирофосфатного электролита 3, кроме меди сернокислой и основного комплексообразователя пирофосфата калия, входит лимонная кислота. Лимонная кислота повышает анодную плотность тока, улучшает растворимость анодов, а также способствует получению мелкозернистых полублестящих покрытий. В этом электролите 3 проводили затяжку медью образцов диаметром 20 мм, изготовленных из полимеров АБС марок REC, ABS CJNDUCTIVE и BFBronze. Результаты операции затяжки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты операции затяжки

Образец	Сила тока, А	Время электролиза, мин	Затянувшаяся площадь, %
1 ABS CJNDUCTIVE	0,03	0–20	0
1 ABS CJNDUCTIVE	0,06	20–40	0
2 АБС (BFBronze)	0,03	0–20	0
2 АБС (BFBronze)	0,06	20–40	0
3 АБС REC	0,03	0–10	2
3 АБС REC	0,03	10–20	20
3 АБС REC	0,06	20–25	30
3 АБС REC	0,06	25–40	100

Как видно из данных, представленных в таблице 2, полимер АБС REC, предварительно покрытый тремя слоями токопроводящего лака «Graphite», за 40 минут полностью покрылся медью в пирофосфатном электролите 3. Для декорирования художественного изделия «Софийский собор» на медное покрытие можно нанести слой серебра, выполнить операцию чернения, расчистки выступающих частей и локальное золотистое бронзирование или золочение купола методом электронатирания по технологии, представленной в работе [5]. Что касается меднения остальных образцов, то в аналогичных условиях электролиза образцы с токопроводящими добавками ABS CJNDUCTIVE и АБС (BFBronze) вообще не покрылись медью. Это связано с очень низкой электропроводностью этих полимеров из-за недостаточного количества токопроводящих добавок в полимерах. Так, содержание бронзового порошка в АБС (BFBronze) в процентах по объёму составляло 20%. Этого количества оказалось недостаточно для изготовления гальванопластических форм. Таким образом, токопроводящий лак «Graphite» можно рекомендовать для изготовления барельефных позитивных гальванопластических форм не очень сложной конфигурации и размеров. В частности, гальванопластическая форма «Софийский собор» должна иметь диаметр не более 30 мм. Для гальванопластических форм более сложной конфигурации и больших размеров следует использовать технологические процессы, позволяющие получать на поверхности формы слои с более высокой электропроводностью, например по химико-гальванической технологии.

4. Выводы

Разработана и изготовлена на 3D-принтере гальванопластическая форма «Софийский собор». Создан технологический процесс меднения гальванопластических форм, изготовленных из АБС-полимера без дорогостоящей операции активации и экологической опасной операции травления в смеси серной кислоты и хромового ангидрида.

Литература

1. История создания 3D-принтеров и их принцип работы [Электронный ресурс]. URL: https://rutvet.ru/in-istoriya-sozdaniya-3d-printerov-i-ih-princip-raboty-8253.html (дата обращения: 27.04.2020).
2. Михайлова, А.Е. 3D-принтер – технология будущего // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 40–44.
3. Пластик для 3D-печати [Электронный ресурс]. URL: https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/raznovidnosti-plastikov-3D-pechati/ (дата обращения: 25.04.2020).
4. ГОСТ 9.313-89. Покрытия металлические и неметаллические неорганические на пластмассах.
5. Тихонов, А.А., Соколова, А.Ю. Декорирование художественных изделий методом электронатирания // Вестник НовГУ. № 60, 2011. С. 102–105.

Статья рекомендована к печати
канд. техн. наук, доцентом Тихоновым А.А.

УДК 697.97+629.4.016.2
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.43

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБЪЕКТА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ХАРАКТЕРЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

Савин А.К., Семёнов Н.С.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s233820@std.novsu.ru
E-mail: s234210@std.novsu.ru

ENERGY PERFORMANCE ANALYSIS OF THE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM OF AN OBJECT WITH A RANDOM PRINCIPLE OF THERMAL PERTURBATIONS

Savin A.K., Semenov N.S.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s233820@std.novsu.ru
E-mail: s234210@std.novsu.ru

Аннотация. Рассмотрено применение имитационного моделирования для разработки системы регулирования температуры объекта со случайным характером тепловых возмущений. Исследуемый объект представляет собой помещение с ограждающими конструкциями из стеклопластика, внутри которого находится теплогенерирующее оборудование. Теплогенерирующее оборудование, расположенное внутри обслуживаемых помещений, не работает непрерывно. Включение этого оборудования происходит в произвольное время, продолжительность работы и объём тепловыделения также различны. Сделаны выводы о целесообразности использования метода имитационного моделирования при проектировании и разработке таких систем, о возможном повышении их энергоэффективности, а также о снижении капитальных и эксплуатационных затрат.
Ключевые слова: *энергетические показатели, тепловая нагрузка, стеклопластик, оборудование.*

Abstract. The application of simulation modeling to the development of a temperature control system for an object with a random nature of thermal perturbations is considered. The object under study is a room with enclosing structures made of fiberglass, inside of which there is heat-generating equipment. Heat-generating equipment located inside the serviced premises does not operate continuously. The inclusion of this equipment occurs at random times, the duration of work and the amount of heat release are also different. Conclusions are drawn about the feasibility of using the simulation method in the design and development of such systems, on the possible increase in their energy efficiency, as well as on the reduction of capital and operating costs.
Keyword: *energy indicators, heat load, fiberglass, equipment.*

Современное высокотехнологичное оборудование, имеющее в своем составе подверженные действию атмосферы компоненты, обычно должно работать в определённом диапазоне параметров окружающей среды, от правильного выбора и реализации которого зависит как возможность нормального функционирования оборудования с обеспечением его проектных рабочих характеристик, так и длительность срока безотказной эксплуатации [1].

Разработка и расчёт подобной системы – трудоёмкий процесс, требующий учёта значительного количества факторов, влияющих на ее поведение, а также учёта их взаимного влияния [2, 3], так как именно суммирование и наложение друг на друга пиковых нагрузок чаще всего принимается за основной расчётный режим работы системы термостатирования.

Рассматриваемый объект представляет замкнутый объём, внутри которого расположено периодически включаемое оборудование, выделяющее при работе значительное количество теплоты (20–30 кВт). Оболочка объекта состоит из стекловолокна толщиной около 30 мм. Объект находится на открытом воздухе в городе Санкт-Петербург. Допустимые параметры окружающей среды внутри оболочки для нормального функционирования оборудования: температура воздуха от +5 до +45 ºС, относительная влажность не более 70%, полное отсутствие капельной влаги, что вызывает необходимость термостатирования. Воздушная система термостатирования внутреннего объёма объекта организована по принципу 100% рециркуляции. Система подготовки воздуха, обрабатывающая его перед подачей в обслуживаемый объём, позволяет сначала осушить его до точки росы около +5 °С и далее нагреть до необходимой температуры. Принципиальная схема рассматриваемого объекта приведена на рисунке 1.

Для разработки наиболее точной модели воздействия атмосферы на объект были использованы статистические климатические данные для Великого Новгорода, которые были зафиксированы в течение 2016 года ежесуточно с шагом 3 часа. Из всего массива метеорологических данных для разработки имитационной модели были использованы следующие параметры наружного воздуха, оказывающие наибольшее влияние на систему термостатирования:

- температура наружного воздуха – для расчёта теплопритоков из окружающей среды;
- скорость ветра – для расчёта коэффициента теплоотдачи от ограждений к наружному воздуху;
- облачность – для расчёта солнечной радиации на стенку объекта.

Дополнительно к этим данным для расчёта теплопоступлений в объект от солнечной радиации был добавлен параметр суммарной (прямой и рассеянной) среднесуточной плотности потока солнечного излучения для каждого месяца года с учётом длительности светового дня [4].

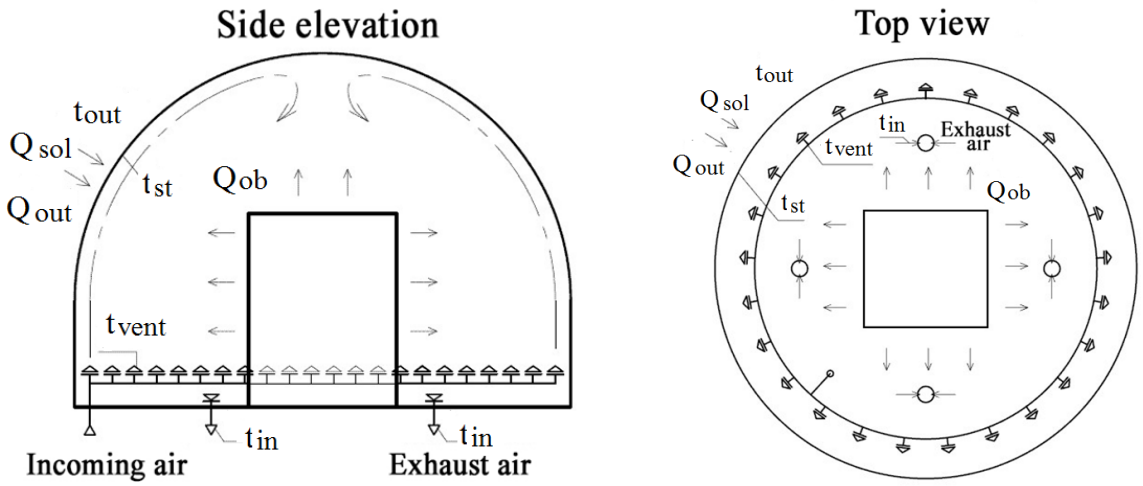


Рисунок 1. Схема исследуемого объекта: t_{out} – температура воздуха окружающей среды, Q_{ob} – тепловыделения от оборудования, Q_{out} – теплопритоки из окружающей среды, Q_{sol} – теплопритоки от солнечной радиации, t_{vent} – температура приточного воздуха, t_{in} – температура вытяжного воздуха, t_{st} – температура внутренней поверхности стенки

Из-за периодического характера тепловыделений в обслуживаемом объёме и невозможности точного определения их величины для расчёта теплового баланса помещения было использовано распределение его значений по треугольному закону (закон Симпсона), который часто применяется при недостаточности информации о параметрах объекта. При этом для задания треугольного распределения необходимо знать три величины:

– минимальное значение параметра (min);

– максимальное значение параметра (max);

– наиболее вероятное значение параметра (mode).

В соответствии с распределением Симпсона изменялись следующие параметры:

- периодичность включения оборудования: принято, что оборудование включается от 1 до 2 раз в месяц, наиболее вероятно 1 раз в месяц;
- длительность работы оборудования: в случае его включения она составляет от 24 до 48 часов, наиболее вероятно 24 часа;
- тепловыделения от оборудования составляют от 20 до 30 кВт, наиболее вероятно 25 кВт.

Алгоритм работы системы термостатирования предполагает четыре режима ее функционирования: два для тёплого времени года (при температуре наружного воздуха более +15 ºС) и два для холодного времени года (температура наружного воздуха менее +15 ºС). Из двух режимов, возможных в определённый период года, один реализуется, когда оборудование внутри объекта выключено, другой – когда оно включено. Укрупнённый вариант алгоритма представлен на рисунке 2.

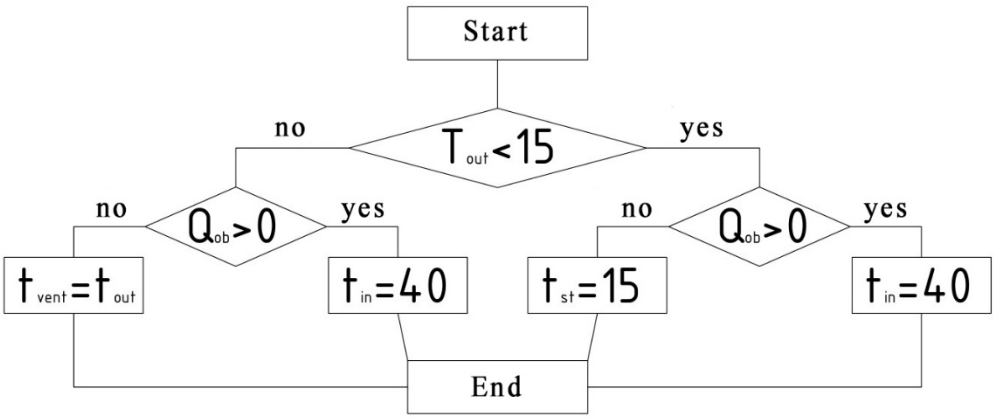


Рисунок 2. Укрупненный алгоритм работы системы термостатирования. T_{out} – температура наружного воздуха, Q_{ob} – тепловыделения от оборудования, t_{vent} – температура приточного воздуха, t_{in} – температура вытяжного воздуха, t_{st} – температура внутренней поверхности стенки

Ниже рассмотрен каждый режим работы. Ввиду невозможности представления в рамках данной статьи годовых графиков изменения температур и энергетических характеристик системы (из-за их большого размера и насыщенности) для демонстрации работы имитационной модели приведены графики для трёх дней тёплого и трёх дней холодного периода года.

Моделирование работы системы в холодный период года. Двумя основными задачами, которые должен был решить разрабатываемый алгоритм работы системы термостатирования в холодный период года, являлись обеспечение полного отсутствия капельной влаги во внутреннем объёме объекта и повышение ее энергоэффективности. Так как система подготовки воздуха для объекта (в данной статье не рассматривается) предполагает его осушение до точки росы +5 ºС с последующим нагревом до необходимой температуры, то для реализации условия полного отсутствия конденсации влаги в объекте необходимо поддерживать температуру всех его поверхностей на уровне выше +5 ºС. Самой холодной поверхностью объекта, на которой может образовываться капельная влага из воздуха, является внутренняя поверхность его оболочки, поэтому в холодный период года необходимо поддерживать температуру данной поверхности выше температуры точки росы обдувающего ее воздуха. Подача воздуха на внутреннюю поверхность оболочки объекта не всегда может быть обеспечена с достаточной равномерностью [5], поэтому для гарантированного предотвращения конденсации влаги температура внутренней поверхности оболочки объекта была задана равной +15 ºС, то есть выше точки росы приточного воздуха на 10 ºС. Кроме неравномерности обдува внутренней поверхности оболочки приточным воздухом, это позволяло нивелировать влияние таких факторов, как неравномерность ветровой нагрузки, действующей на объект снаружи и

неизотермичность струи приточного воздуха, распространяющейся вдоль внутренней стенки объекта.

При внезапном включении оборудования, находящегося в объекте, для которого проводилось имитационное моделирование, выделяемое тепло вызывает значительный нагрев внутреннего объёма. При этом целесообразно перевести систему термостатирования из режима поддержания температуры стенки на уровне +15 ºС в режим поддержания максимально допустимой температуры воздуха во внутреннем объёме объекта, которая по условиям технического задания должна быть не выше +45 ºС. Ввиду неравномерности температурного поля внутри за обрасчётную принята температура воздуха +40 ºС. Вышеописанный алгоритм работы системы задействован при температуре наружного воздуха ниже +15 ºС.

Графики изменения температур в системе термостатирования объекта для трёх дней холодного периода года, на которые выпадает период включения оборудования, приведены на рисунке 3. Началом эксперимента являлся момент времени 00 часов 00 минут 01 секунда 01 января 2016 г. Далее отсчёт модельного времени вёлся в минутах.

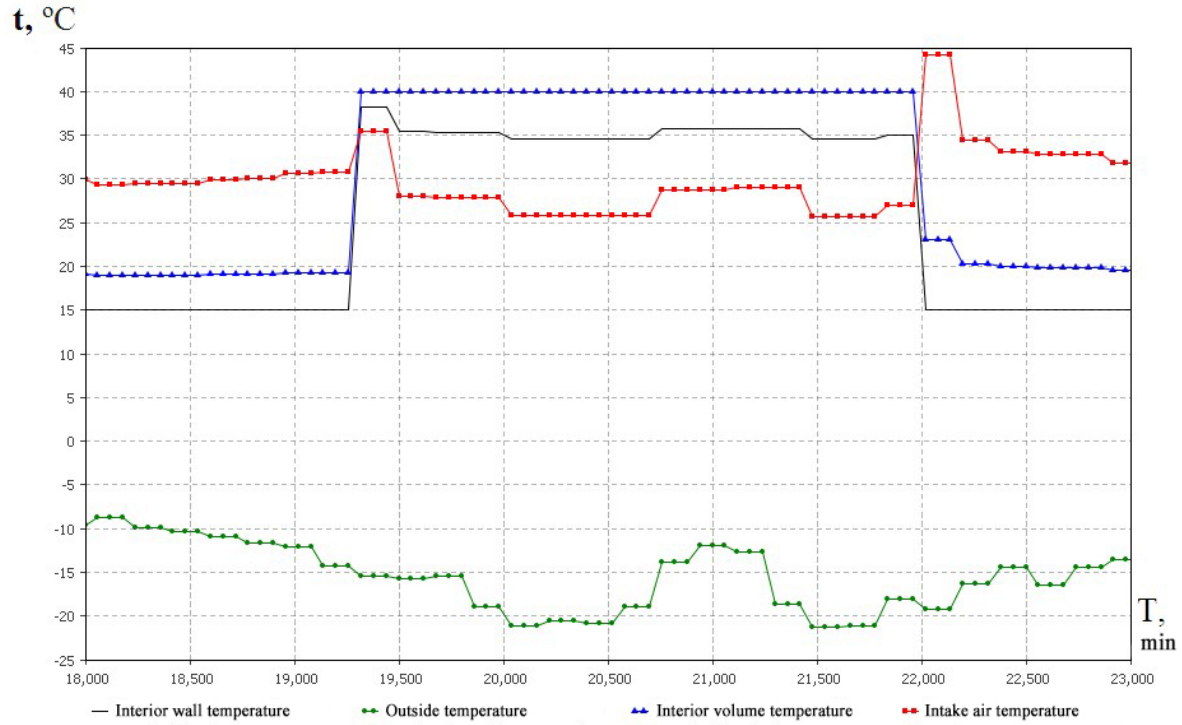


Рисунок 3. График изменения основных температур системы термостатирования для трёх дней холодного периода года (декабрь 2016)

График изменения энергетических характеристик объекта для тех же трёх дней холодного периода года приведён на рисунке 4. Включение оборудования происходило во временном промежутке от 19 200 мин до 22 000 мин.

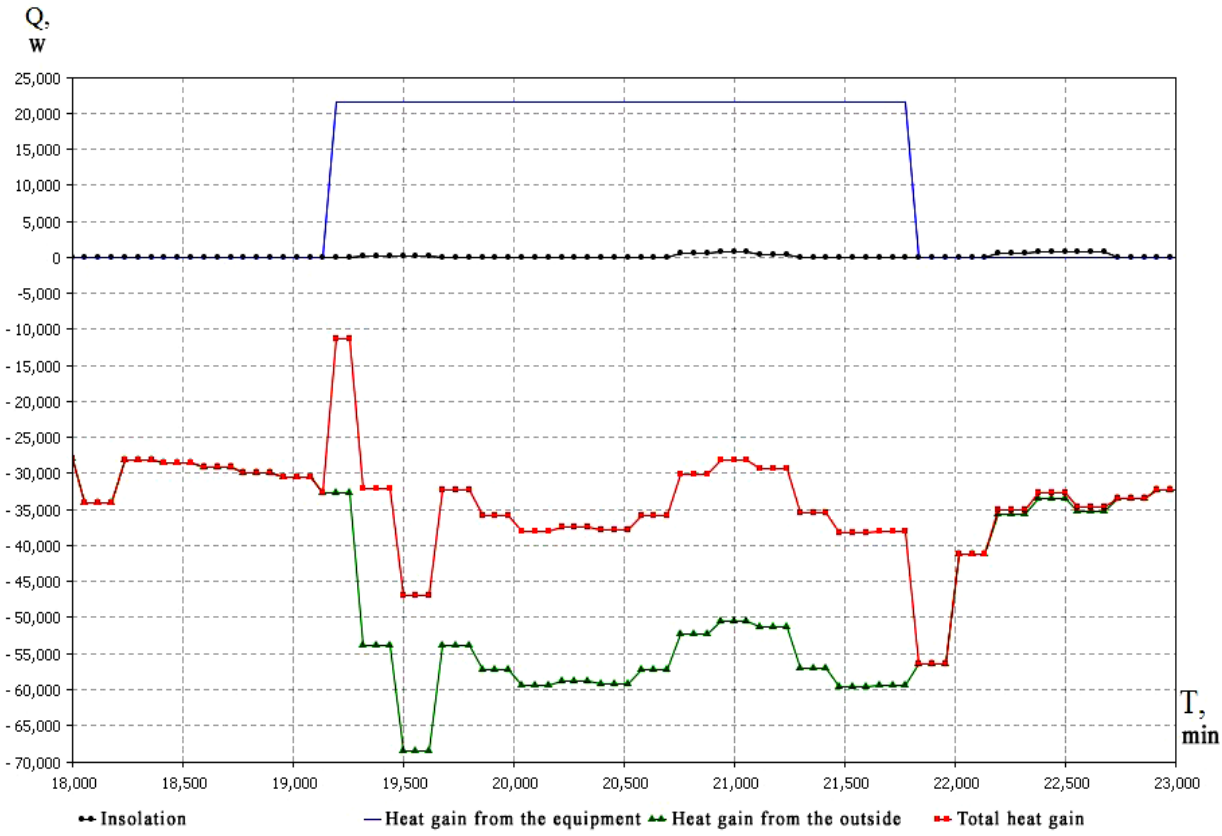


Рисунок 4. График изменения энергетических характеристик системы термостатирования для трёх дней холодного периода года (декабрь 2016)

Как видно из рисунке 3, при низких температурах наружного воздуха температура приточного воздуха и температура воздуха внутри обслуживаемого объёма не выходят за требуемые пределы (+5 ºС … +45 ºС) как при включённом, так и при выключенном тепловыделяющем оборудовании. В холодный период года во время работы тепловыделяющего оборудования охлаждение рециркуляционного воздуха перед подачей его в обслуживаемый объём осуществляется за счёт использования наружного температурного потенциала и не влечёт за собой значительных затрат энергии.

Моделирование работы системы в тёплый период года. При безусловной необходимости удержания температуры внутреннего объёма в заданных пределах управление работой системы термостатирования объекта в тёплый период года ориентировано, в том числе, на минимизацию энергетических затрат на поддержание требуемых параметров. Поддержание температуры стенки оболочки, на котором был сделан акцент в алгоритме работы системы в холодный период года, в данном случае не имеет никакого значения, так как включение алгоритма функционирования системы для тёплого периода года происходит лишь при условии достижения температурой окружающей среды значения +15 ºС и более.

При включённом тепловыделяющем оборудовании система термостатирования в любой период года поддерживает во внутреннем объёме объекта температуру на уровне +40 ºС.

Данное обстоятельство позволяет увеличить отток избыточного тепла в окружающую среду за счёт поддержания максимально возможной разности температур снаружи и внутри объекта, а также минимизировать мощность, затрачиваемую на охлаждение рециркуляционного воздуха перед последующей его подачей в обслуживаемый объём при сохранении требуемых исходными данными температур. График изменения температур от времени для трёх дней тёплого периода года (август 2016), включающий также период активизации тепловыделяющего оборудования, приведён на рисунке 5. В период времени с 311 000 минут до 313 100 минут происходит включение оборудования.

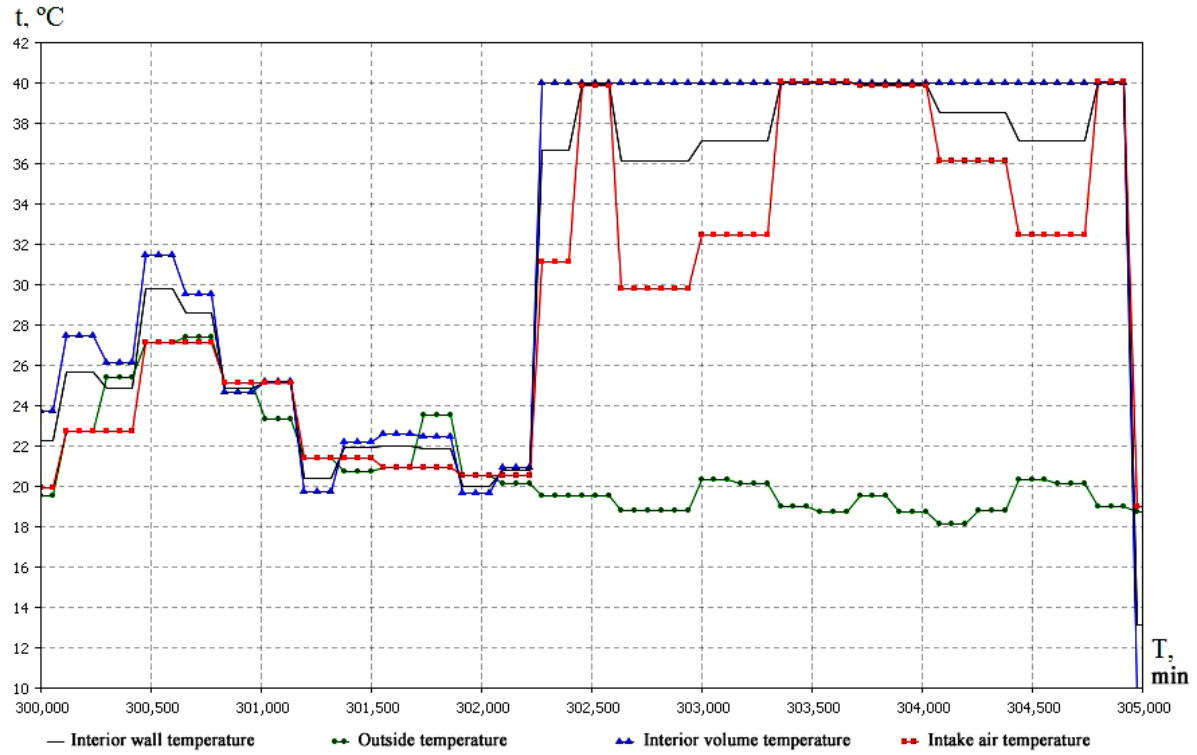


Рисунок 5. График изменения основных температур системы термостатирования для трёх дней тёплого периода года (август 2016)

График изменения энергетических характеристик работы системы термостатирования для тех же трёх дней тёплого периода года (август 2016) приведён на рисунке 6.

Графики для тёплого и холодного периодов года наглядно показывают, что моделируемая система во всём диапазоне температур наружного воздуха, находясь под действием солнечной радиации, а также внутренних тепловых нагрузок, возникновение которых носит случайный характер, обеспечивает требуемый тепловой режим внутри объекта, сохраняя при этом высокий уровень энергоэффективности.

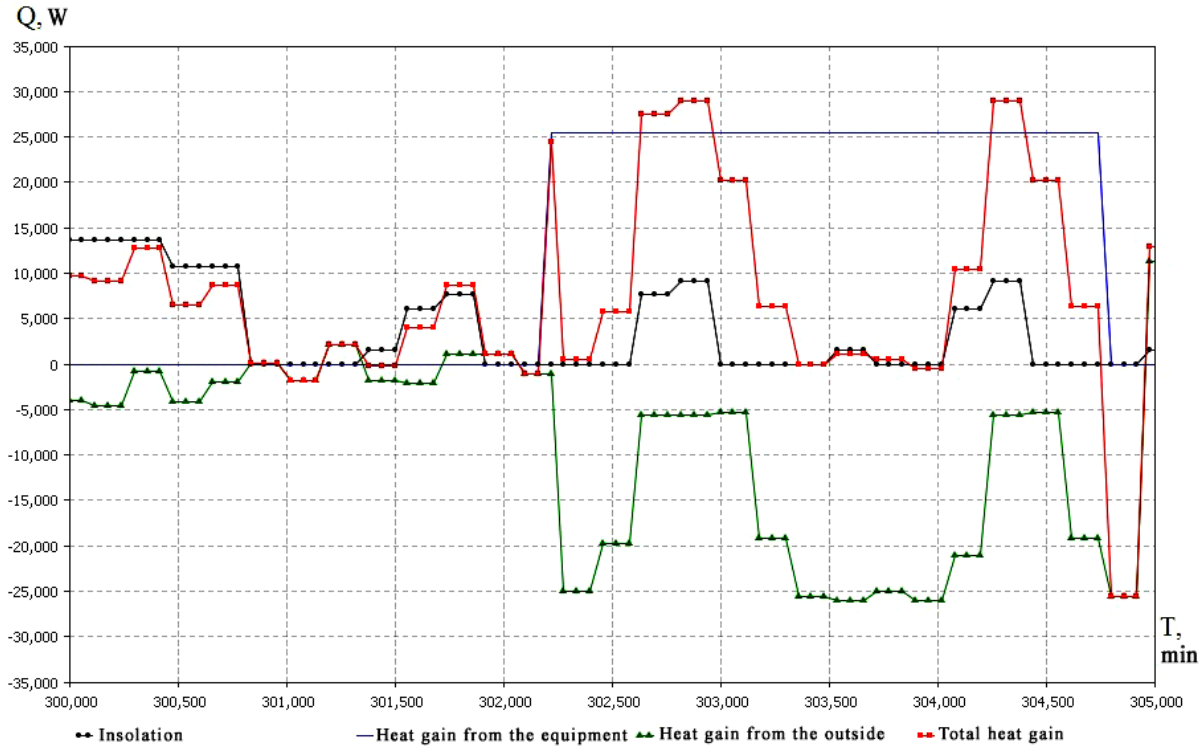


Рисунок 6. График изменения основных энергетических характеристик системы термостатирования для трёх дней тёплого периода года (август 2016)

В холодный период года при выключенном тепловыделяющем оборудовании минимизация затрат на нагрев приточного воздуха достигается за счёт поддержания его температуры на минимально допустимом уровне, позволяющем предотвратить конденсацию влаги на внутренней поверхности оболочки.

В тёплый период года при выключенном тепловыделяющем оборудовании минимизация затрат на охлаждение приточного воздуха достигается за счёт поддержания его температуры на уровне температуры наружного воздуха. Как видно из графика на рисунке 6, уровень суммарных теплопоступлений в объект в этом случае поддерживается на отметке до 13 кВт, что для подобного объекта незначительно.

В случае внезапного включения тепловыделяющего оборудования в холодный период года необходимость в подогреве приточного воздуха системой термостатирования полностью отпадает, и, наоборот, появляется потребность в его охлаждении, что сравнительно просто реализуется за использования низкотемпературного потенциала наружного воздуха.

При внезапном включении тепловыделяющего оборудования в тёплый период года контролируемый рост температуры воздуха внутри объекта до предельной отметки в +40 ºС позволяет максимально увеличить отток избыточного тепла в окружающую среду и снизить нагрузки на систему кондиционирования.

Разработанный алгоритм позволяет проводить исследования и эксперименты для оптимизации режимов работы вентиляционного и

теплообменного оборудования, добиваясь минимизации капитальных и эксплуатационных затрат на функционирование системы термостатирования.

Литература

1. Быков, В.Я., Ильин, Г.Н. Многоканальная цифровая система термостатирования элементов радиометрического блока. Труды Института прикладной астрономии РАН // Труды Института прикладной астрономии РАН. 2010. № 21, 288–293.
2. Марьясин, О.Ю., Огарков, А.А. Имитационное моделирование и оптимизация энергопотребления офисного здания // Сб. трудов 8-й Всероссийской НПК «Имитационное моделирование. Теория и практика». СПб., 18–20 октября. 2017. С. 480–484.
3. CFD-моделирование снижения температуры воздуха и воздушного потока, вызванного использованием охлаждённых стеновых панелей, основанных на биологических принципах полос зебры / Д. Шон и др. // Архитектурное научное обозрение. 2017. Т. 60. № 6. С. 507–515.
4. Свод правил СП131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция. СНиП 23-01-99* // М.: НИИСФ РААСН. 2012.
5. Лепеш, Г.В., Спроге, Г.А., Однодворец, Ю.В. Имитационное моделирование дифференцированного обогрева вентилируемого помещения комплексом современных отопительных приборов // ТТПС. 2015. № 1 (31).

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук профессором Швецовым И.В.

УДК 621.514.5
DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.44

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОГО ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Смирнов С.В., Уксусов Т.Л.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
E-mail: s235469@std.novsu.ru
E-mail: s233496@std.novsu.ru

FEATURES OF THE OPERATION OF A REFRIGERATION SCREW COMPRESSOR FOR CAPACITY CONTROL

Smirnov S.V., Uksusova T.L.

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
E-mail: s235469@std.novsu.ru
E-mail: s233496@std.novsu.ru

Аннотация. Для обеспечения необходимой температуры охлаждаемого объекта путём поддержания теплового баланса между теплопритоками и холодопроизводительностью холодильной машины служит система регулирования производительности компрессора. В статье приведены зависимости изменения эффективного КПД при полной и частичной производительности при совместном регулировании производительности и геометрической степени сжатия. Приводятся законы оптимального изменения геометрической степени сжатия при изменении производительности. Были использованы экспериментальные характеристики винтового компрессора, работающего на хладоне R22.
Ключевые слова: *винтовой компрессор, регулирование, степень сжатия, производительность.*

Abstract. To ensure the required temperature of the cooled object by maintaining the heat balance between the heat gain and the refrigerating capacity of the chiller, a compressor performance control system is used. The article presents the dependences of the change in effective efficiency at full and partial performance with joint regulation of productivity and geometric compression ratio. The laws of the optimal change in the geometric degree of compression with a change in performance are given. The experimental characteristics of a screw compressor running on R22 freon were used.
Keyword: *screw compressor, regulation, compression ratio, performance.*

Маслозаполненные винтовые компрессоры (ВКМ) широко применяются в различных областях, использующих искусственный холод. Для поддержания в заданном диапазоне температуры охлаждаемого объекта путём обеспечения теплового баланса между теплопритоками и холодопроизводительностью холодильной машины при изменении

температурного режима её работы служит система регулирования производительности маслозаполненного винтового компрессора.

Существуют следующие способы регулирования производительности холодильных винтовых компрессоров:

– с помощью внешних устройств;

– изменением скорости вращения роторов;

– с помощью встроенных устройств, изменяющих объём полостей винтов при их отсечении от окна всасывания.

Регулирование с помощью внешних устройств осуществляется путём байпасирования сжатого хладагента или дросселирования на всасывании.

Способ регулирования производительности ВКМ изменением частоты вращения роторов в диапазоне оптимальной окружной скорости является достаточно экономичным, так как при этом не изменяется геометрическая степень сжатия. В настоящее время широкое распространение получило регулирование частоты вращения роторов с помощью частотных преобразователей. В работе [1] рассмотрено регулирование производительности изменением частоты вращения винтов, но при уменьшении частоты вращения, при небольшой объёмной производительности винтового компрессора, значительно уменьшается эффективность работы из-за больших внутренних протечек хладагента.

Одно из преимуществ винтовых компрессоров перед другими типами компрессоров состоит в возможности регулирования холодопроизводительности встроенными устройствами.

Проблема выбора регулятора производительности и геометрической степени сжатия винтового компрессора, обеспечивающего эффективную работу холодильной машины при уменьшении производительности и изменении температуры кипения и конденсации, является актуальной.

Широко распространённое регулирование одним золотником приводит к значительным потерям работы из-за уменьшения геометрической степени сжатия $\varepsilon_Г$ при уменьшении производительности.

Известны зависимости КПД компрессора при 100% производительности с постоянной геометрической степенью сжатия $\varepsilon_Г = 5{,}0$ и при регулировании геометрической степени за счёт изменения цилиндрической части окна нагнетания. При работе компрессора при полной производительности с профилем SRM D standard с внешними диаметрами винтов $D_1 = D_2 = 204$ мм на хладоне R22 при температуре кипения –10 °С и температуре конденсации 35 °С индикаторный КПД компрессора без регулирования геометрической степени сжатия на 4,75% выше, чем у компрессора с регулированием $\varepsilon_Г$.

Снижение эффективности работы компрессора произошло из-за уменьшения площади окна нагнетания.

Регулирование производительности золотником и подпятником имеет ограниченную область изменения геометрической степени сжатия,

что не позволяет получить оптимальный закон ее изменения при уменьшении производительности.

Для решения проблемы регулирования производительности и геометрической степени сжатия винтового компрессора, обеспечивающего эффективную работу холодильной машины, необходимо выбрать конструкцию регулятора производительности и геометрической степени сжатия, минимизирующую потери от несовпадения давлений внутреннего сжатия пара хладагента и давления конденсации. Необходимо также оценить энергетическую эффективность предложенного регулятора при регулировании производительности компрессора.

Предлагается применять регулятор производительности и геометрической степени сжатия винтового компрессора, состоящий из золотника и двух поворотных заслонок. Такой регулятор позволяет не только регулировать геометрическую степень сжатия, но и получить необходимый закон изменения $\varepsilon_Г$ при уменьшении производительности. На рисунке 1 показана конструкция такого регулятора.

Для оценки эффективности работы холодильной машины с маслозаполненным винтовым компрессором и регулятором, состоящим из золотника и поворотных заслонок, необходимо провести анализ характеристик винтового компрессора при полной и частичной производительности на различных режимах его работы.

Проведено экспериментальное исследование холодильного ВКМ на хладоне R22 с возможностью изменения производительности и геометрической степени сжатия и получены его характеристики.

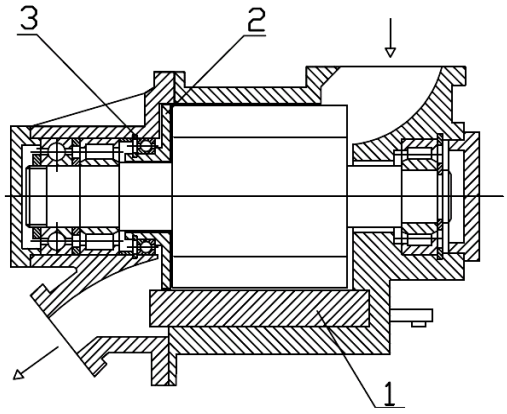


Рисунок 1. Конструкция регулятора производительности и геометрической степени сжатия золотником и поворотными заслонками: *1* – золотник; *2* – поворотные заслонки; *3* – подшипник поворотных заслонок

Исследования холодильного ВКМ проводились на экспериментальном стенде. Экспериментальный стенд представляет собой каскадную холодильную машину. Верхняя ветвь каскада состоит из винтового маслозаполненного компрессора S 3-900 фирмы Kühlautomat (Германия), конденсатора, регулирующего вентиля и конденсатора-испарителя. Конденсатор-испаритель является конденсатором для нижней

ветви каскада. В нижнюю ветвь каскадной холодильной машины входит экспериментальный ВКМ и водяной теплообменник.

Испытания экспериментального компрессора проводились по газовому кольцу. После сжатия в экспериментальном компрессоре пар хладагента дросселируется вентилем и охлаждается в водяном теплообменнике и конденсаторе-испарителе, не доходя до состояния насыщения, после чего поступает на всасывание в компрессор. Температура на всасывании устанавливается посредством охлаждения пара хладагента холодильной машиной верхнего каскада. Давление на всасывании и нагнетании устанавливается всасывающим и нагнетательным вентилями.

В качестве привода экспериментального ВКМ использовался асинхронный электродвигатель.

Стенд был оборудован необходимой измерительной аппаратурой. Давления пара хладагента в узловых точках определялись образцовыми манометрами с максимально допустимой погрешностью измерений 0,4%, а температуры – лабораторными термометрами с ценой деления 0,1°С.

Для определения массового расхода пара хладагента использовалось сужающее устройство – диафрагма. Частота вращения вала электродвигателя экспериментального ВКМ определялась частотомером с помощью оптоэлектронной пары.

Мощность, потребляемая экспериментальным ВКМ, определялась по электрической мощности электродвигателя, посредством измерительного комплекса для измерений силы тока, напряжения и мощности с максимально допустимой погрешностью измерений 0,5%. При определении мощности на валу компрессора использовались данные каталога по КПД электродвигателя. Средние квадратичные относительные погрешности при определении эффективной мощности Ne (мощности на валу компрессора) не превышают 3%. В качестве хладагента использовался хладон R22.

Экспериментальный винтовой компрессор имеет следующие характеристики: число зубьев ведущего и ведомого винтов 4/6; наружные диаметры винтов 160 мм; длина винтов 144 мм; частота вращения ведущего винта 49,2 $с^{-1}$; теоретическая объёмная производительность 0,0841 $м^3/с$; профили зубьев винтов асимметричные НИИ Турбокомпрессор (Казань, Россия). Регулирование производительности осуществлялось золотником и сменными вставками, имитирующими поворотные заслонки. Положение золотника и сменных вставок обеспечивало различную геометрическую степень сжатия. Эффективность компрессора оценивалась эффективным КПД $\eta_e = N_s/N_e$, где N_s – изоэнтропная мощность.

В результате экспериментального исследования винтового маслозаполненного компрессора были получены значения эффективных

КПД от степени повышения давления при полной производительности и относительной производительности $\bar{V}_{Ti}$, равной 75%, и 50% от максимальной.

На первом этапе эксперимента окно нагнетания оставалось неизменным, при этом начальное значение геометрической степени сжатия $\varepsilon_Г = 2{,}6$. Полученные зависимости η_e, при температуре кипения $t_0 = -20$ °С, от наружной степени сжатия $\pi_н = p_к/p_в$, где $p_н$ и $p_в$ – давление нагнетания и всасывания, приведены на рисунке 2. Изменение текущего значения геометрической степени сжатия происходит по линии a–b (рисунок 3).

При полной производительности максимум η_e достигается при $\pi_н = 3$, что соответствует совпадению давления нагнетания и давления внутреннего сжатия. Максимумы η_e при уменьшении производительности смещаются в сторону меньших значений $\pi_н$ из-за уменьшения $\varepsilon_{Гi}$.

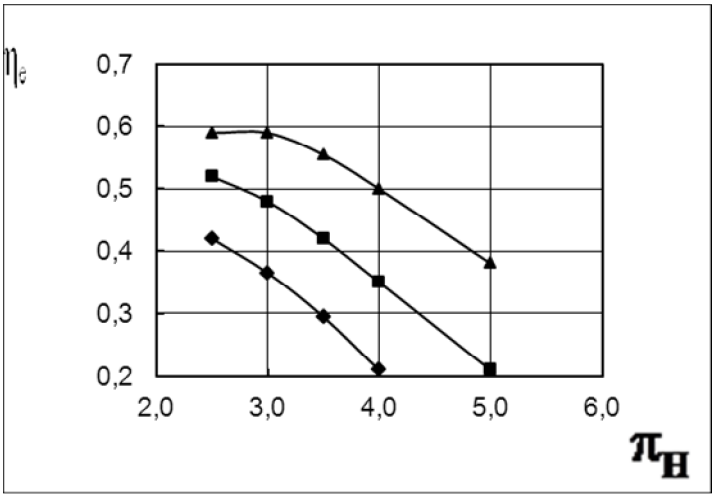


Рисунок 2. Зависимость эффективного КПД η_e винтового компрессора от наружной степени сжатия $\pi_н$ при регулировании одним золотником с постоянной геометрической степенью сжатия $\varepsilon_Г$: ▲ – $V_{ті}/V_т = 1{,}0$; ■ – $V_{ті}/V_т = 0{,}75$; ◆ – $V_{ті}/V_т = 0{,}5$

На втором этапе эксперимента окно нагнетания изменялось таким образом, чтобы отношение объёмов парной полости в начале и в конце процесса сжатия – текущее значение геометрической степени сжатия $\varepsilon_{Гi}$, при относительной объёмной производительности, равной 75%, и 50% оставалась равной 2,6 (линия a–c на рисунке 3).

В результате эксперимента получено недостаточное увеличение η_e, что объясняется значительными потерями при выталкивании пара в камеру всасывания в процессе сокращения парной полости до момента ее отсечения от окна всасывания [2, 3]. Возрастание давления в полости в начале процесса сжатия и уменьшению внутренней степени сжатия $\pi_a = p_a/p_в$, где p_a – давление в полости в момент ее соединения с окном нагнетания.

На третьем этапе эксперимента для определения оптимального закона изменения текущего значения геометрической степени сжатия $\varepsilon_{Гi}$ от

относительной производительности $V_{ti}/V_т$ было произведено исследование с различными окнами нагнетания. График зависимости $\varepsilon_{Гi}$ от $V_{ti}/V_т$, при котором эффективность работы компрессора при температуре кипения t_0 = –20 °С максимальна, представлен на рисунке 3 (линия a–d).

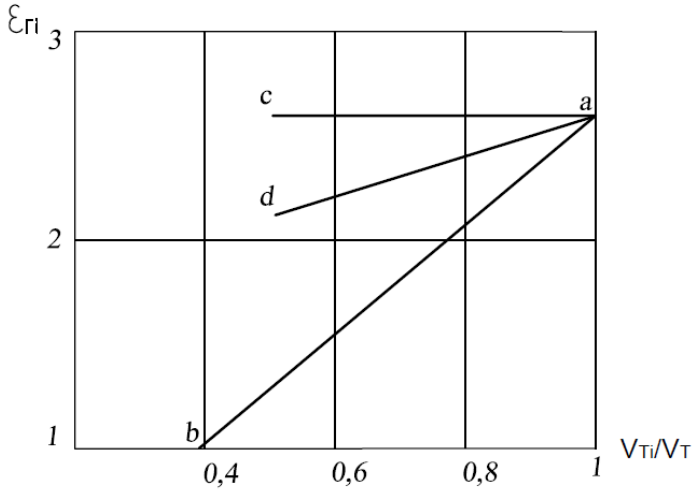


Рисунок 3. Зависимость изменения геометрической степени сжатия $\varepsilon_Г$ от относительной производительности $V_{ti}/V_т$ a–b–$\varepsilon_Г$ = const; a–c–$\varepsilon_{Гi}$ = const; a–d–$\varepsilon_{Гi}$ = var

На рисунке 4 приведены экспериментальные зависимости эффективных КПД компрессора η_e от наружной степени сжатия $\pi_Н$ при температуре кипения хладагента t_0= –20 °С при работе с относительной производительностью $V_{ti}/V_т$= 1,0; 0,75 и 0,5, где $V_т$ – полная теоретическая объёмная производительность, V_{ti} – частичная теоретическая объёмная производительность. Текущее значение геометрической степени сжатия изменялась по линии a–d. При этом обеспечивалось равенство наружной и внутренней степени сжатия.

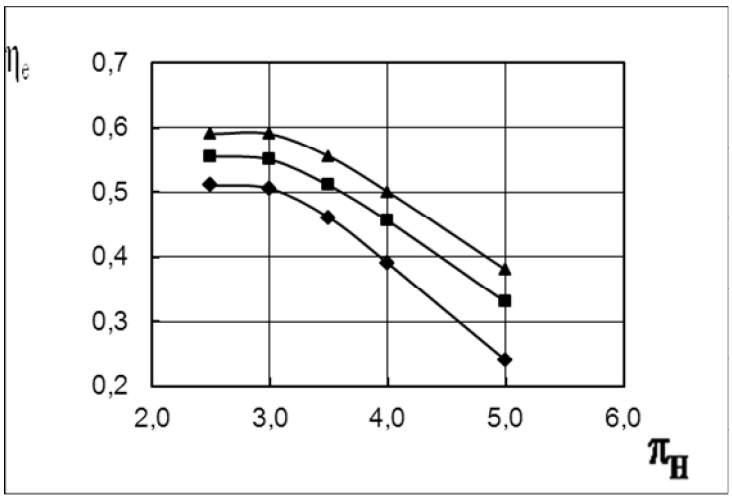


Рисунок 4. Зависимость эффективного КПД η_e винтового компрессора от наружной степени сжатия $\pi_н$ при изменении геометрической степени сжатия $\varepsilon_{Гi}$ по линии a–d. Обозначения такие же, как на рисунке 2

На рисунке 5 приведены зависимости величины η_e от относительной производительности V_{Ti}/V_T при различной температуре кипения и регулировании производительности одним золотником. На рисунке 6 приведены те же зависимости при регулировании производительности золотником и поворотными заслонками при изменении ε_{Vi} по линии a–d.

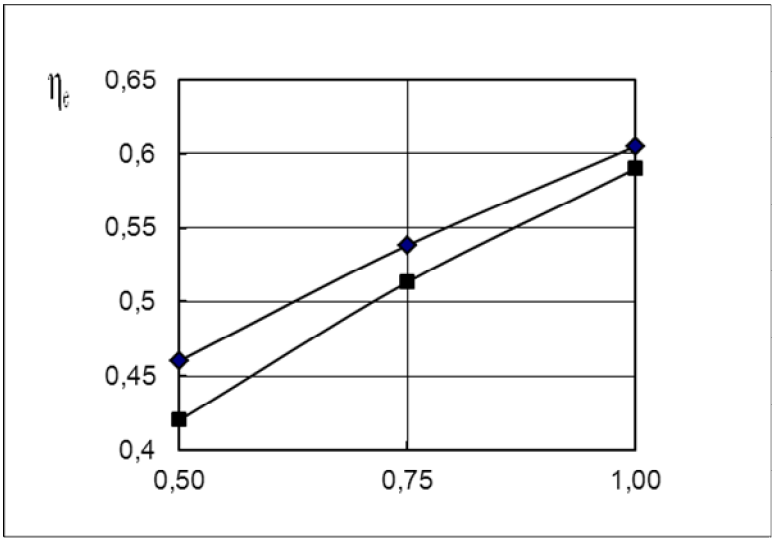


Рисунок 5. Зависимость эффективного КПД η_e винтового компрессора от относительной объёмной производительности V_{Ti}/V_T при регулировании одним золотником: ◆ – $t_0 = -10$ °C; ■ – $t_0 = -20$ °C

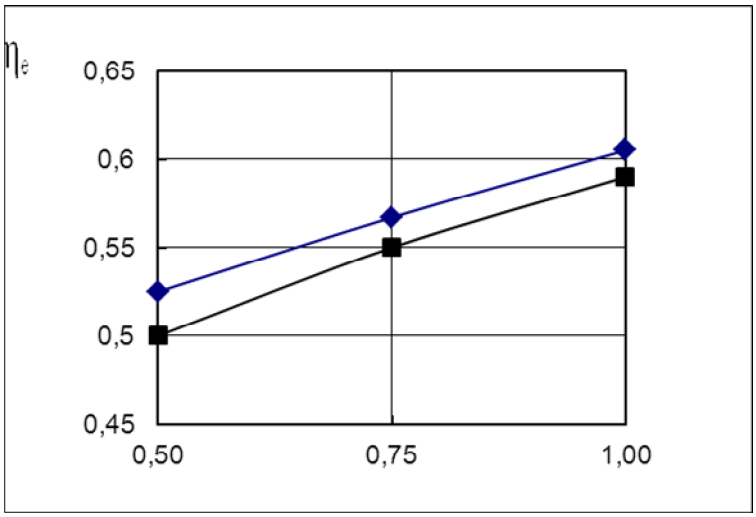


Рисунок 6. Зависимость эффективного КПД η_e винтового компрессора от относительной теоретической объёмной производительности V_{Ti}/V_T при изменении геометрической степени сжатия ε_{Vi} по линии a–d. Обозначения такие же, как на рисунке 5

Из этих зависимостей видно, что наиболее эффективным способом регулирования производительности при уменьшении температуры конденсации является золотниковый регулятор с поворотными заслонками. Причем изменение текущей геометрической степени сжатия происходит по линии a–d.

По сравнению с регулированием производительности одним золотником при относительной производительности 75% величина эффективного КПД η_e увеличивается на 5,4% (с 0,538 до 0,567) при температуре кипения t_0 = –10 °С и на 7,2% (с 0,513 до 0,55) при температуре t_0 = –20 °С. При 50% производительности величина эффективного КПД η_e увеличивается на 14% (с 0,46 до 0,525) при температуре кипения t_0 = –10 °С и на 19% (с 0,42 до 0,5) при температуре t_0 = –20 °С.

Полученные зависимости можно использовать при решении задачи оценки работы холодильной машины в условиях разброса значений внешних и внутренних параметров. В этом случае перспективным методом является метод теории энтропийных потенциалов [4].

При обеспечении эффективной работы холодильной машины при регулировании производительности эффективным регулятором является регулятор, состоящий из золотника и поворотных заслонок. При уменьшении производительности на 75% величина эффективного КПД увеличивается до 7,2%, а при уменьшении производительности на 50% – до 19% по сравнению с регулятором, состоящим из одного золотника с постоянной геометрической степенью сжатия.

Литература

1. Диша, К.С., Патель, Х.К., Даршна, М.Дж. Сравнительное исследование золотникового клапана и частотно-регулируемого привода для системы управления винтовым компрессором // Индийский журнал прикладных исследований. – Январь 2015 года. Т. 5. № 1. С. 4–6.

2. Носков, А.Н., Стешина, Ю.Г. Особенности процесса всасывания холодильного винтового компрессора // Сборник докладов на VI международной научно-технической конференции «Казахстан-Холод 2016»: Алматы, 2016. С. 108–111.

3. Носков, А.Н., Зимков, А.А., Тарасенков, Д.С. Расчёт потерь работы холодильного винтового компрессора в процессе нагнетания при регулировании производительности компрессора // Труды VII в МНТК «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»: Санкт-Петербург, 2015. С. 169–172.

4. Лазарев, В.Л. Репрезентативные информационные модели мониторинга и управления в условиях неопределённости // Материалы 18-й Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. Санкт-Петербург, Россия, 2015. Издатель: IEEE. С. 54–57.

Статья рекомендована к печати
доктором техн. наук, профессором Швецовым И.В.

Научное издание

ДНИ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ НовГУ

Материалы XXVII научной конференции преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ. Великий Новгород, 6–11 апреля 2020 г.

Часть 3

Составители

Волошина Галина Викторовна
Тетерина Ольга Игоревна

Редактор *Е. В. Ефимова*
Компьютерная верстка *И. В. Люля*

Подписано в печать 20.11.2020. Бумага офсетная. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 20,4. Уч.-изд. л. 21,9. Тираж 500 экз. Заказ №
Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого.
173003, Великий Новгород, ул. Б. Санкт-Петербургская, 41.
Отпечатано в