

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»  
(СГУГиТ)

# **ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ**

XVI Международный научный конгресс

Сборник материалов в 8 т.

Т. 8

Национальная конференция с международным участием

**«СИБОПТИКА-2020»**

№ 2

Новосибирск  
СГУГиТ  
2020

Ответственные за выпуск:

Доктор экономических наук, доцент, директор ИОиТИБ СГУГиТ, Новосибирск  
*А. В. Шабурова*

Кандидат технических наук, директор КТИ НП СО РАН, Новосибирск  
*П. С. Завьялов*

Доктор технических наук, профессор,  
научный руководитель КТИ НП СО РАН, Новосибирск  
*Ю. В. Чугуй*

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 8 т. Т. 8 : Национальн. конф. с междунар. участ. «СибОптика-2020». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 123 с. – ISSN 2618-981X.

DOI: 10.33764/2618-981X-2020-8-2

В сборнике опубликованы материалы XVI Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Национальной конференции с международным участием «СибОптика-2020».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 535

© СГУГиТ, 2020

## **СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПРОБЛЕМЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**

*Марина Ивановна Ананич*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. 8(383)238-68-99, e-mail: ami@nso.ru

В статье рассматриваются приоритеты и цели государственной политики в научной и инновационной сфере, проблемы и перспективы продвижения инноваций в регионах на примере Новосибирской области. Проведен анализ неудач инновационных проектов и компаний. На примере успешных практик рассматриваются подходы к разработке инноваций и их продвижения. Рассматривается влияние внешней среды инновационного развития на поиск инструментов и моделей управления проектами, в том числе неопределенность и динамизм.

**Ключевые слова:** стратегия научно-технологического развития, национальная технологическая инициатива, технологическое лидерство, продвижение инноваций, инновационные компетенции, факторы влияния на инновационную деятельность.

## **MODERN CHALLENGES AND PROBLEMS OF SCIENTIFIC-TECHNOLOGICAL AND INNOVATIVE DEVELOPMENT**

*Marina I. Ananich*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor of Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: 8(383)238-68-99, e-mail: ami@nso.ru

The article discusses the priorities and goals of state policy in the scientific and innovation sphere, problems and prospects of promoting innovation in regions on the example of the Novosibirsk region. Failure analysis of innovative projects and companies is carried out. On the example of successful practices, approaches to the development of innovations and their promotion are considered. The influence of the external environment of innovative development on the search for tools and models for project management, including uncertainty and dynamism, is examined.

**Key words:** scientific and technological development strategy, national technological initiative, technological leadership, innovation promotion, innovative competencies, factors influencing innovative activity

### ***Государственные стратегические решения и инициативы***

В последние годы технологическое развитие оказывает всё более значимое влияние на экономику, политику и жизнедеятельность человека, далее это влияние будет только усиливаться. Россия определяет свои роль и место в быстро меняющемся мире ускоряющегося распространения новейших технологий трансформации всех сфер деятельности и сред жизни. На всех уровнях управле-

ния развитием науки, технологий, инноваций и образования принимаются решения, соответствующие вызовам XXI века, ориентированные на достижение технологического лидерства нашей страны в мире. На протяжении последних двух десятилетий проводится активная научно-технологическая и инновационная государственная политика: принимаются стратегические решения и программы, формируются законодательная база, финансовые институты, инфраструктура инновационной и технологической поддержки наукоемких и инновационных проектов и продуктов, совершенствуются системы подготовки кадров и стимулирования спроса на инновации.

Несмотря на значительные усилия по созданию благоприятной среды и инновационной экосистемы страны, уровни инновационного развития регионов значительно отличаются, отмечается неготовность к внедрению новых технологий, затянутость процесса завоевания новых рынков, дефицит высококвалифицированных компетентных кадров. Сложности возникают как в создании конкурентоспособных высокотехнологичных продуктов и наукоемких технологий, так и в успешном их позиционировании на международных рынках. Ситуацию обостряет ускорение технологического прогресса, бурного развития и широкого использования передовых технологий во всех сферах жизнедеятельности. К обстоятельствам, подталкивающим к решительным мерам повышения эффективности реализации научно-технологической политики, ориентированной на увеличение скорости перемен, относятся и жесткая конкуренция технологий сменяющихся «укладов», и ужесточение условий внешней среды, ее нелинейность в условиях санкций и неопределенность в ситуации пандемии.

Для ускорения трансформации в России важны стратегическое видение «образа будущего» страны и приоритетов развития технологий, которые сформируют новый уклад за счет сфокусированного внимания на развитие территорий-лидеров, или центров силы, провоцирующих трансформацию [1].

В качестве ответа на современные вызовы руководством страны принят ряд стратегических решений на долгосрочный период. Указом Президента Российской Федерации № 642 от 01.12.2016 утверждена Стратегия научно-технологического развития России (далее – СНТР). В СНТР основной целью поставлено обеспечение независимости и конкурентоспособности страны за счет создания эффективной системы наращивания и наиболее полного использования интеллектуального потенциала нации. 7 мая 2018 года Президентом России В. В. Путиным подписан Указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» №204. Стратегическими задачами федеральной повестки в сфере науки, технологий и инноваций на ближайшие годы определены: ускорение технологического развития Российской Федерации, увеличение количества организаций, осуществляющих технологические инновации; создание в базовых отраслях экономики высокопроизводительного экспортно-ориентированного сектора, развивающегося на основе современных технологий и обеспеченного высококвалифицированными кадрами; обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере; и другие.

Руководством страны обозначена главная цель – вхождение России в пятерку высокоразвитых экономик мира. Механизмом достижения цели должна стать эффективная реализация комплекса национальных проектов по 12 направлениям [2], в которых впервые обозначены задачи с взаимодополняющими результатами от создания условий для достижения мирового уровня науки и технологий, до внедрения новых технологий в сферах жизнедеятельности. Следовательно, учтен важнейший фактор развития наукоемких технологий - согласованность со спросом.

Развитие технологий для потенциальных рынков будущего - основа концепции Национальной технологической инициативы (НТИ) [3], ориентированной на достижение технологического лидерства России на мировом рынке к 2035 году по приоритетным направлениям «Автонет», «Аэронет», «Маринет», «Хелснет», «Нейронет», «Технет» и других. Определены приоритеты НТИ, созданы центры компетенций, продолжается отбор проектов, ряд из которых получили поддержку. Создается коммуникационная среда для развития заинтересованного общества (платформа «Leider ID», Форсайт флоты, Острова, Кружковое движение, Олимпиады НТИ и другое). Однако, результатов технологического прорыва нет, что связано как со сложностью преодоления технологических барьеров, так и проблемами инновационного развития регионов и компаний [4]. Предстоит осознать результаты реализации НТИ, сформулировать цели и задачи следующего этапа создания новых рынков для отечественных технологий, использования шанса трансформации сообщества при переходе на новый технологический уклад [5].

Например, руководитель направления «Аэронет» С.А. Жуков отмечает [6]: «Изначально НТИ манила возможностью открыть новые технологические рынки. Но сегодня мы имеем примеры разочарований, медленного роста, отрыва конкурентов в США, в КНР, в Европе. Нужна ясно поставленная задача — как, например, в направлении «частная космонавтика», где мы решили сосредоточиться на транспортной системе — сверхлегкая ракета и совмещенный с ней разгонный блок... Мы стараемся построить авиационно-космическую беспилотную отрасль, стыкующуюся с «большой» авиацией, с космонавтикой и сферой геопространственных данных... поскольку это задача межотраслевая, то специалистов требуется много и разных... пока «в среднем по больнице» дефицита сильных специалистов не ощущается. Но он начинает ощущаться, как только мы идем в узкую область, например, в аэродинамику или в бортовые источники энергии. Если Россия, с учетом всех сегодняшних трудностей, не уделит больше внимания развитию научно-технического рынка, то мы ощутим дефицит кадров... Конкуренция среди игроков рынка по различным направлениям «Аэронет» отличается: если рынок мониторинга, дистанционного зондирования Земли уже заполнен, то, например, в грузоперевозках конкуренция не настолько серьезная».

Следует особо подчеркнуть, что конкурентоспособные продукты и технологии практически невозможно получить без использования научно-технологического задела мирового уровня. В частности, шанс развития и внедрения технологий биобезопасности в период пандемии получили организации, обладающие та-

ким заделом для решения задачи быстрой диагностики коронавируса. Это Центр вирусологии и биотехнологий «Вектор» Минздравнадзора России (далее – Центр «Вектор») – разработчик и производитель первого теста в феврале 2020 года и компания «Медико-биологический союз», резидент Технопарка новосибирского Академгородка - разработчик быстрого мобильного теста, начавшего производство при содействии группы «Хелснет» в середине апреля 2020 года. Следует отметить разработку Центром «Вектор» вакцины против коронавируса, математической модели распространения вируса в России Центром НТИ Санкт-Петербургского политехнического университета имени Петра Великого, использование технологий 3d печати для лечения больных, зараженных вирусом и другие.

Важным фактором ускорения продвижения на международные рынки конкурентоспособных продуктов на основе отечественных разработок является приоритизация технологий и сфокусированная система поддержки. Однако, по мнению Д.Н. Пескова, специального представителя Президента РФ по цифровому и технологическому развитию: «Технологическая революция создает «облако неопределенности», когда мы не знаем, какие именно решения нам нужны, так как невозможно посчитать их жизненный цикл...». Кроме того, необходимо точное понимание «где действительно технологический барьер, где барьер стоимости, где барьер общества, и учиться их преодолевать... ставка на преодоление барьеров, открывающих новые рынки...» [7].

По мнению А.И. Боровкова, соруководителя группы «Технет»: «...В зависимости от возникающей конъюнктуры на высокотехнологичных рынках поставка продукции осуществляется в рамках триады «технологический прорыв - технологический отрыв – технологическое лидерство/превосходство». ...Конкуренция сместилась на этап проектирования, где как можно больше за короткий срок вкладывается интеллект. Вся промышленность ушла в «цифровые двойники»... Это математические модели высокого уровня адекватности... Соответственно, происходит цифровая трансформация бизнес-процессов и бизнес-моделей...». Автор подчеркивает: «разработка продукции на основе технологии цифрового двойника ... позволяет снизить временные, финансовые и другие затраты в 10 раз и более» [8].

Как следствие, в основе реализации дорожной карты «Технет» две цели: формирование комплекса ключевых компетенций в России, обеспечивающих интеграцию передовых производственных технологий и бизнес-моделей для их распространения в качестве «Фабрик будущего» первого и последующего поколений и создание глобально конкурентоспособной кастомизированной / персонализированной продукции нового поколения для рынков НТИ и высокотехнологичной промышленности. Кроме того, развитие технологий цифровых двойников стимулирует развитие технологий искусственного интеллекта, сенсорики, создания новых материалов, аддитивных технологий, поэтому необходимо одномоментное вовлечение широкого круга заинтересованных участников – организаций и экспертов.

Для ускорения внедрения технологий цифрового двойника А.И.Боровковым активно реализуется модель продвижения «технология-маркетинг-паблик релейшн», позволяющая в короткие сроки обеспечить согласование терминологии, определить пути устранения барьеров внедрения новых передовых производственных технологий, выявить не решаемые проблемы производства различных продуктов. В том числе, при поддержке Минпромторга России установлено конструктивное взаимодействие с крупными игроками разных отраслей экономики страны, в первую очередь машино- и приборостроения. Кроме того, создана ассоциация «Технет», деятельность которой ориентирована на активное вовлечение регионов, поставляющих задачи технологического развития предприятий и дальнейшего совместного их решения на основе новых производственных технологий [9]. Это также позволяет значительно расширить круг заинтересованных участников, повысить уровень их компетенций на основе успешных практик и сформировать сетевую инфраструктуру в регионах страны для формирования потока проектов.

### ***Программы научно-технологического развития Новосибирской области***

Новосибирская область является одним из лидеров инновационного развития страны. В регионе уже много лет формируется экосистема инноваций и технологического развития региона [10]. На примере Новосибирской области можно рассмотреть возможности для развития инновации и технологий и выработать предложения по развитию этой сферы. Здесь сформировано взаимодействие науки, бизнеса, власти и образования в сфере развития технологий и реализации инновационной политики. Однако современные вызовы требуют новых стратегических решений для ускорения технологического и инновационного развития. На современном этапе актуальными стратегическими решениями выбраны комплексные подходы в реализации интеграционных программ, проектов и мероприятий. В частности для усиления эффективности принимаемых решений и ускорения их выполнения в управлении проектами требуется система вертикальной координации в сочетании с горизонтальной интеграцией участников реализации проектов и программ.

Например, в 2018 году группой экспертов – представителей науки, власти региона, высокотехнологичного и инновационного бизнеса, инфраструктуры и образования разработана концепция развития Новосибирского научного центра, территории с высокой концентрацией науки, технологий и инноваций, включающей Академгородок, наукоград Кольцово, р. п. Краснообск. Выявлены проблемы реализации научно-технологического потенциала и способствующие оттоку квалифицированных специалистов, имеющих высокий потенциал компетенций в области экономики знаний. В частности: сокращение количества и масштаба научных проектов; устаревание парка исследовательского и технологического оборудования; отсутствие новых моделей взаимодействия с крупными игроками рынков и отраслей; сложности выхода на новые рынки; нарастающий дефицит инфраструктурных возможностей для развития высокотехнологичных

предприятий и инжинирингового пояса; снижение привлекательности территории для участников генерации новых знаний и их продвижения. Цель Концепции – создание научно-технологического комплекса мирового уровня с ядром на базе ННЦ и инновационной экосистемы Академгородка для достижения научного и технологического лидерства региона и России в целом по ряду направлений к 2035 году. Установлены задачи достижения цели: - удержание качества фундаментальных исследований на мировом уровне, создание установок мега-сайенс и проектов полного цикла для достижения технологического лидерства; обеспечение роста инновационного сектора и увеличение доли инновационной продукции в ВРП региона и России в целом; развитие кадрового потенциала в сфере науки и инноваций; создание современной среды обитания развития и реализации человеческого капитала.

В результате взаимодействия руководителей федерального и регионального уровней власти, Сибирского отделения РАН, высокотехнологичного бизнеса региона Концепция представлена Президенту России В.В.Путину в рамках его визита в Новосибирскую область 8 февраля 2018 года, утвержден перечень поручений Президента РФ [11], во исполнение поручений утвержден План развития Новосибирского научного центра (далее – План) [12], система управления реализацией и развитием которого состоит из ряда координирующих и исполнительных органов, в первую очередь Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Координационный совет и его Президиум, действующие под руководством Губернатора Новосибирской области А.А.Травникова. В настоящее время получены первые результаты: произведен запуск самого крупного проекта данного Плана «СКИФ» – Сибирский кольцевой источник фотонов, получены гранты на создание Центров генетических технологий ИЦИГ СО РАН и центра биобезопасности на базе Центра вирусологии и биотехнологий «Вектор». Решен ряд социальных задач по формированию благоприятной среды обитания (началось строительство школ, прорабатывается транспортный вопрос, формируется программы развития медобслуживания). Преимуществом Плана также является наличие проекта, приближающих результаты научных исследований к производству и рынку на разных уровнях технологического развития, а также проекты уже действующих высокотехнологичных и инновационных бизнесов, использующие научные разработки российских ученых.

Основными результатами реализации Плана являются: объединение ресурсов и усилий участников проектов и руководителей территорий в разработке и реализации крупных проектов, лоббирование общих интересов, формирование благоприятных условий для партнеров, реализация междисциплинарных проектов и другое.

Аналогичная модель использована в разработке и реализации Программы реиндустриализации экономики Новосибирской области до 2023 года (далее – Программа). Цель Программы – активизация экономики за счет создания новых индустрий и технологического развития традиционных отраслей. Система управления реализацией включает федеральных и региональных экспертов и представителей власти для обеспечения комплексной поддержки на федераль-



ном и региональном уровнях. Критериями отбора проектов является инициатива руководителей успешных высокотехнологичных компаний, использующих отечественные наукоемкие разработки в проектах развития. Один из успешных проектов Программы – компания «Оксиал». По производству тонкостенных углеродных нанотрубок в 2019 году признан единственным по показателям развития. Реализует проект – создание установки «Графитрон-50», для увеличения объемов производства. К успешным можно отнести проекты развития ООО «Элтекс», СКТБ «Катализатор», АО «Вектор-Биальгам», компании «Ангиолайн», которые получили новый виток развития. Однако по разным причинам не все инициированные проекты реализованы, поэтому для обновления состава проектов были заложены принципы «зонтичности» - отсутствие бюджетного финансирования конкретных проектов и возможность «входа/выхода» проектов по решению инициаторов.

В реализации Плана заложен поэтапный отбор проектов - из 30 отобранных проектов, после доработки и согласований начата реализация трех, очередные 16 представлены в заинтересованные Федеральные органы исполнительной власти на согласование.

Следует отметить, что задерживают запуск и реализацию проектов проблемы, которые обозначены в период формирования и развития инновационной экосистемы региона, но продолжают сохранять свою актуальность [13]. В связи с формированием крупных проектов возрастает роль благоприятного инвестиционного климата в стране и регионах для новых наукоемких производств, в том числе заказных инноваций от крупных корпораций научным учреждениям; механизмов сфокусированной поддержки приоритетных комплексных проектов развития территорий с высокой концентрации науки и инноваций, способных ускорить технологический прогресс; государственной системы стимулирования спроса на инновации на региональном и федеральном уровне. В то же время, сохраняется проблема качественной подготовки и эффективного управления инновационными проектами.

В результате исследований 2018 года, в котором приняли участие российские инновационные компании и проекты, реализуемые успешными в целом компаниями, проведен анализ факторов, влияющих на неудачи инновационных проектов [14]. В качестве критерия оценки авторами использовался показатель наличия устойчивого денежного потока на момент фиксации неудачи: стартующий проект: не дошел до этапа продаж или не имел устойчивого денежного потока; молодой проект: вышел на регулярные продажи, но не добился операционной самоокупаемости; зрелый проект: имел постоянный денежный поток и операционную самоокупаемость. Проанализировано 15 проектов, в том числе, в качестве стартующего, рассматривался проект «Ё-мобиль», зрелого - «Qiwi», молодого – проект «Лиотех», который реализован в Новосибирской области.

Авторами исследования [14] сформулирован набор факторов неудачи, которые могли оказывать влияние на результат в комплексе и на разных этапах развития проекта: *технологические* факторы, связанные с выбором неудачных технологических и продуктовых решений, невозможностью получить требуемые

технические характеристики продуктов; *рыночные* факторы, связанные с ошибками в выборе целевых рынков, неправильным позиционированием продуктов; *партнерские* факторы, связанные с взаимоотношениями с бизнес-партнерами, инвесторами (в том числе собственники) и государственными органами и институтами; управленческие факторы, связанные с неверными решениями руководителей или собственников компаний на уровне операционного управления; *стратегические* факторы, связанные с ошибками в выборе бизнес-модели, стратегии развития бизнеса. Результаты анализа представлены на диаграмме рис. 1.

На рис. 1 видно по распределению факторов, что в неудачах зрелых проектов более значительную роль играют управленческие факторы в сочетании с партнерскими и рыночными; стартовых – технологические в сочетании с рыночными и стратегическим выбором, молодых – факторы стратегического выбора в сочетании с рыночными и партнерскими.



Рис. 1. Распределение факторов, влияющих на развитие проектов [14]

Следует отметить, что проблемы, связанные с технологическими факторами характерны для данного этапа технологического прогресса: появление технологии более высокого уклада может снизить (обнулить) конкурентоспособность наукоемкой продукции проекта еще до выхода на рынок или во время продвижения. Необходимо воспринимать развитие технологий как фактор внешней среды проекта или компании и проводить постоянный сравнительный анализ конкурентоспособности разработок.

По результатам анализа также выявлено значительное влияние рыночных факторов на развитие и неудачи для всех типов проектов, что свидетельствует о недооценке в управлении проектами влияния на рынок силы реальных конкурентов и/или неверный выбор потенциальных потребителей. Так, например, за-

явленная китайскими партнерами проекта компании «Лиотех» возможность сбыта литий-ионных батарей на китайском рынке не оправдалась из-за выхода их из проекта, а российский рынок не испытывал потребности в такой продукции. Лишь после долгого периода выхода из кризиса данного проекта выявлена новая ниша для компании – накопители энергии. В проекте «Ё-мобиль» разработчики, например, в позиционировании акцентировались на преимуществах гибридного двигателя и упустили возможность занять нишу электромобилей, которую позднее занял Илон Маск.

Очевидно, что каждый инновационный проект проходит индивидуальный путь развития. В частности, успешные практики подтверждают значительную роль лидера проекта, свободно ориентирующегося в рыночном пространстве и его видения концепции создания и развития продукта, идеологии продвижения и модели бизнеса. Среди резидентов Технопарка Новосибирского Академгородка (Академпарк) явными лидерами являются Ю.Коропочинский и М.Предтеченский (Оксиал), С.Солобоев и А.Брызгалов (Унискан), А.Лысковский (Алавар) и другие.

В зарубежной практике приверженцем модели формирования нового продукта и бренда «изнутри – во вне» является С. Джобс: «Люди не знают, чего хотят, пока Вы им не покажете это» [15]. Или, например, [16] экспертами отмечено 4 ключевых компонента «великого замысла» или видения лидера А.Чжана: 1) создавать не коммерческий проект, а произведение искусства (убирать все ненужное, делать проще и сосредоточиться на эстетических качествах); 2) прислушивайтесь к пользователям избирательно, эмпатия только с тем, что совпадает с видением; 3) управляйте процессом «сверху вниз».

Если команда состоит из равных участников (толковых инженеров, ученых, инноваторов), а явного лидера нет, повысить вероятность успешного выхода инновации на рынок может усиление роли маркетинга, привлечение потребителей в качестве участников разработки, ориентация на целевую аудиторию, а не на всех потребителей, управление по модели «извне-внутри». Актуально также использовать такие методы создания концепции нового продукта, как, дизайн мышления, в котором применяется коллективный творческий процесс. Кроме того, актуальны, например, «Agile» методологии - гибкие технологии управления проектами самоорганизующейся командой профессионалов, готовых к постоянным изменениям, поиску новых возможностей рынка, мотивированных генерировать инновации [17]. Главное, чтобы участники команды умели договариваться друг с другом и партнерами, а также не допустить внутренней конкуренции профессионалов.

С другой стороны, к неудаче может привести инертность коллектива со сложившимися стереотипами поведения и мнений: нехватка времени, новшества требуют значительных затрат, не несут быстрой выгоды, отсутствуют навыки, нет инфраструктуры для инноваций [18]. Для инновационно-ориентированной компании предлагается подбирать специалистов с определенной моделью поведения или стимулировать такое поведение, при котором: 1) всегда можно что-то улучшить, 2) глубже понять явные и скрытые потребности клиентов, 3) активно

делиться идеями и взаимодействовать на работе и вне, 4) успех приносит эксперимент, быстрые доработки и частые ошибки, 5) поощряется разумный риск, выражение несогласия и поиск необходимых ресурсов. И все это будет иметь эффект только при быстром исполнении.

В тоже время, возникает противоречие: с одной стороны, необходимо создания инновационной среды, где все готовы генерировать новые идеи, экспериментировать, предлагать альтернативные решения, не бояться ошибок; с другой стороны, такая среда повышает уровень неопределенности, что требует искусного управления. Авторы исследования [18] подчеркивают важность творческую атмосферу уравнивать жесткими правилами поведения: нетерпимостью к некомпетентности, высоким уровнем личной ответственности, категоричной открытостью и социальным лидерством.

Следует отметить, что представленные исследования [19] охватывают десятилетие развития инноваций в России на примере 15 проектов с высоким потенциалом, но не реализованным в том виде, в котором задумывался. В этот же период последовательно проходила этапы становления и развития инновационная экосистема страны и регионов, формировались компетенции участников инновационной деятельности, создавались успешные практики инвестирования. На тренды развития экосистемы инноваций, как правило, влияли требования и потребности инновационного бизнеса, лоббирование интересов групп инноваторов. Таким образом, особенность инновационных проектов и компаний, участвовавших в исследовании [18] в том, что их реализация проходила в условиях внешней среды с достаточно прогнозируемыми изменениями в сторону улучшения условий для бизнеса и необходимостью трансформации моделей бизнеса для повышения конкурентоспособности и технологического лидерства.

Переход к новому технологическому укладу, новой экономике в условиях санкций и пандемии, жизнедеятельности в режиме самоизоляции многих стран одновременно, создают высокий уровень неопределенности и динамизма внешней среды для территорий и для бизнеса. Сложность ситуации в политике, экономике, социуме формирует состояние неопределенности среды и усиливает важность прогнозирования угроз, понимания трендов развития потенциальных потребностей потребителей для поиска новых возможностей. В такой ситуации необходима модель понимания окружающего мира, влияния эволюции среды на бизнес, например, модель «Кеневен» (автор Д. Сноуден), в которой инструменты управления проектами зависят состояния сложной системы [20].

Залогом успеха инновационного развития становится способность предугадывать перспективные направления развития технологий для новых рынков, ощущать влияние изменений ситуации и быстро реагировать, находить нестандартные решения и модели бизнеса, устанавливать коммуникации с партнерами, в том числе оказывая влияние на скорость изменений государственной научно-технической и инновационной политики.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вызов 2035/Агамерзян И.Р. и др.; Сост. Буров В.В. – М: Издательство «Олимп-Бизнес», 2016.-240с.
2. Национальные проекты: ключевые цели и ожидаемые результаты. Режим доступа: <http://www.government/projects/selection>
3. Национальная технологическая инициатива. Режим доступа: <http://www.nti2035.ru/nti>
4. Преодоление технологических барьеров Режим доступа: [http://www/rvc/overcoming\\_technological\\_barrers](http://www/rvc/overcoming_technological_barrers)
5. А. Повалко. Национальная технологическая инициатива: от прорывных продуктов к глобальным чемпионам // Инновации, 2019, № 11, С. 5-9
6. С. Жуков. Для привлечения новых команд нужна ясно изложенная стратегическая цель. Режим доступа: <https://ntinews.ru/blog/interview/sergey-zhukov-dlya-privlecheniya-novykh-komand-nuzhna-yasno-izlozhennaya-strategicheskaya-tsel.html>
7. Д. Песков. Волны технологий // Инновации, 2019, № 11, С.4
8. А.Боровков. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019года)/А.И.Боровков [и др.]. – СПб.:ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019.- 62с.
9. Целевые ориентиры «ТЕХНЕТ». Режим доступа: <http://www.technet-nti.ru/index/php>
10. М.Ананич, Г.Сапожников, Б.Ивлев. Региональная модель инновационной экономики/ Наука в Сибири № 16 (2901) 18 апреля 2013Режим доступа: <http://www.nsc.ru/article/phtml?nid=677&id=4>
11. Перечень поручений по итогам заседания Совета по науке и образованию и встречи с учёными Сибирского отделения РАН. Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/57300>
12. О проекте «Академгородок 2.0». Режим доступа [https://www.sbras.ru/ru/akademgorodok\\_2\\_0](https://www.sbras.ru/ru/akademgorodok_2_0)
13. Г.Сапожников. Проблемные вопросы и предложения по развитию региональной инновационной системы/Комитет Государственной Думы по науке и наукоемким технологиям.-М.: Центр Стратегического партнерства, 2008
14. Инновации: разбор полетов. Как ошибаются российские инновационные предприниматели /Под ред. Д. С. Медовникова. – М.: Стимул, 2019.-236с.
15. Д.Корст, К.Уптлер. Почему подход Джобса работает не для всех/Harvard Business Review-Россия, 17.01.2020 /[www.hbr-russia.ru](http://www.hbr-russia.ru)
16. Д.Биркиншоу и др. Великий китайский замысел: четыре урока инноваций от WeChat /Harvard Business Review-Россия, 16.01.2020 /[www.hbr-russia.ru](http://www.hbr-russia.ru)
17. Ю.Аппело. Agile менеджмент: лидерство и управление командами/Юрген Аннело; перевод с англ. - М.:Альпина Паблишер, 2019, - 534с.
18. П.Скотт. Полезные привычки инноваций/Harvard Business Review-Россия, 13.01.2019 /[www.hbr-russia.ru](http://www.hbr-russia.ru)
19. Г.Пизан. Горькая правда инноваций/Harvard Business Review-Россия, Режим доступа: [www.hbr-russia.ru](http://www.hbr-russia.ru)
20. Модель Кеневин (CynefinFramework). Режим доступа: <https://blog.unusual-concepts.ru/2012/12/03/cynefin/>

© М. И. Ананич, 2020

## **О ВЛИЯНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ НА КАЧЕСТВО ТРУДА**

*Аэлита Владимировна Шабурова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор экономических наук, директор Института оптики и технологий информационной безопасности, тел. (383)344-40-58, e-mail: aelita\_shaburova@mail.ru

*Тамара Андреевна Самойлюк*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры специальных устройств инноватики и метрологии, тел. (953)781-8128, e-mail: tamara120586@mail.ru

В статье рассмотрена взаимосвязь технологических инноваций и качества труда. Качество труда представляет собой интегральную характеристику степени соответствия результатов труда нормативным значениям. Основным показателем качества труда является производительность. Анализ статистических данных показывает, что в России очень низкая производительность труда. Внедрение технологических инноваций в производство позволит повысить данный показатель. Следовательно, окажет положительное влияние на качество труда.

**Ключевые слова:** технологические инновации, качество труда, производительность труда.

## **ON THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS ON THE QUALITY OF WORK**

*Aelita V. Shaburova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D.Sc, Director, Institute of optics and information security technologies, phone: (383)344-40-58, e-mail: aelita\_shaburova@mail.ru

*Tamara A. Samolyk*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Special Devices of Innovation and Metrology, phone: (953)781-8128, e-mail: tamara120586@mail.ru

The article considers the relationship between technological innovations and labor quality. Labor quality is an integral characteristic of the degree of compliance of labor results with normative values. The main indicator of labor quality is productivity. Analysis of statistical data shows that labor productivity in Russia is quite low. Introduction of technological innovations in production will increase this indicator. Therefore, it will have a positive impact on the quality of work.

**Key words:** technological innovations, labor quality, labor productivity.

В эпоху перехода к реализации концепции «Индустрия 4.0» происходит повсеместная цифровизация и автоматизация производственных процессов, внедрение искусственного интеллекта, что изменяет сущность труда работников.

Применение инновационных технологий в производстве товаров влияет на производительность труда, изменяет системы организации производства, подходы к управлению человеческими ресурсами.

Внедрение технологических инноваций в производство изменяет характер труда работников, делает его высокоинтеллектуальным, снижает долю монотонного ручного труда, повышает его качество. Анализ научной литературы показывает, что существует несколько подходов к определению понятия «качество труда» [1-10]:

1) Качество труда как совокупность качеств рабочей силы (физических, профессиональных, интеллектуальных и т. д.), которые позволяют достигать определенных результатов труда;

2) Качество труда как социально-экономическая категория, отражающая совокупность отношений между работником и работодателем по поводу процесса труда и его результатов;

3) Качество труда как степень соответствия характеристик трудового процесса на предприятии требованиям работников, работодателей и потребителей.

Качество труда представляет собой интегральную характеристику различных аспектов трудовой деятельности и их соответствия нормативным значениям. Качество труда, как и любой другой показатель, нуждается в оценке. Считаем, что наиболее подходящим критерием оценки качества труда является производительность [11– 14].

Проблема роста производительности труда важна как в России, так и в мире. Анализ динамики изменения производительности труда в мире показывает, что Россия отстает не только от развитых стран, но и некоторых развивающихся [12]. При этом следует отметить, что изменение значения индекса производительности труда в РФ в период с 2012 по 2017 гг. колебалось от 98,9 до 103,3 (рис. 1) [14].

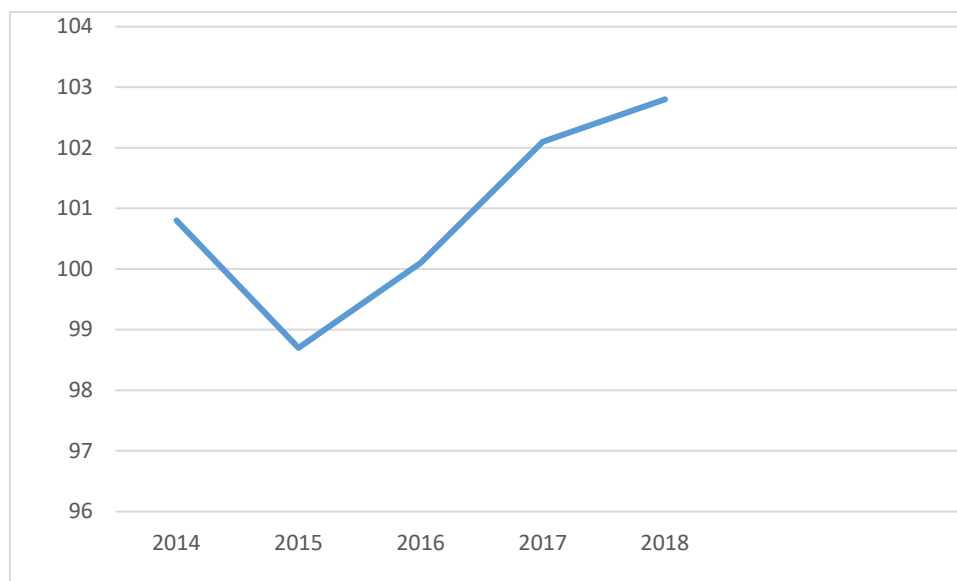


Рис. 1. Индекс производительности труда в РФ

Такие низкие значения индекса производительности труда свидетельствуют о необходимости кардинальных изменений в организации производства путем внедрения технологических инноваций, прорывных технологий. Отрицательную динамику мы наблюдаем в количестве высокопроизводительных рабочих мест по РФ в целом (рис. 2) [14].

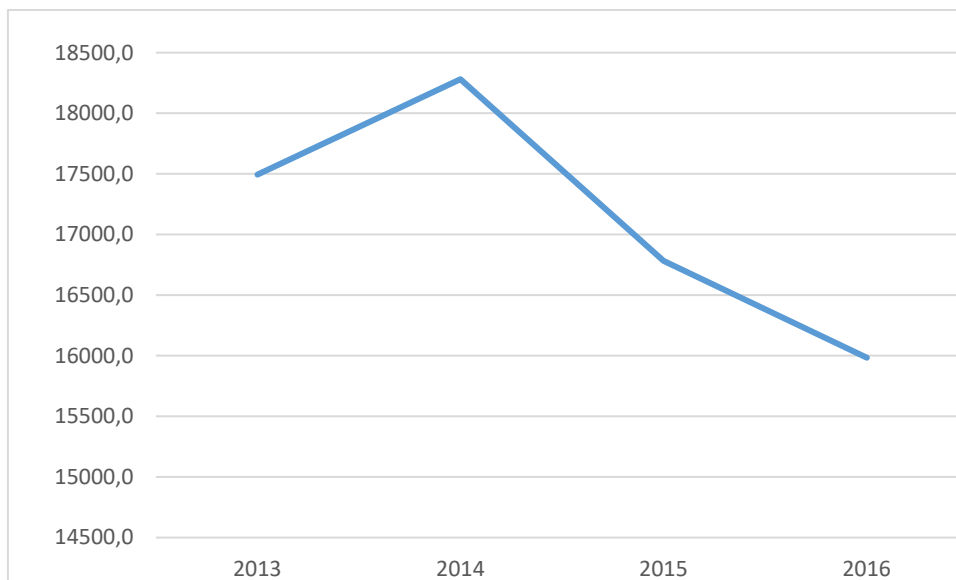


Рис. 2. Число высокопроизводительных рабочих мест в экономике РФ

Почти 20 % всех высокопроизводительных рабочих мест приходится на обрабатывающую промышленность, 12 % на государственное управление и обеспечение военной безопасности, социальное страхование.

Одной из причин низкой производительности труда является износ оборудования. Статистические данные показывают, что износ основных производственных фондов в РФ составляет около 47 % (рис. 3).

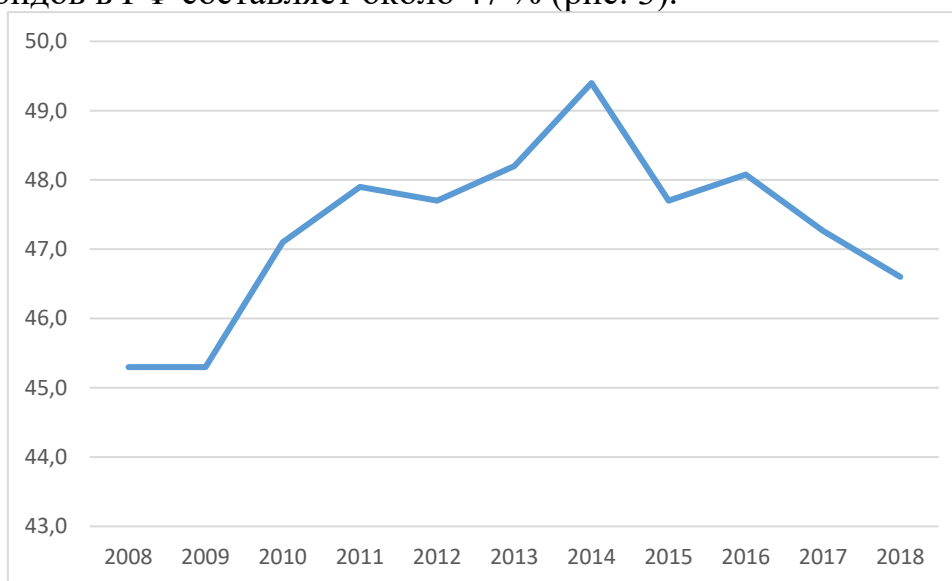


Рис. 3. Степень износа основных фондов в РФ



Полученные результаты исследования свидетельствуют о необходимости обновления основных производственных фондов. Решение проблемы повышения качества труда требует применения последних достижений науки и техники при организации производства, всеобщей цифровизации, использования «умных» технологий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большая российская энциклопедия <https://bigenc.ru/economics/text/2054324>
2. Гелета И.В., Шабанова В.А. Качество труда работников как инструмент успешного функционирования предприятия // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2015. № 6. Ч. 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2015/06/9284> (дата обращения: 07.02.2019).
3. Демидько Е. В. Определение понятия качества труда // Общество № 3 (8) - 2017 С. 17
4. Каргина Е.Б., Миненкова Ю.А. Управление изменениями, или Двенадцать шагов совершенствования бизнес-процессов // Методы менеджмента качества. 2012. №5. С. 11 – 13
5. Жук С.С. Взаимосвязь качества трудовых ресурсов, качества труда и его стимулирования: эволюция научной мысли // Проблемы современной экономики № 2-1 2010 С. 33
6. Зеренков В. Г., Белобрагин В. Я. От качества жизни к качеству труда // Стандарты и качество № 7 2009 С. 86-88
7. Тарасова Г. М. Качество труда как основа создания качества продукции // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки № 1-1 2014 С. 304-307
8. Лантушенко Л.С. Управление качеством трудовой жизни как фактора повышения эффективности труда на предприятии в системе менеджмента качества // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития № 16 2014 С. 82-87
9. Стефанова Т.Г., Козимянец К.В. Качество труда в системе менеджмента качества // Известия Санкт-петербургского государственного экономического университета № 3 (99) 2016 С. 86
10. Кудрявцева И. Г. Управление качеством труда // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции: в 2-х томах, 2015 С. 307-308
11. Партин Р.В. В поисках экономического эффекта // Методы менеджмента качества. 2012. №8. С. 47 – 49
12. Козимянец К.В. Методика оценки качества труда в контексте анализа системы менеджмента качества // успехи современной науки и образования. №7 Т.3 2016 С. 103-107
13. Смола Н.В. Качество труда как элемент системы менеджмента качества и управления персоналом // новая наука: опыт, традиции, инновации № 10-1 2016 С. 217-221
14. Эффективность экономики России <https://www.gks.ru/folder/11186?print=1>

© А. В. Шабурова, Т. А. Самойлюк, 2020

## **КАК «РЕГУЛЯТОРНАЯ ГИЛЬОТИНА» ПОВЛИЯЕТ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СЛУЖБЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ?**

***Константин Александрович Шакалов***

Общество с ограниченной ответственностью «Центр сертификации и метрологии», 630009, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 31, к12а, главный метролог, тел. 8(383) 207-54-60, доб. 911, e-mail: K.shakalov@ncspu.ru

***Александр Николаевич Матвеев***

Общество с ограниченной ответственностью «Центр сертификации и метрологии», 630009, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 31 к12а, заместитель главного метролога, тел. 8(383) 207-54-60, доб. 914, e-mail: a.matveev@ncspu.ru

***Алексей Анатольевич Петруха***

Общество с ограниченной ответственностью «Центр сертификации и метрологии», 630009, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова 31 к12а, заместитель главного метролога по качеству, тел. 8(383) 207-54-60, доб. 924, e-mail: a.petruha@ncspu.ru

В статье рассматривается понятие «регуляторной гильотины» и то, как ее реализация в Российской Федерации отразится на области обеспечения единства измерений. Согласно заложенным принципам «гильотины» нормативные требования, которые негативно влияют на существование и развитие предпринимательской деятельности должны быть выявлены и либо полностью упразднены, либо максимально упрощены. Правительством Российской Федерации был разработан план мероприятий («дорожная карта») по реализации механизма «регуляторной гильотины», согласно которому все морально устаревшие нормативные акты будут отменены или утратят силу на территории Российской Федерации, а вместо них будут разработаны новые - соответствующие современным тенденциям и реалиям. Кроме того, будут построены новые системы правового регулирования в соответствующих сферах деятельности, основанные на принципах открытости, научно-технической обоснованности, риск-ориентированности, соразмерности и выполнимости.

Так как область обеспечения единства измерений неразрывно связана с большинством сфер деятельности: от производства и производительности труда, до обеспечения обороноспособности и национальной безопасности, то любые ее изменения будут отражаться на социально-экономическом развитии страны.

**Ключевые слова:** регуляторная гильотина, метрологические службы, реформы.

## **HOW «REGULATORY GUILLOTINE» WILL AFFECT ON METROLOGICAL SERVICES OF PRODUCTION COMPANIES?**

***Konstantin A. Shakalov***

Limited liability company «Certification and Metrology Center», 31, building 12A, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630009, Russian Federation, Chief Metrologist, phone: 8(383) 207-54-60, ext. 911, e-mail: k.shakalov@ncspu.ru

***Alexander N. Matveev***

Limited liability company «Certification and Metrology Center», 31, building 12A, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630009, Russian Federation, Deputy Chief Metrologist, phone: 8(383) 207-54-60, ext. 914, e-mail: a.matveev@ncspu.ru

**Alexey A. Petrukha**

Limited liability company «Certification and Metrology Center», 31, building 12A, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630009, Russian Federation, Deputy Chief Metrologist for quality, phone: 8(383) 207-54-60, ext. 924, e-mail: a.petruha@ncspu.ru

The article discusses the concept of “regulatory guillotine” and how its realization in the Russian Federation will affect on the field of assurance of measurement uniformity. According to the principles of the “guillotine”, regulatory requirements that negatively affect the existence and development of entrepreneurial activity should be identified and either completely eliminated or maximally simplified. The Government of the Russian Federation has developed an action plan (“roadmap”) for the realization of the “regulatory guillotine” mechanism, according to which all obsolete regulations will be repealed or no longer valid in the territory of the Russian Federation, and new ones will be developed in their place, corresponding to actual trends and realities. In addition, new systems of legal regulation will be built in the relevant areas of activity, based on the principles of openness, scientific and technical soundness, risk-based orientation, proportionality and feasibility.

Since field of assurance of measurement uniformity is inextricably linked with most fields: from production and labor productivity, to ensuring defense capabilities and national security, any reforms will affect on the country's social and economic development.

**Key words:** regulatory guillotine, metrological services, reforms.

Правительство запустило глобальную операцию по обновлению нормативно-регуляторной базы под громким названием «Регуляторная гильотина». Понятие «регуляторная гильотина», широко известное на Западе, должно охватить все сферы предпринимательской деятельности, в которых имеется заметное торможение и снижение экономической эффективности. Область обеспечения единства измерений не осталась в стороне. Однако, метрология – точная наука, и пословица «семь раз - отмерь, один раз отрежь» подходит как никогда кстати.

Кто придумал «гильотину»?

Сам термин «регуляторная гильотина» был предложен международной консалтинговой компанией Jacobs, Cordova & Associates, которая и разработала данную концепцию.

Гильотина - это упорядоченное, систематическое, прозрачное, быстрое и недорогое средство подсчета, а затем анализа большого числа нормативных актов на основе четких научных критериев, хорошего регулирования и устранения тех, которые больше не нужны. Это приводит к экономически значимому сокращению нормативных издержек для предприятий либо в масштабах всего правительства, либо нацелено на конкретные проблемные области, такие как лицензии или отрасли. Широкое участие заинтересованных сторон помогает обеспечить реалистичность и актуальность обзоров.

Основные принципы «регуляторной гильотины»:

Любое регулирование, которое не оправдано как законное и необходимое для государственной политики, будет отменено. Любое регулирование, которое является законным и необходимым, но неблагоприятным для бизнеса, будет максимально упрощено.

В первую очередь проводится инвентаризация и составляется перечень нормативно-правовых актов, влияющих на бизнес. Далее каждый акт оценивается с

точки зрения законности, необходимости, актуальности и адекватности. После проверки акты подразделяются на три категории: оставлять, упрощать или исключать. Затем в качестве комплексного процесса предпринимаются шаги по устранению ненужных нормативных актов и упрощению слишком сложных.

«Регуляторная гильотина» устраняет и упрощает многие правила за короткий период при низких затратах, одновременно усиливая способность правительства сосредоточиться на регулировании вопросов здравоохранения, безопасности и защиты окружающей среды. При успешной реализации «гильотины» издержки и риски ведения предпринимательской деятельности в национальной экономике будут заметно снижены, что повысит конкурентоспособность, создаст благоприятную среду для инвестиций и рабочие места.

Южная Корея, 11-я крупнейшая экономика в мире, за 11 месяцев проведения «регуляторной гильотины» рассмотрела 11125 нормативных документов и ликвидировала почти половину из них, что позволило создать более миллиона рабочих мест и привлечь 36 млрд. долларов США иностранных инвестиций в результате снижения барьеров для входа в бизнес и затрат на его содержание.

В табл. 1 представлена сводка проведенных регуляторных гильотинных реформ в странах и эффект от их реализации [1].

Таблица 1

Сводка проведенных регуляторных гильотинных реформ

Страна	Тип обзора	Назначение регулирования	Количество нормативных документов до анализа	Количество упраздненных нормативных актов, %	Количество упрощенных нормативных актов, %	Экономический эффект
Вьетнам	законность, необходимость, стоимость	все процедуры на всех уровнях правительства	5421	8,8	77	Экономия затрат в 1,4 млрд. долларов в год
Южная Корея	законность, необходимость, стоимость	регуляторные нормативные акты	11125	48,8	21,7	1 066 200 новых рабочих мест, экономия затрат на бизнес: + 4,4% ВВП / 10 лет
Кения	законность, необходимость, стоимость	лицензии и налоги	1315	24	29	Экономия средств для предприятий оценивается в 146 млн. долл. США в год или 0,06% ВВП
Хорватия	законность, необходимость, стоимость	Правила ведения бизнеса	1451	15	10	Экономия в размере 65,6 млн. Долл. США в год или 0,13% ВВП

Как видно из таблицы концепция «регуляторной гильотины» работает, но процедура требует тщательного анализа и вовлечения бизнеса.

Правильно выбранная стратегия – половина успеха.

В рамках подготовки и разработки стратегического документа «Стратегии развития 2018-2024» по поручению президента России, Центр стратегических разработок провел исследования действующей в России регуляторной политики, с её неэффективными, несбалансированными и попросту парадоксальными нормами, оказывающими непосредственное негативное влияние на повседневную практику ведения предпринимательской деятельности [2].

С целью устранения избыточного и неэффективного правового регулирования была предложена концепция перехода к «умной» регуляторной политике, наряду с внедрением современных управленческих методов в государственное управление, кадровой политики и проведения масштабной цифровой трансформации.

Одним из направлений предложенного комплекса мер, созданного на основе международного опыта и опирающегося на уже созданные в России механизмы, является формирование специального механизма устранения неэффективного нормативного правового регулирования, создание комиссии по дерегулированию и порядка осуществления «Регуляторной гильотины».

«Регуляторная гильотина» является одним из инструментов регуляторной политики, который направлен на сокращение объема административных обременений для предпринимательской деятельности. Механизм предусматривает масштабный анализ, пересмотр и отмену нормативно-правовых актов, требования которых не соответствуют современным реалиям, «тормозят» развитие бизнеса или попросту противоречат друг другу. Правительством России было принято решение проводить административную реформу контрольно-надзорной деятельности, направленной на повышение уровня безопасности и устранение избыточной административной нагрузки на субъекты предпринимательской деятельности.

Председателем Правительства Российской Федерации Д.А. Медведевым был утвержден план мероприятий («дорожная карта») по реализации механизма «регуляторной гильотины» №4714п-ПЗ6 от 29.05.2019г. в рамках которого на данный момент уже разработаны проекты федеральных законов о государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации, об обязательных требованиях, и выпущены Постановления Правительства о внесении изменений в некоторые законодательные акты, о признании утратившими силу на территории Российской Федерации актов СССР, РСФСР и нормативных правовых актов Правительства Российской Федерации [3].

Федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими контрольно-надзорные функции, на которые в первую очередь распространяется механизм «регуляторной гильотины» стали МВД, МЧС, Росприроднадзор, Минпромторг, Минэкономразвития, в том числе входящие в них: Росстандарт и Росаккредитация. При Правительственной комиссии по проведению административной реформы была организована подкомиссия по совершенствованию контрольных (надзорных) и разрешительных функций и созданы рабочие группы по каждой сфере: развитие конкуренции, реклама, оценка соответствия, миграция,

безопасность дорожного движения, здравоохранение, обеспечение единства измерения и многие другие.

В состав рабочих групп в области оценки соответствия и обеспечения единства измерений вошли представители различных профильных Министерств, Росстандарта, Росаккредитации и бизнеса, перед которыми стоит задача формирования новой структуры нормативного регулирования в указанных сферах. В полномочия рабочих групп входит участие в рассмотрении структуры нормативного регулирования и перечня планируемых к принятию нормативных правовых актов. В перечень рассматриваемых вопросов группы по оценке соответствия входит федеральный государственный контроль за деятельностью аккредитованных лиц. На данный момент отменено 148 нормативных актов, готовится к принятию 7.

Группа по обеспечению единства измерений перерабатывает систему государственного метрологического надзора и утверждения типа стандартных образцов и типа средств измерений. В настоящее время готовятся Постановления Правительства об отмене 18 нормативных актов. 30 января 2020 года Правительство Российской Федерации постановило, что с 1 января 2021 года утрачивают силу и отменяются нормативные правовые акты, содержащие обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении контроля за деятельностью аккредитованных лиц [4]. В итоге под «нож» попали требования к формированию и ведению реестра сертификатов соответствия, порядку аккредитации на право негосударственной экспертизы проектной документации, различные правила сертификации и системы сертификации, а также критерии аккредитации.

Согласно протоколу заседания подкомиссии по совершенствованию контрольных (надзорных) и разрешительных функций федеральных органов исполнительной власти при Правительственной комиссии по проведению административной реформы № 12 от 29 апреля 2020 года были одобрены проекты федеральных законов «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений», «О внесении изменений в Федеральный закон «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» и Постановления Правительства об отмене нормативных актов, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при государственном метрологическом надзоре, среди которых приказ Минпромторга России от 2 июля 2015 года №1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» [5].

11 июня 2020 года на сайте Федерального портала проектов нормативных правовых актов на общественное обсуждение представлен проект «новых» критериев аккредитации [6]. «Новых» в кавычках неспроста: из существенных изменений - вынесение требований к калибровочным лабораториям отдельной главой, указание на необходимость испытательных и калибровочных лабораторий соответствовать ГОСТ ISO/IEC 17025-2019, а положения, касающиеся метрологических служб занимающихся поверкой средств измерений, практически слово в слово дублируют прошлую редакцию [7].

Позже на обсуждение вынесен проект документа «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержа-

нию свидетельства о поверке», разработанный в связи с принятием Федерального закона от 27.12.2019 №496-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений», согласно которому первоочередным результатом поверки будут являться сведения, переданные в Федеральный информационный фонд, а свидетельство о поверке будет оформляться по желанию заказчика в электронном или бумажном виде, как дополнительная услуга [8].

Таким образом, реализация «регуляторной гильотины» позволяет взвешенно «отрезать» все старые и неуместные нормативные документы, сформировать новую контрольно-надзорную систему. А так же предоставить возможность перехода системы обеспечения единства измерения на максимально доступный уровень цифровизации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Что такое регуляторная гильотина [Electronic resource]. – Mode of access: <http://regulatoryreform.com/regulatory-guillotine> (дата обращения: 10.06.2020).
2. Голодникова А. Е., Ефремов А. А., Соболев Д. В., Цыганков Д. Б., Шклярчук М. С. Регуляторная политика в России: основные тенденции и архитектура будущего. М.: Центр стратегических разработок, 2018. 72 с.
3. План мероприятий ("дорожная карта") по реализации механизма "регуляторной гильотины" [Электронный ресурс] : утв. Правительством РФ 29.05.2019 N 4714п-ПЗ6. Доступ из справ.правовой системы «Консультант Плюс».
4. О признании утратившими силу нормативных правовых актов и отдельных положений нормативных правовых актов Правительства Российской Федерации, об отмене нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении федерального государственного контроля за деятельностью аккредитованных лиц [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 30.01.2020 N 65. Доступ из справ. правовой системы «Консультант Плюс».
5. Протокол заседания подкомиссии по совершенствованию контрольных (надзорных) и разрешительных функций федеральных органов исполнительной власти при Правительственной комиссии по проведению административной реформы № 12 от 29 апреля 2020 года [Electronic resource]. – Mode of access: <https://knd.ac.gov.ru/wp-content/uploads/2020/05/Protokol-12-ot-29.04.2020.pdf> (дата обращения: 10.06.2020).
6. Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации [Электронный ресурс] : Проект приказа Минэкономразвития России. Доступ с Федерального портала проектов нормативных документов.
7. Об утверждении Критериев аккредитации, перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации, и перечня документов в области стандартизации, соблюдение требований которых заявителями, аккредитованными лицами обеспечивает их соответствие критериям аккредитации [Электронный ресурс]: Приказ Минэкономразвития России от 30.05.2014 N 326 (ред. от 19.08.2019). Доступ из справ.правовой системы «Консультант Плюс».
8. Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке [Электронный ресурс]: Проект приказа Минпромторга России. Доступ с Федерального портала проектов нормативных документов.

© К. А. Шакалов А. Н. Матвеев, А. А. Петруха, 2020

## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ**

*Владимир Сергеевич Крылов*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, преподаватель кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (923)223-39-97, e-mail: basnivova@mail.ru

*Андрей Сергеевич Томилов*

Западно-Сибирский филиал ФГУП «ВНИИФТРИ», 630004, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, заместитель начальника отдела № 8, тел. (383)210-11-85, e-mail: tomber1@yandex.ru

*Александр Сергеевич Толстиков*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (913)940-13-23, e-mail: tolstikov@sstf.nsk.ru

В статье представлены существующие подходы к определению параметров движения искусственных спутников Земли. Для эфемеридно-баллистического обеспечения данная задача сводится к решению системы алгебраических уравнений. В условиях недостаточности результатов траекторных измерений с беззапросных измерительных станций, имеющих на ограниченном участке поверхности Земли, и с учетом факторов, влияющих на точность псевдодалномерных измерений, система алгебраических уравнений имеет неточно заданную правую часть. Для повышения точности траекторных измерений предлагается использовать современные методы обработки результатов косвенных измерений. Наиболее эффективным методом, для улучшения обусловленности матрицы указанной системы, предлагается метод «инструментальных переменных».

**Ключевые слова:** искусственный спутник Земли, орбитальная группировка, эфемериды, траекторные измерения, уравнения измерений, начальные условия, инструментальные переменные, обусловленность.

## **EXISTING APPROACHES TO DETERMINING THE MOTION PARAMETERS OF ARTIFICIAL EARTH SATELLITES**

*Vladimir C. Krylov*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10 Plahotnogo St., Novosibirsk, 630108, Teacher, Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (923)223-39-97, e-mail: basnivova@mail.ru

*Andrey C. Tomilov*

West Siberian branch of FSUE "VNIIFTRI", 4, Dimitrov St., Novosibirsk, Russia, Deputy Head of the Department no. 8, phone: (383)210-11-85, e-mail: tomber1@yandex.ru



**Alexander C. Tolstikov**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Professor, Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (913)-940-13-23, e-mail: [tolstikov@sstf.nsk.ru](mailto:tolstikov@sstf.nsk.ru)

The article presents existing approaches to determining the motion parameters of artificial earth satellites. For ephemeris-ballistic support, this problem is reduced to solving a system of algebraic equations. In conditions of insufficient results of trajectory measurements from unquestioned measuring stations located on a limited area of the Earth's surface, and taking into account factors that affect the accuracy of pseudo-long-range measurements, the system of algebraic equations has an imperfectly defined right side. To improve the accuracy of trajectory measurements, it is proposed to use modern methods of processing the results of indirect measurements. The most effective method for improving the conditionality of the matrix of the specified system is the method of "instrumental variables".

**Key words:** artificial earth satellite, orbital group, ephemeris, measurements trajectory of motion, equation of measurements, instrumental variables, conditionality.

### **Введение**

Определение орбит космических объектов, движущихся в поле притяжения тел с большой массой, – классическая задача «Небесной механики» [1, 2].

С развитием спутниковых навигационных технологий [3, 4] существенно возросли требования к точности и надежности позиционирования навигационных спутников (НС) на орбитах. При этом высокоточное определение параметров движения НС является ключевой задачей эфемеридно-баллистического обеспечения (ЭБО) спутниковых навигационных систем.

Совершенствование ЭБО навигационных систем идет по пути улучшения применяемых бортовых и наземных аппаратурных комплексов [4, 5] и развития методологической базы спутниковых навигационных технологий [6, 7].

Наряду с указанными направлениями представляется перспективным привлечение алгоритмических путей повышения точности позиционирования НС, опирающихся на современные методы обработки результатов косвенных измерений [6, 8, 9].

Обсуждению возможностей такого алгоритмического подхода к повышению точности определения параметров движения НС по результатам выполняемых траекторных измерений по НС посвящена настоящая статья.

### **Обсуждение задачи определения параметров движения навигационных спутников**

Орбитальное движение навигационных спутников в околоземном пространстве описывается в общем случае дифференциальным уравнением вида

$$\dot{\mathbf{u}}(t) = \mathbf{F}(\mathbf{u}(t), \mathbf{s}(t), \boldsymbol{\theta}_1), t \in [t_0, t_N], \quad (1)$$

где  $\mathbf{u}(t) \in R^n$  – расширенный вектор состояния орбитальной группировки  $n$  НС, включающий в себя параметры движения каждого спутника

$\mathbf{u}_i^T(t) = (x_i(t), y_i(t), z_i(t), V_{xi}(t), V_{yi}(t), V_{zi}(t))$ , представляющие собой проекции вектора положения и вектора скорости движения НС на оси принятой системы координат;  $\mathbf{s}(t)$  – вектор возмущений, влияющих на движение спутника, таких как гравитационное воздействие Луны и Солнца, несферичность гравитационного поля Земли, радиационное давление солнечного излучения и другие воздействия различной природы [2, 6];  $\boldsymbol{\theta}_1$  – вектор параметров модели движения, включающий в себя вектор начальных условий

$$\mathbf{u}_i^T(t_0) = (x_i(t_0), y_i(t_0), z_i(t_0), V_{xi}(t_0), V_{yi}(t_0), V_{zi}(t_0)), i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

вектор параметров моделей радиационного давления, параметры вращения Земли и другие параметры.  $\mathbf{F}(\bullet)$  – гладкая вектор функция, допускающая дифференцирование по компонентам вектора состояния  $\mathbf{u}(t)$ , вектора возмущений  $\mathbf{s}(t)$  и вектора параметров  $\boldsymbol{\theta}_1$ .

Уравнение (1) справедливо при описании движения НС в кинематических элементах  $x_i(t), y_i(t), z_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$  и при использовании оскулирующих (неособенных) элементов [1, 2], представляющих собой комбинации кеплеровских параметров орбиты.

В дальнейшем, не изменяя идейной стороны подхода, будем рассматривать движение одного НС ( $i = 1$ ), зависящее от начальных условий уравнения движения (2).

Исходную информацию для вычисления оценок параметров движения НС  $\bar{\mathbf{u}}(t_k), t_k \in [t_0, t_N]$  получают из результатов траекторных измерений  $\mathbf{D}(t_k) \in R^m$ , выполняемых с сети беззапросных измерительных станций (БИС), в зонах радиовидимости которых находятся НС орбитальной группировки. В общем виде уравнение траекторных измерений имеет вид

$$\mathbf{D}(t_k) = \mathbf{H}(\mathbf{u}(t_k), \mathbf{w}(t_k), \boldsymbol{\theta}_2) + \mathbf{V}(t_k), t_k \in [t_0, t_k], \quad (3)$$

где  $\mathbf{D}(t_k)$  – вектор кодовых и фазовых псевдодалномерных измерений, выполняемых с сети БИС;  $\mathbf{H}(\bullet) \in R^m$  – нелинейная  $m$ -мерная вектор функция, допускающая дифференцирование по  $\mathbf{u}(t_k), \mathbf{w}(t_k)$  и  $\boldsymbol{\theta}_2$ ;

$\mathbf{w}(t_k)$  – вектор факторов, влияющих на точность псевдодалномерных измерений (уходы бортовых часов и часов БИС, задержки навигационного сигнала в ионосферном и тропосферном слоях, неоднозначности фазовых измерений, проявление многопутности распространения навигационного сигнала и другие факторы);

$\theta_2$  – вектор неизвестных параметров математических моделей влияющих факторов (параметров нестабильности применяемых часов, параметры моделей тропосферной и ионосферной задержек и другие параметры);

$\mathbf{V}(t_k)$  –  $l$ -мерный вектор случайных погрешностей псевдодальномерных измерений;

$t_k$  – моменты фиксации результатов измерений.

О возмущениях  $\mathbf{s}(t)$ , влияющих факторов  $\mathbf{w}(t_k)$  и погрешностях случайной природы принимаются следующих предположения:

$$\mathbf{s}(t) \in N[M_s = 0; R_s(t) \cdot \delta(t - \tau)];$$

$$\mathbf{w}(t) \in N[M_w = 0; R_w(t) \cdot \delta(t - \tau)];$$

$$\mathbf{V}(t) \in N[M_v = 0; R_v(t) \cdot \delta(t - \tau)];$$

$$M[\mathbf{u}(t_0)] = \bar{\mathbf{u}}(t_0);$$

$$M\left\{[\mathbf{u}(t_0) - \bar{\mathbf{u}}(t_0)][\mathbf{u}(t_0) - \bar{\mathbf{u}}(t_0)]^T\right\} = \mathbf{P}(t_0) - \text{ковариационная матрица};$$

$\mathbf{w}(t)$  и  $\mathbf{V}(t)$  некоррелированные.

Необходимо учитывать следующие обстоятельства.

1. Движение НС описывается в инерциальной системе координат (ИСК), а БИС определены в Гринвичской системе координат (ГСК), связанной с вращающейся Землей. Связь инерциальных и гринвичских координат осуществляется с помощью линейных матричных преобразований, содержащих параметры вращения Земли. Процедура приведения координат из ГСК в ИСК обсуждается в [5].

2. Также необходимо учитывать то обстоятельство, что за время от момента выхода навигационного сигнала с антенны НС  $t_1$  до момента прихода этого сигнала на приемную антенну БИС  $t_2$  спутник проходит определенное расстояние по орбите. В задаче определения параметров движения НС необходимо приведение результатов траекторных измерений  $\mathbf{D}(t_1)$  к моменту  $t_1$ .

3. Необходимо отметить, что уравнения траекторных измерений (3) справедливы при условии нахождения НС в зоне его радиовидимости от БИС. Чтобы обеспечить достаточное покрытие орбиты НС данными измерений, необходимо привлекать в обработку результаты измерений с БИС, распределенных по поверхности Земли.

Для выполнения последнего условия возникают необходимость привлечения методов, повышающих информативность траекторных измерений на дугах орбит НС, где данных измерений недостаточно. К таким методам повышения информативности измерений можно отнести метод «Инструментальных переменных» [8].

В практике формирования ЭБО навигационных систем используется три подхода для получения оценок параметров движения НС.

1. Из условий наблюдаемости динамической системы, описываемой дифференциальным уравнением движения НС [9].

2. Текущее оценивание вектора состояния динамической системы  $\mathbf{u}(t)$  с помощью рекуррентных процедур калмановского типа [11].

3. На основе комбинированных алгоритмов, совмещающих применение первого и второго подходов [12].

### *Определение параметров движения НС из условий наблюдаемости динамической системы*

Задача сводится к формированию на основе уравнений измерений (3) и уравнения движения НС (1) системы алгебраических уравнений с неточно заданной правой частью

$$\mathbf{A}(t_k) \cdot \mathbf{u}_0 = \mathbf{Y}(t_k) + \mathbf{V}(t_k), t_k \in [t_0, t_{xj}] \quad (4)$$

и ее решению относительно вектора начальных условий  $\mathbf{u}_0$ .

Расчет исправленной орбиты НС  $\bar{\mathbf{u}}(t)$  происходит путем интегрирования уравнения движения (1) с использованием полученных оценок начальных условий  $\bar{\mathbf{u}}_0$ .

В уравнениях (4) элементы матрицы  $\mathbf{A}(t_k) - a_{ij}(t_k)$  представляют собой линейные комбинации направляющих косинусов

$$\psi(t_k) = \frac{\partial \rho_i(\mathbf{u}(t_k), \mathbf{u}_{\text{БИС}}(t_k))}{\partial [x(t_k), y(t_k), z(t_k)]}, \quad [3,4]$$

определяющих направления радиотрасс измерений от применяемых БИС до НС

и изохронных производных  $q(t) = \frac{\partial (x(t), y(t), z(t), V_x(t), V_y(t), V_z(t))}{\partial [x_0, y_0, z_0, V_{x0}, V_{y0}, V_{z0}]}$ , определяющих чувствительность компонентов решения  $\mathbf{u}(t)$  к вариации начальных

условий  $\mathbf{u}_0$ . Здесь

$$\rho_i(\mathbf{u}(t_k), \mathbf{u}_{\text{БИС}}(t_k)) = \sqrt{[x(t_k) - x_{\text{БИС}j}(t_k)]^2 + [y(t_k) - y_{\text{БИС}j}(t_k)]^2 + [z(t_k) - z_{\text{БИС}j}(t_k)]^2}$$

- текущая геометрическая дальность от НС до  $j$ -ой БИС.

Возникающие проблемы обеспечения высокоточного определения параметров движения НС из условий необходимости достаточно тесно связаны со степенью обусловленности матрицы  $\mathbf{A}(t_k)$  в уравнении (4). Эта ситуация проявляется

при расширении размерности вектора состояния  $\mathbf{u}(t)$  за счет включения в состав вектора неизвестных параметров  $\theta_1$  и  $\theta_2$  в уравнениях (1) и (3).

Улучшению степени обусловленности матрицы способствует привлечение большого числа БИС в качестве источника псевдодальномерных измерений.

Необходимо заметить, что в алгоритмах оценивания вектора  $\mathbf{u}(t)$  с помощью рекуррентных процедур и для комбинированных алгоритмов малая степень обусловленности матрицы проявляется в потере устойчивости алгоритма оценивания и в потере чувствительности алгоритма к поступающим изменениям.

Для ЭБО ГЛОНАСС проблемным являются малое покрытие орбит измерениями на участках орбит южного полушария Земли, где количество БИС недостаточное.

Преодолеть указанные трудности представляется возможным за счет повышения информативности результатов траекторных измерений путем формирования дополнительных  $m$  уравнений с помощью «инструментальных переменных», представляющих собой систему  $m$  линейно независимых на интервале  $t_k \in [t_0, t_{xj}]$  функций  $\gamma_m(t_k)$ .

Эффективность применения метода инструментальных переменных в задачах определения параметров движения НС были показаны в работе [8]. Требуется дополнительные исследования в части выбора самих инструментальных переменных, выбора наилучшей конфигурации применяемых БИС.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брауэр Д., Клеменс Дж. Методы небесной механики. – М.: МИР, 1964. – 513 с.
2. Дубошин Г.Н. Справочное руководство по небесной механике. – М.: НАУКА, 1978 – 864 с.
3. Шебшаевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1993 – 408 с.
4. Харисов В.Н., Перов А.И., Болдин В.А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М.: ИПРЖР, 1998 – 400 с.
5. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Редакция 5.1. – М.: РНИИ КП, 2008 – 74 с.
6. Бартенев В.А., Гречкосеев А.К., Козорез Л.А., Красильщиков М.Н. Современные и перспективные информационные ГНСС-технологии в задачах высокоточной навигации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014 – 192 с.
7. NAPEOS. Mathematical Models and Algorithms. :Springer, 2009 – 150 p.
8. Толстиков А.С., Томилов А.С., Чубич В.М., Черникова О.С. Алгоритмические пути повышения точности координатно-временных определений. Доклады международного симпозиума «Метрология времени и пространства». – М.: 2018 – 13 с.
9. Урмаев М.С. Орбитальные методы космической геодезии. – М.: Наука, 1981 – 256 с.
10. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В двух томах. – М.: Картгеоцентр, 2006 – 340 с.
11. Grewal M.S., Andrews A.P. Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB. – New York, USA, 2001 – 410 p.
12. Бартнев В.А., Гречкосеев А.К. Комбинированный алгоритм определения и прогнозирования параметров движения ИСЗ с использованием адаптации. Космические исследования. – М.: 1986 – с. 564-574.

13. P. Stocia, T. Soderstrom Optimal Instrumental Variable Estimates of the AR Parameters of an ARMA Process. IEEE Transactions on automatic control, vol. AC-30. 1985 – 9 p.
14. Эскобал П. Методы определения орбит. – М.: МИР, 1970 – 472 с.
15. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Методы теории движения искусственных небесных тел. – М.: Наука, 1983 – 352 с.
16. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – М.: Наука, 1991 – 432 с.
17. Бордовицина Т.В. Теория движения искусственных спутников Земли. Аналитические и численные методы. – Томск: Изд. Томского ун-та, 2007 – 178 с.
18. С.А. Мирер Механика космического полета. Орбитальное движение. – М: 2013 – 106 с.
19. Мудров В.И. Методы обработки измерений: квазиподобные оценки. – М.: Ленанд, 2014 – 304 с.
20. Эльясберг П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. – М.: Наука, 1965 – 540 с.

© В. С. Крылов, А. С. Томилов, А. С. Толстиков, 2020

## **ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ В ЕВРОПЕ И РОССИИ ПО ИХ КОРРЕЛЯЦИИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ**

*Виктор Мартынович Тиссен*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)229-75-30, e-mail: tissen.ksn@yandex.ru

В статье проведены сведения о взаимосвязях между изменениями глобальной температурой на Земле и вариациями скорости ее вращения. Особое внимание уделено изучению корреляции между наступлением аномальных теплых и холодных зим евроазиатского континента и резкими изменениями скорости вращения Земли. Замечено, что в периоды резкого замедления скорости в 20 и 21 веке имели место аномально холодные зимы, а в периоды ускорения аномально теплые. Так, периоды ускорения и замедления скорости вращения Земли приходились соответственно на теплые или холодные зимы во всех случаях, кроме зимы 1964/65 г., когда вращение Земли происходило относительно равномерно. На основании полученной 90 % корреляции числа совпадений аномальных зим с резкими изменениями скорости ВЗ, а также вычисленному прогнозу скорости вращения Земли до 2030 сделан вывод о том, что с 2024 по 2026 г. на территории России и Европы следует ожидать наступления аномально холодной зимы.

**Ключевые слова:** Земля, вращение, моделирование, температура, прогноз, аномалия, корреляция, зима.

## **FORECAST OF TEMPERATURE ANOMALIES IN EUROPE AND RUSSIA BY THEIR CORRELATION WITH CHANGES IN THE EARTH'S ROTATION SPEED**

*Viktor M. Tissen*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: (383)229-75-30, e-mail: tissen.ksn@yandex.ru

The article provides information about the relationship between changes in the global temperature on the Earth and variations in the speed of its rotation. Special attention is paid to the study of the correlation between the onset of abnormal warm and cold winters of the Eurasian continent and sharp changes in the Earth's rotation speed. It been observed, that during periods of rapid deceleration in the 20th and 21st century, there were abnormally cold winters, and during periods of acceleration, abnormally warm ones. Thus, the periods of acceleration and deceleration of the Earth's rotation speed fell respectively on warm or cold winters in all cases, except for the winter of 1964/65 g., when the Earth's rotation occurred relatively evenly. Based on the obtained 90 % correlation of the number of coincidences of anamal winters with sharp changes in the speed of EW, as well as the calculated forecast of the Earth's rotation speed up to 2030, it is concluded that from 2024 to 2026 g, anamol cold winter should be expected in Russia and Europe

**Key words:** Earth, rotation, simulation, temperature, forecast, anomaly, correlation, winter.

## *Введение*

Известно, что на вращение Земли оказывает влияние множество природных факторов. При этом многие факторы непосредственно не могут быть наблюдаемыми. К таким, например, относятся различные геофизические процессы. В частности, процессы взаимодействия мантии и внешнего ядра, перемещения внутреннего ядра Земли относительно внешнего, перераспределения и кристаллизации вещества в верхней мантии и другие факторы. Эти процессы в той или иной степени оказывают влияние на скорость вращения Земли, поскольку, при этом происходит перераспределение ее момента инерции [1–3].

Смена времен года приводит к значительным изменениям температуры в южном и северном полушариях. При этом практически синхронно изменяется скорость вращения Земли. Так, в весенне-летний период Земля начинает вращаться быстрее, а в осенне-зимний – медленнее. Таким образом, сезонные колебания температуры на Земле приводят к заметным изменениям скорости ее вращения. Отсюда можно предположить существование значимой корреляции между холодными или теплыми зимами и соответственно периодами замедления или ускорения вращения Земли [4, 5].

Температура является непосредственно доступным параметром для измерений, данные по которой накоплены за значительные исторические периоды. В ресурсах «Интернет» и литературе приводятся осредненные значения температуры с середины 19 века, полученные из измерений, а также сведения о климате в прошлые геологические эпохи [6,7]. В ряде работ современных авторов указывается на корреляцию между нестабильностями вращения Земли и вариациями глобальной температуры, наблюдаемую в 20 и 21 веках [8, 9].

Для достоверной оценки указанной корреляции необходимо учесть другие факторы, влияющие на процесс вращения Земли. Однако, оценить влияние многих из них не представляется возможным по причине недоступности получения данных путем прямых измерений, особенно для процессов, происходящих в недрах Земли. Поэтому, для поиска корреляции между различными природными факторами, важным оказывается выбор физических параметров и интервалов, на которых выполняется статистическая обработка результатов измерений. В данной статье выполнен статистический анализ случаев совпадения аномально холодных и теплых зим на территории России и Европы с изменениями скорости вращения Земли. Целью данных исследований является оценка возможностей предсказания наступления в ближайшем будущем зимы с аномальной температурой по прогнозу скорости вращения Земли. Приведенный ниже статистический и графический материал призван показать состоятельность предлагаемого автором в настоящей статье подхода.

## *Методы и материалы*

В прошлые века температура на Земле не была постоянной, а изменялась весьма ощутимо. Эпохи потепления, во время которых полностью освобождались ото льда щиты Гренландии и Атлантиды, сменялись долгими ледниковыми периодами, захватывающими большую часть евроазиатского



континента. За последний миллион лет согласно геологическим данным неоднократно имели место сравнительно непродолжительные эпохи потепления и длительные ледниковые периоды, захватывающие большую часть евроазиатского континента. При этом колебания средней температуры на Земле от минус 4 до +2 С° [7]. Столь значительные изменения температуры должны были приводить к соответствующим колебаниям скорости вращения Земли. Однако, для подтверждения этого мы не располагаем необходимыми данными ввиду отсутствия измерений на таком длительном историческом периоде. Астрономические наблюдения за движением Луны и планет, по которым можно восстановить картину вращения Земли, начались только с середины семнадцатого века с изобретением телескопа.

На рис. 1 приведен график ухода всемирного времени  $TT-UT1$  относительно равномерного динамического времени  $TT$  за период с 1656 по 2020 гг., который отражает неравномерности вращения Земли. Данные для построения графика взяты с сайтов [10,11].

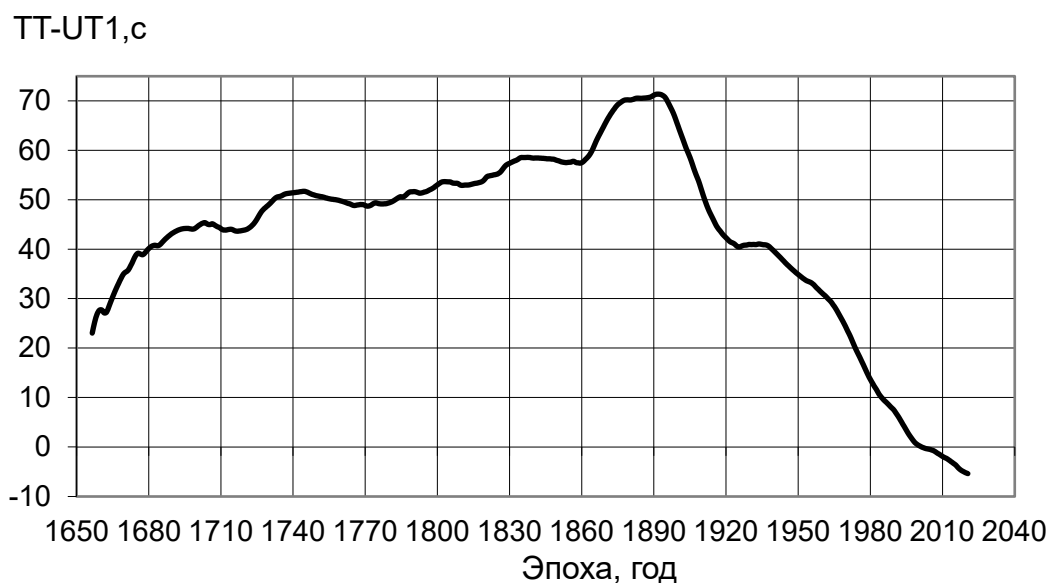


Рис. 1. Неравномерности вращения Земли за период 1656-2020 гг.

Анализируя данные на рис. 1 можно отметить, что в прошлые века скорость вращения Земли изменялась относительно равномерно и незначительно. Начиная с 1860 г. произошло ее резкое ускорение, а затем через примерно 15 и 30 лет наблюдаются периоды замедления. Резкое ускорение с последующим замедлением произошло соответственно в 20-х и 30-х годах 20 века. После этого, картина неравномерностей вращения Земли переходит в более спокойный волнообразный характер. Также с 1903 по 1972 гг. прослеживается колебание с периодом 65–70 лет. В XIX в. колебание примерно того же периода имело место с 1845 по 1903 гг. За последние 100 лет прослеживаются периоды замедления и ускорения скорости вращения Земли с характерными временами примерно 20–30 лет. В настоящее время вращение Земли ускоряется.

На рис. 2 приведены кривые изменений средней температуры  $T_{ср}$  на Земле и нестабильности длительности суток, выраженных в виде отношения длительности реальных суток  $dT_c$  к длительности эталонных суток  $dT_э$  ( $dT_c/dT_э$ ) в период с 1925 по 2015 гг.

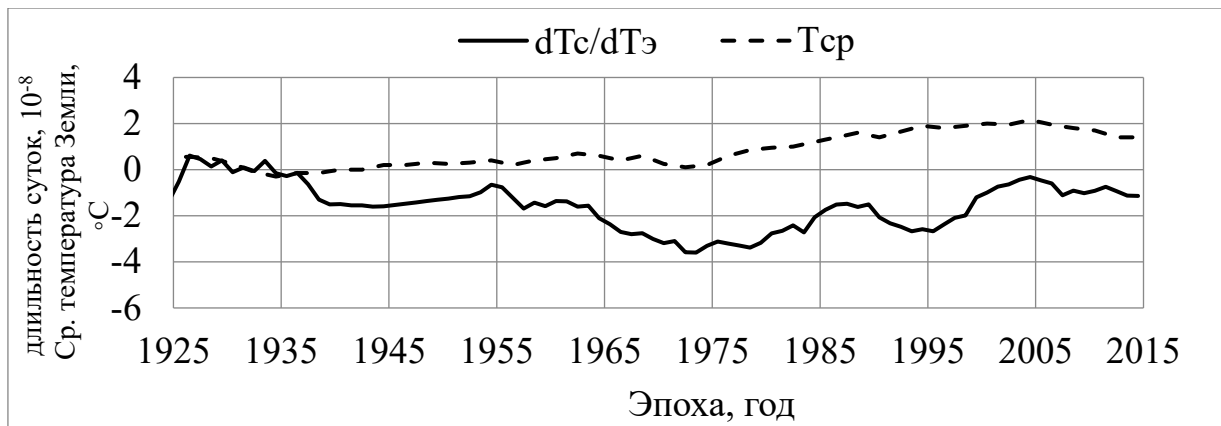


Рис. 2. Графики изменений средней температуры на Земле и нестабильности длительности суток с 1925 по 2015 гг.

Сравнивая кривые изменений длительности суток и температуры на рисунке 1 можно отметить их общее сходство на всем приведенном интервале времени. Это особенно заметно на интервале после 1970 до 2015 гг. В данном случае прослеживается явная корреляция между температурой и скоростью вращения Земли, которая по статистическим оценкам, проведенным в работе [9], составляет около 50 %.

На рис. 3 жирной кривой с января 2000 по декабрь 2019 г. с прогнозом (пунктиром) до 2030 г. показаны глобальные изменения всемирного времени, отражающие главные изменения скорости вращения Земли на фоне их действительных значений (тонкая линия).

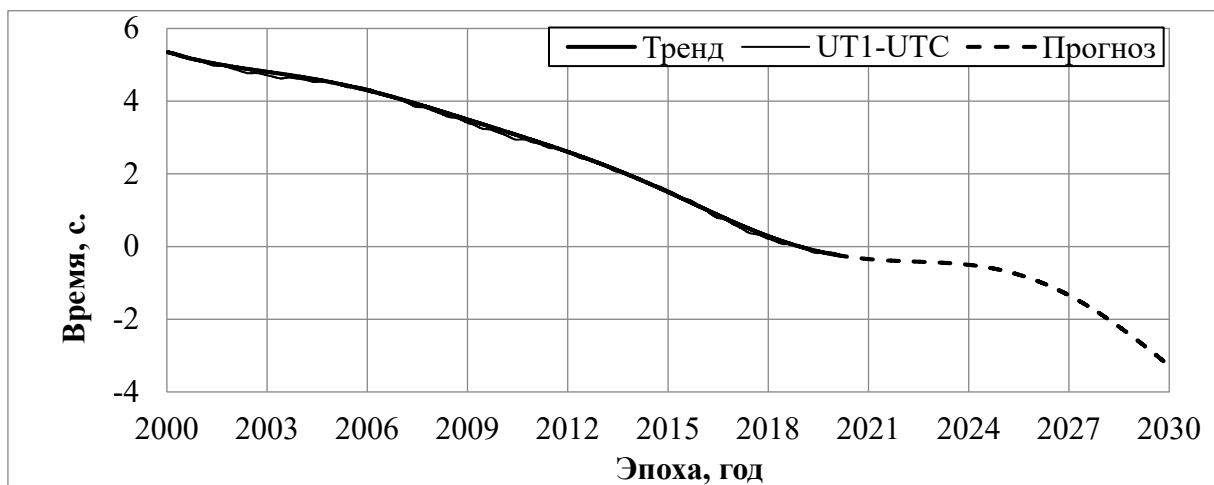


Рис. 3. Глобальные изменения всемирного времени с 2000 по 2020 гг.

На приведенном графике рисунка 3 видны периоды замедления (выпуклости) и ускорения (вогнутости), которые отмечены в далее в табл. 1.

В настоящее время Земля вращается с ускорением, которое началось с середины 2019 г. и закончится согласно прогнозу (пунктирная линия) в середине 2020 г. Это ускорение точно совпало с прошедшей аномально теплой зимой 2019-2020 гг. Согласно прогнозу, показанному до 2030 г. в 2024-2026 гг. произойдет значительное замедление скорости вращения Земли. Следовательно с вероятностью примерно 0,80 (с учетом коэффициента Стьюдента) в интервале 2024 – 2026 гг. следует ожидать наступления на территории России и Европы аномально холодной зимы

### ***Результаты***

С помощью ресурсов «Интернет» был собран материал об аномальных зимах за период с начала 20 века и по настоящее время. Изменения скорости вращения Земли (ВЗ) непосредственно снимались с графиков, представленных на рис. 1 и 2 в увеличенном масштабе. Собранные таким образом данные сведены в табл. 1.

Из анализа данных табл. 1 видно, что между исследуемыми параметрами имеется значимая корреляция на уровне 90 %. Так, периоды ускорения и замедления скорости вращения Земли приходятся соответственно на теплые или холодные Зимы во всех случаях, кроме зимы 1964/65 г. В эти годы вращение Земли происходит относительно равномерно. Кроме этого, с 1935 по 1939 г. наблюдается значительное замедление скорости вращения Земли, а холодные зимы отмечаются со сдвигом на два года в будущее [12].

В первую очередь это относится к зиме 1937 г., когда средняя температура была ниже нормы на 2° Цельсия и к суровой зиме 1941 г., которая сыграла свою важную роль в великой отечественной войне при обороне г. Москвы [13].

*Таблица 1*

Соотношение скорости вращения земли и типа зим

Эпоха, год	Тип зимы	Вращение Земли	Эпоха, год
1914-1915	Теплая	Слабое ускорение	1914-1915
1921-1922	Теплая	Среднее ускорение	1921-1923
1924-1925	Теплая	Сильное ускорение	1924-1925
1937-1941	Холодные	Сильное замедление	1935-1939
1964-1965	Холодная	Равномерное	1964-1965
1968-1969	Холодная	Среднее замедление	1968-1969
1983-1984	Теплая	Среднее ускорение	1983-1984
1990-1991	Холодная	Сильное замедление	1990-1991
1998-1999	Теплая	Сильное ускорение	1998-1999
2005-2006	Холодная	Сильное замедление	2005-2006
2012-2013	Холодная	Среднее замедление	2012-2013
2019-2020	Теплая	Сильное ускорение	2019-2020

## Обсуждение

Очевидно, что качество прогноза любой изменяющейся физической величины зависит от адекватности выбранной математической модели, а также от точности и полноты используемых для этого исходных данных. В случае, когда для получения значений одного параметра используются значения другого параметра, важно, чтобы между ними имелась значимая корреляция. К таким параметрам, в частности, могут относиться и дискретные величины. Для решения поставленной в настоящей статье задачи предсказания ближайшей аномальной зимы в качестве такой дискретной величины было выбрано число совпадений аномальных зим на территории России и Европы с резкими изменениями скорости вращения Земли. Кроме этого необходимо иметь адекватную модель неравномерностей вращения Земли, имеющую хорошую прогностическую способность. Такие модели были получены с помощью ранее разработанной методики прогнозирования [14].

## Заключение

На основании выполненных по теме настоящей статьи исследований получены следующие результаты:

1) обнаружена значимая 90 % корреляция между периодами похолодания и потепления с одной стороны и изменениями в скорости вращения Земли с другой стороны;

2) в интервале 2024 – 2026 с вероятностью примерно 0,80 следует ожидать наступления на территории России и Европы аномально холодной зимы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. – М.: Наука, 2002. 320 с.
2. Bizouard C., L. Zotov, and N. Sidorenkov, Lunar influence on Equatorial Atmospheric Angular Momentum, Journal of Geophysical Research Atmospheres, DOI:10.1002/2014JD022240 (2014).
3. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Вариации скорости вращения Земли и ее сейсмической активностью. - М.: Янус-К, 2012. - 308 с.
4. Сидоренков Н.С., Влияние Южного колебания Эль-Ниньо на возбуждение чандлеровского движения полюса, АЖ, 1997, т. 74, в. 5, с. 792 –795.
5. Сидоренков Н.С. Природа декадных изменений климата на европейской территории России [Текст]: научное издание / Н. С. Сидоренков // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы. - Томск, 2012. - С. 89 . - ISBN 978-5-94458-124-2
6. Ланской Г. Ю. «Жан Буридан и Николай Орем о суточном вращении Земли», Исследования по истории физики и механики 1995—1997. - М.: Наука, 1999. - 87-98 с.
7. "The history of the Earth's temperature, [http://pikabu.ru/story/istoriya\\_temperaturyi\\_zemli\\_4538556](http://pikabu.ru/story/istoriya_temperaturyi_zemli_4538556) (11 February 2019).
8. Zotov L.V., Bizouard Ch., Sidorenkov N.S. Common oscillations in global Earth temperature, sea level, and Earth rotation // Geoph. Res. Abstr. - 2014: - Vol. 16. - EGU2014-5683.
9. Tolstikov A. S., Tissen V. M., Simonova G. V. Long-term climate prediction by means of Earth rotation rate adaptive variations models // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2019. Vol. 11208. P. 1120887-1–1120887-5..

10. [Электронный ресурс]. – Режим доступа :[http://usno.navy.mil/ser7/historic\\_deltat.data](http://usno.navy.mil/ser7/historic_deltat.data) (1656-1984гг.)
11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа :[http:// usno.navy.mil/ser7/historic\\_deltat.data](http://usno.navy.mil/ser7/historic_deltat.data) (1985 – 2020 гг.)
12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа :[http://pogoda-service.ru/archive\\_gsod.php](http://pogoda-service.ru/archive_gsod.php).
13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://perexilandia.org/rossiya/pogoda/klimat-regionov/zimu-xx-veka>
14. Тиссен В. М. Методика высокоточного прогнозирования неравномерностей вращения Земли.// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 2. С. 44-50.

© В. М. Тиссен, 2020

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБЪЕКТОВ КРИОГЕННОЙ ТЕХНИКИ**

*Александр Федорович Бродников*

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (ИЯФ), г. Новосибирск, Россия, научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент, тел. (383)329-45-82, e-mail: A.F.Brodnikov@inp.nsk.su

Рассмотрены метод и измерительная установка для определения действительный значений критического тока в сверхпроводниках, при гелиевых температурах, поступающих на рынок от отечественных и зарубежных производителей композиционной проволоки, круглого или прямоугольного сечения, на основе сплава Nb-Ti.

**Ключевые слова:** измерительная установка; сверхпроводящий провод; криогенная температура; критический ток.

## **MEASURING INSTALLATION FOR DETERMINING CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF COMPOSITE SUPERCONDUCTORS IN THE PRODUCTION OF CRYOGENIC TECHNIQUE**

*Alexander F. Brodnikov*

Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, 630090 Russian Federation, 11, Acad. Lavrentieva Pr., Novosibirsk, Russia, Ph. D., Associate Professor, phone: (383)329-45-82, e-mail: A.F.Brodnikov@inp.nsk.su

The method and measuring installation for determining the actual critical current values in superconductors, at helium temperatures, coming to the market from domestic and foreign manufacturers of composite wire, round or rectangular section, based on the Nb-Ti alloy, are considered.

**Key words:** measuring installation; superconducting wire; cryogenic temperature; critical current.

Приступая к проектированию сверхпроводящих магнитов и других объектов криогенной техники особую роль уделяют характеристикам указанными производителями сверхпроводящих проводов. В связи с этим в ИЯФ было принято решение о создании измерительной установки, предназначенной для определения действительных значений критического тока в сверхпроводниках, поступающих на рынок от отечественных и зарубежных производителей композиционной проволоки, на основе сплава Nb-Ti. В настоящее время федеральные законы «О техническом регулировании» и «О стандартизации» имеют статус «добровольного применения» [1], поэтому отечественные предприятия, включая зарубежные, поставляющие на рынок различные материалы, не имеют обязательств и возможностей осуществлять выходной контроль по колоссальному числу существующих свойств, да еще и в диапазоне криогенных температур.

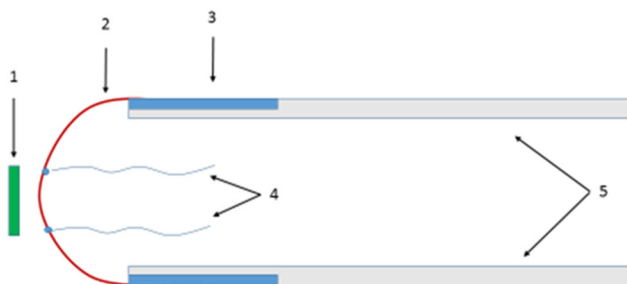
Измерительная установка изготовлена на базе криостата КГ-60/300-1 во внутренней полости которого, в среде жидкого гелия, располагается соленоид,

а в его центральной части располагается вставка-держатель с образцом. Питание соленоида и исследуемого образца, по токовводам расположенными в верхней крышке криостата, осуществляется источниками питания фирмы Danfysik – system 8800 при помощи ПК и управляющей программы, разработанной в ИЯФ. Внешний вид криостата и соленоида представлен на рис. 1.



Рис. 1. Соленоид и криостат КГ-60/300-1

Для опробования установки по определению вольтамперных характеристик (ВАХ) в сверхпроводниках при гелиевых температурах, были проведены испытательные измерения по методике МВИс 400-423/8-2018 разработанной АО «ВНИИНМ» [2]. Измерения проводили на образцах композиционной проволоки, на основе сплава Nb-Ti, длиной равной 0,08 м и диаметрами 0,5 и 0,85 мм, отрезанными от проводов штатных партий, при этом ВАХ были указаны производителями данных сверхпроводников. Каждый образец припаивался к оправке из меди сечением 4x2 мм индий-оловянным низкотемпературным припоем (рис. 2). Оправка с образцом монтируется к токовводам криостата. В центре измеряемого провода припаивали потенциальные провода на расстоянии 1 см между собой, которые подключаются к универсальному прецизионному измерителю В7-99. Весь процесс измерений регистрируется при помощи программного обеспечения, поставляемого с измерителем.



1 – датчик Холла; 2 – исследуемый сверхпроводник; 3 – место пайки сверхпроводника; 4 – потенциальные провода; 5 – оправка из меди сечением 4x2 мм

Рис. 2. Образец провода на оправке

Все технологические канавки заливаются высокотемпературным силиконовым герметик-прокладкой. После окончательной сборки вставки-держателя в его центральной части устанавливается датчик Холла, для измерения магнитного поля, производства компании «Lake Shore Cryotronics Inc.» (Sensor Model: HGCT-3020, Mean Loaded Sensitivity: 0,773mV/kG) непосредственно вблизи с измеряемым сверхпроводником (рис. 3). Перед проведением испытаний все средства измерений данной установки, должны быть откалиброваны.

После проведения всех организационных операций при заливке в криостат жидкого гелия, осуществляя контроль уровня газа в криостате и его температуры  $4,2 \pm 1\text{K}$  (датчиками температуры DT-670 Silicon Diodes, компании Lake Shore Cryotronics Inc.), а также температуры токовводов. Далее поднимаем магнитное поле в соленоиде до уровня 7 Тл согласно показаниям датчика Холла ( $54,11 \pm 0,01\text{ mV}$ ), в качестве опорной точки указанной производителем сверхпроводника.

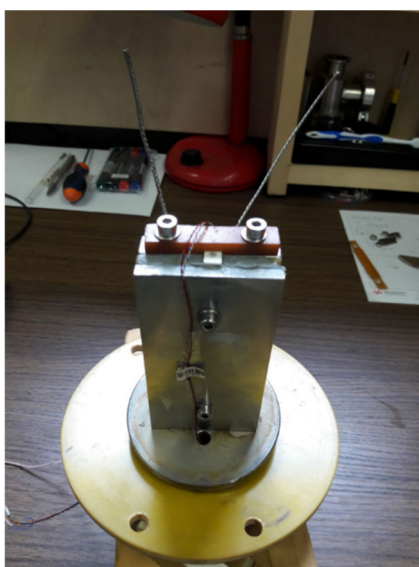


Рис.3. Вставка-держатель

Запись ВАХ в образцах проводится при увеличении силы тока со скоростью до  $0,1\text{ A/s}$  вплоть до появления величины напряженности электрического поля  $E$  равной  $0,8 - 1,0\text{ мкВ/см}$  [3]. За критический ток ( $I_c$ ) принимается значения тока, соответствующее электрическому полю в образце  $0,8 - 1,0\text{ мкВ/см}$ , как наклон графика  $\log E - \log I$  в указанном диапазоне электрических полей. Результат измерения критического тока в проводнике в зависимости от индукции магнитного поля представлен на графике ВАХ образца диаметром  $0,5\text{ мм}$  при 7 Тл на рис. 4.

Расчетное значение критического тока, указанного изготовителем измеряемых сверхпроводящих проводов при 7 Тл должно составлять 200 А и 372 А. Полученное нами значение составило 212 А и 382 А, что составляет менее 10% [4] и это соответствует пределу допускаемой основной абсолютной погрешности измерителя В7-99 которая составляет  $\pm (1,5 \cdot 10^{-3} + 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot |U|)$  мВ ( $U$  - измеренное напряжение, мВ). Как видно работоспособность измерительной установки для



определения действительных значений критического тока подтверждена, а получение более точного результата измерений позволит современная прецизионная цифровая измерительная аппаратура, с допускаемой основной абсолютной погрешностью  $\pm 0,0025\% + 0,02$  нВ.

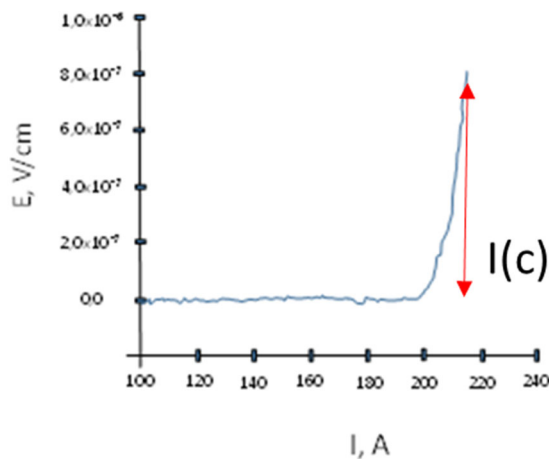


Рис. 4. ВАХ образца провода в поле 6,94 Тл

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбак Н.И., Черепанов В.Я., Шейнин Э.М., Ямшанов В.А. Правовой статус национальных стандартов единства измерений // Стандарты и качество. — 2015. — № 12. С. 44–47.
2. МВИс 400-423/8-2018 – Методика измерения критического тока и определения показателей кривизны вольтамперной характеристики сверхпроводящих проводов на основе сплава Nb-Ti – АО «ВНИИНМ» -2018 г.
3. Н.В. Быковский, В.С. Высоцкий, А.А. Носов, С.С. Фетисов – Установка для исследования температурной зависимости критического тока сверхпроводников на основе дигборида магния // Кабели и Провода. – 2016 – №5. С. 20 – 25.
4. Сотников Д. В., – Исследование токонесущих свойств перспективных высокотемпературных сверхпроводящих материалов для электротехнических устройств – ОАО «Всероссийский Научно-Исследовательский Проектно-Конструкторский и Технологический Институт Кабельной Промышленности» - 2016 г.

© А. Ф. Бродников, 2020

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

*Галина Вячеславна Симонова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (913)724-67-47, e-mail: simgal@list.ru

Статья посвящена оценке погрешности определения массы навески сыпучих материалов при использовании значений их насыпной плотности. Именно точность результатов измерений необходима во многих сферах деятельности для обеспечения эффективности и безопасности технологических процессов, а также повышения качества продукции. Актуальность данной работы связана с оценкой неизбежных отклонений значений насыпной плотности одного и того же материала в заданном объёме в результате не контролируемого фракционного состава навески сыпучего материала. Как следствие этих отклонений возникнет погрешность определения массы образца заданного объёма, даже если этот объём является однозначно определённой величиной. В работе приведены результаты исследований влияния фракционного состава сыпучих материалов на определение их массы при косвенном методе измерений. Выявлено существенное влияние фракционного состава сыпучих материалов на погрешность косвенного метода определения массы навески. Показана, необходимость фракционного контроля состава сыпучих материалов при разработке контрольных операций технологических процессов, а также ограничения применения насыпной плотности при повышенных требованиях к точности определения массы навески.

**Ключевые слова:** насыпная плотность, погрешность, масса материала, фракция, навеска, проба.

## INVESTIGATION OF MEASUREMENT ACCURACY IN DETERMINING THE MASS OF BULK MATERIALS

*Galina V. Simonova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: (913)724-6747, e-mail: simgal@list.ru

The article is devoted to the assessment the error in determining the mass of a sample bulk materials when using the values of their bulk density. Precisely the accuracy of measurement results is necessary in many fields of activity to ensure the efficiency and safety of technological processes, as well as improving product quality. The relevance of this work is associated with the assessment of the inevitable deviations of the bulk density the same material in a given volume as a result of an uncontrolled fractional composition of a sample of bulk material. As a consequence of these deviations, an error arises in determining the mass of a sample of a given volume, even if this volume is an uniquely determined quantity. The paper presents the results of studies of the influence of the fractional composition of bulk materials on the determination of their mass in the indirect measurement method. A significant effect of the fractional composition of bulk materials on the error of the indirect method for determining the mass of the sample was revealed. It is shown, that there is a need for fractional control of the composition of bulk materials in the development of control operations

of technological processes, as well as restrictions on the use of bulk density with increased requirements for the accuracy of determining the mass of a sample.

**Key words:** bulk density, inaccuracy, mass of material, fraction, test, sample.

### *Введение*

Одной из задач метрологического обеспечения страны является обеспечение выполнения условий для проведения точных измерений, а также оптимального расхода сырьевых и иных ресурсов. Гарантия достоверности результатов измерений не только позволяет решать конкретные прикладные задачи, но и обеспечивает качество выпускаемой продукции, а иногда и безопасность производственного персонала (например, при производстве оборонной или фармацевтической продукции или при дозировке медицинских препаратов).

Очень часто именно в перечисленных сферах деятельности точность результатов измерений определяет возможность проведения технологического процесса или обеспечивает возможность эффективного использования продукции [1]. Однако далеко не всегда определение параметров объекта исследований или контроля реализуется посредством прямых измерений, да и косвенные измерения часто бывают методически уязвимы. К таким видам измерений, в частности, относится определение массы сыпучих материалов через плотность и объём. Более того, для сыпучих материалов используется не плотность монолитного образца, а некоторая статистическая характеристика, которая получила название насыпной плотности.

Актуальность данной работы связана с оценкой неизбежных отклонений значений насыпной плотности одного и того же материала в заданном объёме в результате не контролируемого фракционного состава навески сыпучего материала. Как следствие этих отклонений возникнет погрешность определения массы образца заданного объёма, даже если этот объём является однозначно определённой величиной.

### *Методы и материалы*

Степень дисперсности и однородности (гранулометрический состав) сыпучих материалов определяется наличием в навеске частиц разных размеров. Размер частиц гранулированных и порошкообразных материалов может измеряться в миллиметрах или микронах. Доля частиц определенного размера в данном количестве материала определяет его степень дисперсности и выражается в процентах. Однородность материала характеризуется разницей размеров отдельных частиц. Чем ближе частицы по размерам, тем однороднее материал и тем удобнее перерабатывать его в изделия [2].

Насыпная плотность является одной из важных характеристик порошкообразных материалов и используется для контроля состава формовочных масс разных партий. Этот параметр определяется отношением массы навески к ее объему и выражается в  $\text{г/см}^3$ . Для сыпучих материалов насыпная плотность зависит от

формы и размеров отдельных частиц (гранулометрического состава), влажности, объёмной плотности, шероховатости и других факторов.

Плохая сыпучесть приводит к неравномерности распределения фракций состава навески, что нарушает точность объёмного дозирования. Как следствие нарушаются режимы переработки и увеличивается доля бракованных изделий. Оптимальным значением насыпной плотности конструкционных термопластичных материалов принято считать 600-800 кг/м<sup>3</sup> [2].

Рост влажности материала приводит к увеличению насыпной плотности, что обусловлено скоплением влаги между частицами или в порах частиц [3].

Проведенные исследования связаны с оценкой погрешности определения массы при использовании косвенного метода её контроля через насыпную плотность, поскольку флуктуации массы навески могут существенно изменять результаты определения насыпной плотности. В данной работе эксперименты проводились с порошками промышленно выпускаемых синтетических материалов полипропилен марки 01030 и пластик марки АБС-2525-31 (ТУ 2214-043-05762341-2014). Полипропилен изготавливается в виде гранул (или порошка) с насыпной плотностью от 0,4 – до 0,5 г/см<sup>3</sup>. Размер гранул полипропилена варьируется от 2 до 5 мм. Однако действующие стандарты на поставку данной продукции допускают размер гранул до 8 мм. Допустимо спекание гранул полипропилена, но не более трех штук.

АБС пластик имеет те же допустимые размеры гранул от 2 мм до 5 мм, но допускается не более 1 % гранул размером от 5 до 8 мм и не более 1 % гранул размером от 1 до 2 мм.

Для определения объёма сыпучих материалов использовался мерный цилиндр заданного объёма (в данном случае 168,15 см<sup>3</sup>). Для определения массы полученной навески использовались аналитические весы [4].

Следует предположить, что насыпная плотность при заданном объёме будет зависеть от фракционного состава навески. Для разделения навески на фракции применялась стандартная методика и набор специальных лабораторных сит. Оценка распределения навески материала по фракциям осуществлялось просевом материала через набор стандартных сит [5], размеры ячеек которых последовательно менялись. Масса остатка вещества на каждом сите определялась взвешиванием.

## ***Результаты***

Экспериментальные результаты распределения по фракциям навески полипропилена приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведены экспериментальные результаты распределения по фракциям материала АБС-пластик.

Полученные результаты показывают существенное фракционное отличие исследуемых материалов. При одинаковых требованиях по допустимым размерам гранул разный процент распределения по фракциям должен влиять на погрешность определения массы отдельной навески. Для проверки этого предпо-

ложения были проведены эксперименты по определению массы навески одного и того же материала, полученной насыпным методом [6]. Для формирования навески использовался стандартный цилиндр известного объёма (рис. 1) и аналитические весы AP210 (Ohaus, класс точности 2, рис. 2). Результаты определения массы цилиндра представлены в табл. 3.

Таблица 1

Распределение по фракциям навески полипропилена

Диаметр ячеек сита, мм	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5
Исходное количество материала, г	50,020	42,465	0,880	0,025	—
Остаток материала в сите, г	7,540	41,585	0,850	0,025	—
Материал последующих фракций, г	42,480	0,880	0,030	0,000	—
Доля фракции в навеске, %	15,00	83,00	1,70	0,04	—

Таблица 2

Распределение по фракциям навески материала АБС-пластик

Диаметр ячеек сита, мм	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5
Исходное количество материала после отсева, г	50,020	49,250	9,540	0,945	0,100
Остаток материала в сите, г	0,750	39,700	8,605	0,840	0,100
Материал последующих фракций, г	49,230	9,550	0,935	0,105	—
Доля фракции в навеске, %	1,50	79,40	17,20	1,62	0,02

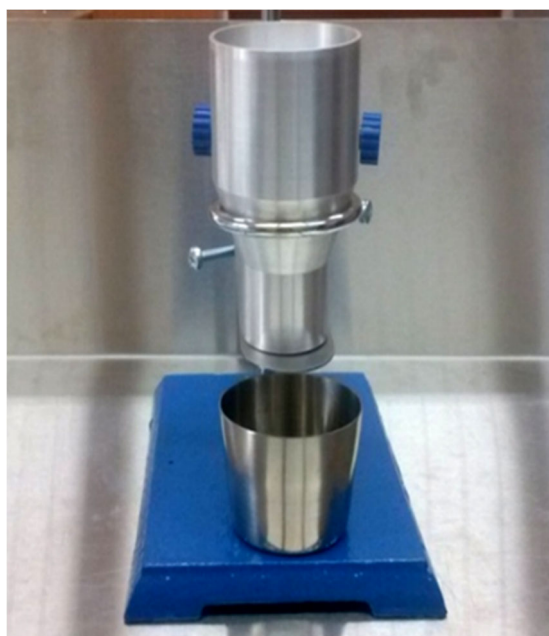


Рис.1. Установка для формирования навески



Рис. 2. Аналитические весы AP210

Таблица 3

## Результаты определения массы цилиндра

Номер навески, полипропилен	1	2	3	4	5
Масса измерительного цилиндра, г	55,820				
Масса цилиндра с полипропиленом, г	127,440	127,360	127,320	127,310	127,410
Масса навески пропилена, г	71,620	71,540	71,500	71,490	71,590
Среднее значения $m_{\text{ср}}$ навески, г	71,548				
Абсолютная погрешность $\Delta_i$ , г	0,072	-0,008	-0,048	-0,058	0,042

Для данных результатов измерений среднеквадратичное отклонение  $s$  составило 0,056 г, а среднеквадратичное отклонение среднего значения – 0,025 г. Принимая коэффициент Стьюдента ( $t_{\text{ст.}}$ ) для заданного количества измерений и доверительной вероятности 0,9 равным 2,1 получим абсолютную погрешность определения массы навески  $\Delta$ , равную 0,05 г.

Результаты измерений испытуемого материала АБС-пластик представлены в табл. 4 [7]. Полученная погрешность соответствует допустимой для многих технологических процессов, учитывая очень широкий круг применения сыпучих материалов, однако для прецизионных методов контроля это значение оказывается недостаточным, т.к. для них допустимые отклонения массы образца должно составлять от  $10^{-3}$  до  $10^{-4}$  г.

Таблица 4

## Результаты определения характеристик материала АБС-пластик

Номер испытания	1	2	3	4	5
Масса измерительного цилиндра, г	55,82				
Масса цилиндра с АБС-пластик, г	128,22	128,05	128,59	128,38	128,43
Масса навески АБС- пластик, г	72,40	72,23	72,77	72,56	72,61
Среднее значения $m_{\text{ср}}$ навески, г	72,51				
Абсолютная погрешность $\Delta_i$ , г	-0,11	-0,28	0,25	0,05	0,09

Среднеквадратичное отклонение  $s$  составило 0,21 г, а среднеквадратичное отклонение среднего значения  $\bar{S}$  – 0,094 г. Принимая коэффициент Стьюдента  $t_{\text{ст.}}$  для заданного количества измерений и доверительной вероятности 0,9 равным 2,1, получим абсолютную погрешность определения массы навески  $\Delta$ , равную 0,20 г. Полученные значения погрешности относятся к небольшим объёмам. При увеличении массы и усложнении структуры материала, например, при производстве керамики или взрывчатых веществ, следует ожидать значительного увеличения абсолютной погрешности [8, 9].

## Обсуждение

При проведении измерений на одном и том же оборудовании, одинаковых требованиях к размеру частиц в исходном материале и одинаковых методах обработки результатов измерения среднеквадратичные отклонения определения массы навески отличается примерно в четыре раза, при этом погрешность результатов измерений на два порядка превышает погрешность средства измерений ( $10^{-4}$  г). Такой результат может быть обусловлен только влиянием разного соотношения фракций в исследуемых материалах. Сравнение результатов проведенных исследований приведено в табл. 5. Следует отметить, что часто именно точность определения массы навески определяет выбор методов контроля [10–15].

Таблица 5

Сравнение результатов для исследуемых материалов

Наименование материала	$m_{ср}$ , г	s, г	$\bar{S}$ , г	$t_{ст}$	$\Delta$ , г	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельный вес. г/см <sup>3</sup>
Полипропилен	71,550	0,056	0,025	2,1	0,05	от 0,44 до 0,52	0,91
АБС пластик	72,510	0,210	0,094	2,1	0,20	от 0,65 до 0,75	1,05

Полученные результаты свидетельствуют о неоднозначности использовании косвенных измерений контролируемого параметра массы навески с использованием насыпной плотности.

## Заключение

В результате проведенных исследований было выявлено существенное влияние фракционного состава сыпучих материалов на погрешность косвенного метода определения массы навески. Полученный результат показывает необходимость фракционного контроля при разработке контрольных операций технологических процессов, а также ограничивает возможность применения косвенных методов определения массы навески при повышенных требованиях к точности её определения, например, при производстве взрывчатых веществ, тонких плёнок [14 –17] или фармакологической продукции [18, 19].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 16504–81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения: нац. стандарт. – Введ. 01.01.1982 (с изм. от 15.06.2011).
2. В. А. Неронов, В. П. Перминов. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 172 с.
3. Л. И. Попенова, Л. В. Радионова. Определение гранулометрического состава, сыпучести и насыпной плотности полуфабрикатов полимерных материалов: метод. указания к выполнению лабор. работы. – Челябинск: Учтех-Профи, 2015. – 9 с.
4. ГОСТ 29329–92 Весы для статического взвешивания: нац. стандарт. – Введ. 27.03.1992. – Стандартиформ, 2007. – 15 с.

5. ГОСТ Р 51568–99 Сита лабораторные из металлической проволочной сетки: нац. стандарт РФ. – Введ. 22.12.1999. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 5 с.
6. ГОСТ Р 8.563–2009 ГСИ. Методики (методы) измерений: нац. стандарт РФ. – Введ. 15.04.2010. – М.: Стандартинформ, 2010. – 22 с.
7. ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: нац. стандарт РФ. – Введ. 01.01.2013 – М.: Стандартинформ, 2013. – 24 с.
8. Хлебникова Е.П., Симонов Д.П. Определение количественного и качественного состава керамики методами автоматизированного дешифрирования // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 4. – С. 55–59.
9. Современное состояние исследований и технические применения / Физика тонких пленок / под ред. А. Г. Ждан, В. Б. Сандомирский. – 1978. – Т. 8, 1978. – С. 360.
10. Ruxton K., Robertson G., Miller W., Malcolm G.P.A., Maker G.T. Mid-infrared hyperspectral imaging for the detection of explosive compounds. – Proc. of SPIE Vol. 8546, 85460V (2012), pp. 1-9.
11. Bernacki B. E., Blake T.A., Mendoza A., Johnson T.J. Visible hyperspectral imaging for standoff detection of explosives on surfaces. – Proc. of SPIE Vol. 7838, 78380C (2010), pp. 1-7.
12. Hempler N., Nicholls J., Malcolm G. Active hyperspectral sensing and imaging for remote spectroscopy applications (2013) <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume49/issue-11/features/spectral-imaging-active-hyperspectral-sensing-and-imaging-for-remotespectroscopy-applications.html>.
13. Спектрохимические особенности некоторых бризантных взрывчатых веществ в паробразном состоянии / Набиев Ш.Ш., Ставровский Д.Б., Палкина Л.А., Збарский В.Л., Юдин Н.В., Голубева Е.Н., Вакс В.Л., Домрачева Е.Г., Собакинская Е.А., Черняева М.Б. // Оптика атмосферы и океана, 2013, 26 №4 – С. 273-285.
14. Айрапетян В. С., Макеев А.В. Лазерное зондирование взрывчатых веществ методом дифференциального поглощения и рассеяния// интерэкспо гео-сибирь-2019. XV Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопасность -2019» : сб. материалов в 9 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 9 – С. 120–125.
15. Оценка воспроизводимости по характеристикам неопределенности измерений / Булатицкий К.К., Лобанова А.В. Методы оценки соответствия, 2010, №11 – С.44-46.
16. Никулин Д. М., Шергин С. Л., Райхерт В. А. Технология получения дифракционных оптических элементов в виде полосковых тонкопленочных структур в свободном состоянии // интерэкспо Гео-Сибирь-2019. XV Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «СибОптика — 2019»: сб. материалов в 9 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2019 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. Т. 8. – С. 176–182.
17. Выхристюк И. А., Куликов Р. В., Сысоев Е. В. Увеличение разрешающей способности линейных измерений поперечных размеров ступенчатых нанорельефных структур // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 9 : Нац. конф. «Наука. Оборона. Безопасность-2019». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – С. 183–190.
18. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 26 октября 2015 г. N 751н "Об утверждении правил изготовления и отпуска лекарственных препаратов для медицинского применения аптечными организациями, индивидуальными предпринимателями, имеющими лицензию на фармацевтическую деятельность"
19. Промышленная технология лекарств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ztl.nuph.edu.ua/html/medication/chapter14\\_04.html](https://ztl.nuph.edu.ua/html/medication/chapter14_04.html) (дата обращения: 06.07. 2020)

© Г. В. Симонова, 2020



## ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИРОВАННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО РАЗЛОЖЕНИЮ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ ОБРАЗЦОВ

*Анна Владимировна Троеглазова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (923)254-06-87, e-mail: troeglasovaa@mail.ru

Предложен альтернативный метод кислотного выщелачивания кремнийсодержащих металлургических образцов с использованием ультразвуковых колебаний для количественного извлечения Si из твердой фазы в раствор. Исследовано влияние ультразвуковой вибрации, температуры выщелачивания, времени контакта фаз, массы образца, размера частиц, доли фтористоводородной кислоты в реакционной смеси. Результаты лабораторных исследований показали, что кислотное выщелачивание с помощью ультразвуковых колебаний является эффективным, безопасным и экономически выгодным способом подготовки образцов кремнийсодержащих металлургических образцов.

**Ключевые слова:** извлечение кремния, ультразвуковое разложение, металлургические образцы, кислотное выщелачивание, математическое моделирование.

## PROBABILITY-DETERMINED DESIGN PLANNING FOR DECOMPOSITION OF SILICON-CONTAINING SAMPLES

*Anna V. Troeglazova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Special-Purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: (923)254-06-87, e-mail: troeglasovaa@mail.ru

An alternative method of acid leaching of silicon-containing metallurgical samples using ultrasonic vibrations is proposed in order to extract Si quantitatively from the solid phase into the solution. The effect of ultrasonic vibration, leaching temperature, phase contact time, weight of the sample, particle size, fraction of hydrofluoric acid in the reaction mixture was investigated. The results of laboratory studies showed that acid leaching assisted by ultrasonic vibrations is an efficient, safe and economically profitable way of sample preparation of silicon-containing metallurgical samples.

**Key words:** silicon extraction, ultrasonic decomposition, metallurgical samples, acid leaching, mathematical modeling.

### *Введение*

Большинство металлургических образцов различных производств содержит большое количество кремния в виде различных соединений. Такие металлургические образцы вызывают особый интерес в качестве вторичного источника примесных элементов (Fe, Al, Ca, Cu и Ni), а также получения кремния высокой чистоты.

Качество получаемой продукции определяется ее матричным и примесным составом, поэтому важно проводить аналитический контроль на всех стадиях технологического процесса. Измерение аналитического сигнала осуществляют в основном в растворах, полученных после разложения образцов путем кислотного растворения [1-5]. Процесс анализа имеет ряд трудностей, которые обусловлены сложным составом анализируемого раствора, высоким фоновым сигналом пробы, а также матричными спектральными помехами. Несмотря на ряд недостатков (высокий солевой фон, высокая агрессивность среды, длительность стадии пробоподготовки, высокая погрешность) данный способ широко применяется в промышленности. Для обеспечения полного вскрытия кремнийсодержащих образцов в качестве реагента в основном применяют концентрированную азотную кислоту с добавлением плавиковой кислоты [4, 6-8]. В настоящее время вместо азотной кислоты также может применяться и соляная кислота [6, 7], пероксид водорода [8] и другие окислители.

Для повышения эффективности процесса растворения образцов исследованы различные добавки. Например, добавление уксусной кислоты в смесь азотной и плавиковой кислот повышает эффективность извлечения алюминия до 99,98 %, чистота кремния при этом достигает 99,99 % за 25 часов проведения процесса [9]. Добавление гафния также повышает степень извлечения примесей из образцов металлургического кремния [10].

Наряду с химической оптимизацией процесса растворения, возможно применение дополнительных факторов. Процесс кислотного растворения под действием ультразвуковых колебаний имеет ряд преимуществ по сравнению с разложением при термическом нагреве [5, 11-15]. Процесс ультразвукового разложения протекает более эффективно, при этом в несколько раз сокращается время пробоподготовки, снижается расход реагентов, исключаются потери летучих компонентов, улучшаются условия работы, уменьшаются энергозатраты и трудоемкость этапа пробоподготовки.

Трудоемкость процесса растворения образцов кремния является весьма актуальной задачей в современной аналитической химии кремний содержащих металлургических образцов.

Цель исследования заключается в установлении оптимальных условий извлечения кремния из твердой фазы в раствор при кислотном растворении с ультразвуковыми колебаниями.

### *Методы и материалы*

Для проведения исследований по оптимизации условий пробоподготовки использовали образец медного концентрата, в котором содержание кремния составило  $(68800,0 \pm 6,1)$  ppm [16, 17].

Разложение осуществляли путем растворения навески в смеси азотной и плавиковой кислот под действием ультразвуковых колебаний после измельчения до частиц размером от 0,5 мм до 3,0 мм. Навеску измельченного образца помещали во фторопластовый стакан вместимостью 50 см<sup>3</sup>, добавляли 15 см<sup>3</sup> реак-

ционной смеси, состоящей из растворов концентрированных азотной и фтороводородной кислот. Моделирование процесса разложения осуществляли методом шестифакторного вероятностно-детерминированного планирования эксперимента [18-20]. Изучаемые факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни факторов при оптимизации параметров пробоподготовки образцов

Номер фактора	Фактор	Уровни					
		1	2	3	4	5	6
1	Мощность ультразвукового воздействия, %	10	20	40	60	80	90
2	Температура растворения, °С	20	30	40	50	60	70
3	Продолжительность растворения, мин	10	20	30	40	60	90
4	Масса навески, г	0,01	0,05	0,10	0,50	1,00	1,50
5	Размер частиц, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
6	Доля HF в смеси, %	0,7	3,3	6,7	10,0	13,3	16,7

В качестве параметров отклика рассматривали степени извлечения кремния (%) из твердой фазы в раствор, значения которых определяли на основании результатов фотометрического определения содержания аналита в растворе, полученном после разложения [16, 17, 21]. Шестифакторное планирование эксперимента на шести уровнях предполагает проведение 36 опытов с одновременным варьированием всех факторов (табл. 2).

Таблица 2

Матрица шестифакторного планирования эксперимента

№	кодированные						№	кодированные						№	кодированные					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	1	1	1	1	1	13	1	3	4	5	6	2	25	1	5	6	2	3	4
2	2	2	2	2	2	2	14	2	4	5	6	1	3	26	2	6	1	3	4	5
3	3	3	3	3	3	3	15	3	5	6	1	2	4	27	3	1	2	4	5	6
4	4	4	4	4	4	4	16	4	6	1	2	3	5	28	4	2	3	5	6	1
5	5	5	5	5	5	5	17	5	1	2	3	4	6	29	5	3	4	6	1	2
6	6	6	6	6	6	6	18	6	2	3	4	5	1	30	6	4	5	1	2	3
7	1	2	3	4	5	6	19	1	4	5	6	2	3	31	1	6	2	3	4	5
8	2	3	4	5	6	1	20	2	5	6	1	3	4	32	2	1	3	4	5	6
9	3	4	5	6	1	2	21	3	6	1	2	4	5	33	3	2	4	5	6	1
10	4	5	6	1	2	3	22	4	1	2	3	5	6	34	4	3	5	6	1	2
11	5	6	1	2	3	4	23	5	2	3	4	6	1	35	5	4	6	1	2	3
12	6	1	2	3	4	5	24	6	3	4	5	1	2	36	6	5	1	2	3	4

На основании результатов эксперимента после усреднения действия всех факторов строили точечные графики зависимости степеней извлечения кремния от уровней варьируемых факторов. Полученные зависимости описываются уравнением (1) [18]:

$$y = a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad (1)$$

где  $y$  – числовое значение параметра отклика сигнала, %;  $n$  – число уровней варьируемых факторов;  $x$  – значения выбранных факторов заданного уровня;  $a_i$  – численные коэффициенты.

Для установления значимости или незначимости графических зависимостей применяли коэффициент нелинейной множественной корреляции ( $R$ ) и его значимость ( $t_R$ ). Для вывода обобщенного уравнения и проверки его адекватности было применено уравнение Протодьяконова [18].

### Результаты

Результаты анализа растворов, полученных после кислотного растворения под действием ультразвуковых колебаний, представленные в виде степеней извлечения аналитов из твердой фазы в раствор, представлены в табл. 3.

Полученные результаты степеней извлечения кремния распределены по шести изучаемым факторам (табл. 4).

Таблица 3

Степени извлечения аналитов после кислотного растворения образцов под действием ультразвуковых колебаний

№	R, %	№	R, %	№	R, %	№	R, %	№	R, %	№	R, %
1	100	7	74	13	11	19	90	25	87	31	90
2	27	8	97	14	55	20	100	26	13	32	13
3	4	9	7	15	27	21	100	27	2	33	43
4	64	10	7	16	14	22	80	28	49	34	80
5	90	11	70	17	27	23	79	29	36	35	66
6	91	12	92	18	95	24	61	30	87	36	83

Таблица 4

Экспериментальные значения частных функций

Фактор	Степени извлечения кремния (%) по шести уровням						
	1	2	3	4	5	6	Среднее
1	75,339	50,727	30,741	49,031	61,386	84,787	58,668
2	52,350	61,168	48,183	61,531	65,795	62,984	58,668
3	63,203	53,077	52,422	51,986	68,096	63,227	58,668
4	64,535	63,542	50,969	54,506	58,527	59,932	58,668
5	56,468	50,775	59,763	64,220	59,060	61,725	58,668
6	77,132	37,064	51,599	71,851	66,424	47,941	58,668

## Обсуждение

Расчитанные значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  для каждого фактора и результаты матричной проверки значимости влияния факторов на степень извлечения аналита представлены в табл. 5.

Таблица 5

Расчетные значения частных функций для определения степени извлечения кремния (%)

Коэффициент	Факторы					
	1	2	3	4	5	6
$a_0$	93,70	51,69	59,21	60,64	50,64	61,17
$a_1$	-2,49	0,06	-0,18	-15,19	6,88	-0,35
$a_2$	0,027	0,002	0,003	10,29	-1,06	-0,005
R	0,9905	0,9925	0,9951	0,9927	0,9968	0,9472
$t_R$	10,20	11,47	14,19	11,65	17,66	4,18

Превышение значения значимости коэффициента корреляции  $t_R$  критического значения коэффициента Стьюдента (2,776) свидетельствует о значимости влияния каждого из шести рассмотренных факторов на степень извлечения кремния из образца медного концентрата в раствор способом кислотного растворения под действием ультразвуковых колебаний [12-14].

Коэффициент корреляции, рассчитанный на основании данных табл. 5, составил 0,3733. Превышение значимости коэффициента корреляции (2,35) критического значения коэффициента Стьюдента  $t(0,95; n = 36) = 2,28$  свидетельствует об адекватности выведенного обобщенного уравнения Протодьяконова [18].

На основании полученных результатов (табл. 3) были выбраны оптимальные условия кислотного разложения, позволяющие проводить количественное извлечение аналита: мощность ультразвукового воздействия на смесь 40 %, температура растворения 40 °С, продолжительность растворения 30 мин, масса навески 0,1 г, размер частиц 0,50 мм, доля HF в смеси 3,3 %.

## Заключение

Проведенные расчеты позволили установить оптимальные условия извлечения кремния из твердой фазы медных концентратов в раствор путем кислотного растворения под действием ультразвукового воздействия. Установленные условия пробоподготовки могут быть использованы при разработке методик выполнения измерения определения массовых концентраций аналитов в металлургических образцах для заводских лабораторий.

## *Благодарности*

Данная работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан (№1915/ГФ4 «Разработка аналитических средств контроля технологического процесса переработки медных концентратов»).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Yan-Hui Sun, Qi-Hui Ye, Chang-Juan Guo, Hong-Yu Chen, Xu Lang, Finlow David, Qi-Wen Luo, Chun-Mei Yang. Purification of metallurgical-grade silicon via acid leaching, calcination and quenching before boron complexation // *Hydrometallurgy*, 2013, Volume 139, P. 64–72.

2 Jacques Schott, Oleg S. Pokrovsky, Olivier Spalla, François Devreux, Alexandre Gloter, Jerzy A. Mielczarski. Formation, growth and transformation of leached layers during silicate minerals dissolution: The example of wollastonite // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 98, 1 December 2012, P. 259–281.

3 Яковлева Т.Н., Темерев С.В., Троеглазова А.В. Выбор условий подготовки образцов для определения содержания микропримесей Со (II) в медном концентрате // *Ползуновский вестник*, № 4. – Т. 2. – 2016. – С. 155–160.

4 Карпов Ю.А., Савостин А.П. Методы пробоотбора и пробоподготовки. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. - 243 с.

5 Бутенко В.В., Яковлева Т.Н., Троеглазова А.В., Злобина Е.В., Коротков И.С., Аубакирова Р.А. Влияние способов пробоподготовки на фотометрическое определение содержания теллура и кобальта в образцах медных концентратов // *Вестник КазНУ. Серия химическая.* - № 1, 2016. – С. 27–31.

6 Huixian Lai, Liuqing Huang, Chenghao Lu, Ming Fang, Wenhui Ma, Pengfei Xing, Jintang Li, Xuetao Luo. Leaching behavior of impurities in Ca-alloyed metallurgical grade silicon // *Hydrometallurgy*, 2015, Volume 156, P.173–181.

7 Karl Visnovec, Chirag Variawa, Torstein Utigard, Aleksandar Mitrašinović. Elimination of impurities from the surface of silicon using hydrochloric and nitric acid // *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2013, Volume 16, Issue 1, P. 106–110.

8 Huixian Lai, Liuqing Huang, Chuanhai Gan, Pengfei Xing, Jintang Li, Xuetao Luo. Enhanced acid leaching of metallurgical grade silicon in hydrofluoric acid containing hydrogen peroxide as oxidizing agent // *Hydrometallurgy*, Volume 164, 2016, P. 103–110.

9 Joonsoo Kim, Sunho Choi, Jinseok Lee, Boyun Jang. Effects of a new acid mixture on extraction of the main impurities from metallurgical grade silicon // *Hydrometallurgy*, Volume 157, 2015, P. 234–238.

10 Yun Lei, Wenhui Ma, Xiaodong Ma, Jijun Wu, Kuixian Wei, Shaoyuan Li, Kazuki Morita. Leaching behaviors of impurities in metallurgical-grade silicon with hafnium addition // *Hydrometallurgy*, Volume 169, 2017, P. 433–439.

11 Raquel Domínguez-González, Antonio Moreda-Piñeiro, Adela Bermejo-Barrera, Pilar Bermejo-Barrera. Application of ultrasound-assisted acid leaching procedures for major and trace elements determination in edible seaweed by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry // *Talanta*, Volume 66, Issue 4, 2005, P. 937–942.

12 M. De Sousa, A. Vardelle, G. Mariaux, M. Vardelle, U. Michon, V. Beudin. Use of a thermal plasma process to recycle silicon kerf loss to solar-grade silicon feedstock // *Separation and Purification Technology*, Volume 161, 2016, P. 187–192.

13 Henrik Grénman, Elena Murzina, Mats Rönholm, Kari Eränen, Jyri-Pekka Mikkola, Marko Lahtinen, Tapio Salmi, Dmitry Yu. Murzin Enhancement of solid dissolution by ultrasound // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Volume 46, Issue 9, 2007, P. 862–869.

14 Милушкин В.М., Ильин А.П. Сорбционные процессы извлечения примесей тяжелых металлов из воды при действии ультразвука в кипящем слое доломита // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2009. – Т.9. Вып. 2. – С. 308–314.

15 Марукович Е.И., Харьков В.А., Попелушко А.П., Сазоненко И.О. О перспективах применения акустических воздействий в металлургических процессах // Литье и металлургия. – 2009. № 1(50). – С. 129–133.

16 Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ / П. П. Коростелев. – М.: Наука, 1964. – 386 с.

17 ГОСТ 15934.4-80 Концентраты медные. Методы определения двуокиси кремния. – Введен 01.07.1987. – Госстандарт СССР. – 11 с.

18 Малышев В.П.. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента / В.П.Малышев – Алма-Ата: «Наука», 1977. – 35 с.

19 Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирования эксперимента и обработки данных. – Самара: СГТУ, 2016. – 132 с.

20 Фомин В.Н., Ковалева А.А., Алдабергенова С.К. Использование многофакторной переменной в методе вероятностно-детерминированного планирования эксперимента // Вестник Карагандинского университета. Серия «Химия». - № 3(87). – 2017. – С. 91–100.

21 Мышляева Л. В., Краснощеков В.В. Аналитическая химия кремния. – М.: Наука, 1972. – 211 с.

© А. В. Троеглазова, 2020

## **ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЕРБИЦИДОВ В ПОЧВЕ**

***Светлана Арсеньевна Степанова***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (913)795-97-03, e-mail:svetlana.himiya@mail.ru

***Галина Вячеславна Симонова***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (913)724-67-47, e-mail: simgal@list.ru

Статья посвящена оценке изменения концентрации гербицидов в почве, исследованию эффективности разных методов разложения внесённых в почву удобрений и анализу факторов, участвующих в этом процессе. В большинстве случаев, гербициды являются трудно разложимыми соединениями, у которых по назначению используется только от 4–5 % внесённого вещества, а остальная масса сохраняется в почве, переходя из неё в другие системы (траву, природные источники воды), создавая сложные экологические проблемы. Для исследования использовали гербицид «Торнадо», содержащий 45,5 % (по массе) глифосата. Рассмотрено как естественное, так и искусственное разложение примесей. Количественные измерения проведены методом обратного титрования. Изменение концентрации гербицида оценивалось по изменению концентрации окислителя. Количество остаточного перманганата в почве определялось титрованием раствором щавелевой кислоты известной концентрации. Показано, что наиболее эффективна очистка почвы, загрязнённой избытком гербицида, с помощью искусственного окисления.

**Ключевые слова:** загрязнение почвы, гербициды, разложение гербицидов, естественное окисление, искусственное окисление.

## **ASSESSMENT OF CHANGES IN THE CONCENTRATION OF HERBICIDES IN THE SOIL**

***Svetlana A. Stepanova***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone (913)795-97-03, e-mail: svetlana.himiya@mail.ru

***Galina V. Simonova***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor Department of Special-purpose Devices, Innovatics and Metrology, phone: (913)724-6747, e-mail: simgal@list.ru

The article is devoted to the assessment of changes in the concentration of herbicides in the soil, the study the effectiveness of different methods of decomposition fertilizers introduced into the soil, and the analysis factors involved in this process. In most cases, herbicides are difficult for decompose compounds, for which only 4-5% of the introduced substance is used for its intended purpose, and the rest of the mass is stored in the soil, passing from it to other systems (grass, natural water sources),



creating complex ecological Problems. For research, the Tornado herbicide containing 45.5% (by weight) glyphosate was used. Both natural and artificial decomposition of impurities are considered. Quantitative measurements were carried out by the method of back titration. The amount of residual permanganate in the soil determined the titration by a solution of oxalic acid with a known concentration. It is shown, that artificial oxidation of soil contaminated with excess herbicide is most efficient.

**Key words:** soil pollution, herbicides, decomposition of herbicides, natural light, artificial oxidation.

### *Введение*

Гербициды начали использоваться с начала XX века в качестве веществ, уничтожающих сорняки и позволяющих повышать урожайность. В 1929 году появилась статья в журнале «Известия Академии наук», предупреждающая, что наряду с положительными свойствами гербицидов возможно их отрицательное воздействие на экосистемы. Но после Второй мировой войны, когда почти весь мир испытывал дефицит продовольствия, гербициды широко вошли в сельскохозяйственную практику. В настоящее время известно около 1000 веществ, которые относятся к классу гербицидов, примерно 140 из них применяются для уничтожения сорняков.

### *Методы и материалы*

Гербициды – весьма обширный класс соединений, задача которых не допустить возможность развития растений определенного вида. По форме взаимодействия с растениями они подразделяются на две группы:

- неизбирательного (сплошного) действия, т.е. действующие на все растения которые оказались на обработанной территории;
- селективного (избирательного) действия, т.е. уничтожающие только определённые виды растений.

Именно селективные препараты используются для уничтожения конкретных видов растений, например, сорняков.

Применение гербицидов предполагает, что через некоторое время, после уничтожения нежелательной растительности, препарат самопроизвольно разрушится, а продукты его разложения будут безвредны, а иногда и полезны. Однако, в большинстве случаев, гербициды являются трудно разложимыми соединениями, у которых по назначению используется только от 4 – 5 % внесённого вещества, а остальная масса сохраняется в почве, переходя из неё в другие системы (траву, природные источники воды), создавая сложные экологические проблемы [1, 2, 3]. Продолжительность сохранности гербицида в почве зависит от разных факторов:

- состава гербицида, по которому они подразделяются на малостойкие, сохраняющиеся в почве до 12 недель; среднестойкие, сохраняющиеся в почве до 18 месяцев, и устойчивые, сохраняющиеся в почве 2 года и более;
- характера почвы, её структуры, влажности, кислотности [1, 4, 5].

В Российской Федерации в настоящее время находятся в свободной продаже гербициды «Ураган», «Торнадо» и другие того же типа. Активным веществом этого класса препаратов является глифосат (глифосат-N, фосфонометил, глицин,  $C_3H_8NO_5P$ ). Стойкость глифосата может изменяться в широких пределах, достоверной информации о времени сохранения препарата в почве нет. В зависимости от типа почвы, периоды полураспада указываются в широких пределах: от 3 до 140 дней [6, 7].

Гербициды данного класса соединений относят по опасности к классу средней опасности. Тем не менее, на упаковках данных гербицидов, находящихся в продаже, перечисляются жёсткие требования к соблюдению техники безопасности при работе с данными препаратами. Исследованиями Американской медицинской комиссии показано, что одинаково опасны как кратковременное активное воздействие гербицидов на организм человека, так и долгосрочные малые дозы, поступающие в организм, например, при пользовании лужайками и газонами, предварительно обработанными гербицидами для уничтожения сорняков на них. Американская медицинская комиссия приходит к выводу (и без того очевидному!), что наиболее опасно воздействие гербицидов на будущих матерей и детей, которые наиболее активно и пользуются данными газонами [8–11].

Почва, как любая экосистема, способна к самоочищению, в том числе, от гербицидов. Самоочищение почвы происходит за счёт:

- деятельности почвенных микроорганизмов;
- фотореакций под действием солнечного света;
- гидролиза под воздействием почвенной влаги [4].

В реальных условиях Сибири, в том числе Новосибирской области, не так уж редки малосолнечные, а также засушливые годы, когда естественное разложение гербицидов и их превращение в безвредные соединения –  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$  – затруднено. Имеются данные [12] о возможности искусственного разложения гербицидов. Этот метод – окисление, что вполне закономерно, т.к. органические вещества достаточно легко окисляются, превращаясь в более простые и безвредные соединения. Целью данной работы была оценка изменения концентрации гербицидов в почве при разных условиях разложения.

Для исследования использовали гербицид «Торнадо», содержащий 45,5 % (по массе) глифосата. Для проверки утверждения, что гербициды селективного действия уничтожают сорняки, но безопасны для полезных растений, был проведён эксперимент. В трёх кюветах были произведены посевы овса, культуры, устойчивой к загрязнителям. Почва в двух кюветах была обработана гербицидом согласно норме, указанной в инструкции по применению данного препарата –  $0,3 \text{ г/м}^3$  почвы, в третьей кювете почва обработке не подвергалась. В кюветах с почвой, обработанной гербицидом, всхожесть овса была подавлена, что позволило сделать вывод об опасном влиянии гербицида и на полезные растения. В качестве окислителя был выбран перманганат калия ( $KMnO_4$ ), являющийся не только сильным окислителем, но и носителем двух необходимых растениям микроэлементов калий (K) и марганец (Mn).

Образцы почвы, обработанные гербицидом, подверглись двум видам обработки: естественному освещению (кювета была помещена на окне, обращённом на юг), окислению раствором перманганата калия. Длительность обработки – месяц.

Остаточный углерод в пробах почвы определялся методом обратного титрования [3]. Гербициды – сложные вещества, глифосат в которых является только основой, и не поддаются определению непосредственным (прямым) титрованием из-за отсутствия индивидуальных титрантов, способных к качественным реакциям с глифосатом. Отсюда возникла необходимость использовать более сложный метод обратного титрования, как это описано ниже.

Почва в обеих кюветах была обработана заведомо избыточным количеством раствора перманганата калия. Изменение концентрации гербицида оценивалось по изменению концентрации окислителя. Количество остаточного перманганата в почве определялось титрованием раствором щавелевой кислоты  $H_2C_2O_4$  известной концентрации.

### ***Результаты***

По объёму кислоты, пошедшей на титрование почвы после той и другой обработки, были рассчитаны массы остатков перманганата калия. По разности масс внесённого в образцы почвы окислителя и его остатков после месячной обработки почвы были рассчитаны массы гербицида, оставшегося в почве после обработки освещением и окислением. Одновременно был проведён «глухой» опыт: по той же методике определено содержание органического углерода в образце почвы, обработанной гербицидом, не подверженном разложению. Оценка эффективности разложения гербицида приведена в таблице.

Обработка почвы	Содержание органического углерода после обработки, г	Доля разложившегося органического углерода, % (масс.)
Естественное освещение	0,75	25
Окисление перманганатом калия	0,45	55
«Глухой» опыт	1,0	–

### ***Обсуждение***

Считаем, что изменение количества органического углерода в образцах почв следует отнести за счёт разложившегося гербицида. При обсуждении результатов работы было обращено внимание на большую разницу разложившегося гербицида в результате двух видов обработки. Полагаем причину такого расхождения в том, что работа проведена зимой, в феврале месяце, при недо-

статке солнечного света. Отсюда следует вывод, что и при недостатке солнечного света окисление тоже наблюдается. Наиболее эффективно для удаления излишка гербицидов из почвы, как и предполагалось, оказалось воздействие перманганатом калия.

### *Заключение*

Гербициды, необходимые для облегчения борьбы с сорняками и повышения урожайности, как доказано в настоящее время многими исследователями разных профилей и специальностей [7, 8, 10, 14], представляют серьёзную опасность для биоэкосистем и человека в том числе поэтому требуют разумного применения. Гербициды выпускаются в самых разных видах, в любом случае возникающие загрязнения требуют очистки [15–19].

Результаты данной работы показали, что с излишками гербицидов в почве достаточно просто бороться с помощью окислителя – перманганата калия, известного в быту под названием марганцовка. При восстановлении  $Mn^{+7}$  в  $Mn^{+2}$ , перманганат окисляет гербицид до безопасных соединений, таких как  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$  и других аналогичных простых веществ. Этот способ тем проще, что перманганат калия, как было сказано выше, содержит элементы калия и марганца, необходимые растениям. Многие дачники и фермеры широко используют этот препарат (концентрацией 0,05 моль/л) для полива растений. Такой же метод можно использовать и для устранения излишков гербицидов из почвы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 12.3.041-86. Система стандартов безопасности труда. Применение пестицидов для защиты растений. требования безопасности: межгосударственный стандарт. Введ.01.01.1987. – М.: Издательство стандартов ИПК, 2001. – 66 с.
2. Степанова С. А. Особенности разложения гербицида в почве // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 192–194.
3. Онищенко Г. Г. Пестициды: защита для растений или отравы для окружающей среды? // Наука и жизнь. – 2003. – №3. – С.54–56.
4. Мартынов А. Н., Беляева Н. В., Григорьева О. И. Современные проблемы лесовыращивания. Химический и комплексный уход за лесом: учебное пособие. – СПб. : ЛТА, 2008. – 80 с.
5. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.
6. Кортэ Ф., Бахадир М., Клайн В., Лай Я. П. и др. Экологическая химия. – М.: Мир, 1997. – 402 с.
7. Рогозин М. Ю., Бекетова Е. А. Экологические последствия применения пестицидов в сельском хозяйстве // Молодой учёный, 2018. – № 25 (211). – С. 39-43.
8. ВОЗ/ СМИ, Остатки пестицидов в продуктах питания. – <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>
9. ВОЗ/ СМИ/ Вопросы здравоохранения / Международная программа по химической безопасности / Пестициды / Особо опасные пестициды. – [https://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/pesticides/ru/](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/pesticides/ru/).

10. ВОЗ/ СММ/ Вопросы здравоохранения/ Воздействие химических веществ на здоровье/ Пестициды. <https://www.who.int/ipcs/assessment/ru/>.
11. Куликова Н. А., Лебедева Г. Ф. Гербициды и экологические аспекты их применения: учебное пособие. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 152 с.
12. Лупанов А. Е., Бугаева С. К. Эффективность применения гербицидов на посевах проса // Вестник аграрной науки, 2017. – №2 – С. 20–25.
13. Вершинин В. И., Власова И. В. Никифорова И. А. Основы аналитической химии: учебное пособие. – Омск: ОмГУ, 2007. – 592 с.
14. Фёдоров Л. А., Яблоков А. В. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку. – М.: Наука, 1999. – 461с.
15. Семёнов М. Ю. Биологическая очистка поверхностных сточных вод от органических загрязнений и соединений азота: дисс. канд. техн. наук: 05.23.04. – Москва, 2007. – 134 с.
16. Non-native Invasive Freshwater Plants – Technical Information [Электронный ресурс]: Washington State Department of Ecology. Archived from the original on 2017-11-15. Retrieved 21 November 2017. – Режим доступа: <http://plants.ifas.ufl.edu/manage/why-manage-plants>.
17. Хлебникова Е. П., Симонов Д. П. Исследование возможности использования цифровых снимков высокого разрешения для определения отражательных характеристик растительности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 64–69.
18. Степанова С. А., Симонова Г. В. Водный гиацинт – природный очиститель воды // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 1. – С. 264–276.
19. Джакупова И. Б., Султангазиева Г. С., Божбанов А. Ж. Биологический метод очистки сточных вод XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего // Пензенский государственный технологический университет. – 2014. – № 1(17). – С. 113–117. 5. Коровин Н. В. Общая химия. – М.: Академия, 2011. – 496 с.

© С. А. Степанова, Г. В. Симонова, 2020

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВОРАЧИВАЕМОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СПИРАЛЬНОЙ КОНИЧЕСКОЙ ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ГРАФЕНОВОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

*Александр Григорьевич Черевко*

Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики, 630106, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, кандидат физико-математических наук, зав. кафедрой физики, тел: (383)269-39-20, e-mail: cherevko@mail.ru

*Юрий Вячеславович Моргачев*

Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики, 630106, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, инженер, тел: (383)269-39-23, e-mail: morgachev.yury@gmail.com

Одним из магистральных направлений в развитии информационных технологий является спутниковая связь (СС). Поэтому к элементной базе СС предъявляются повышенные требования по массогабаритным характеристикам и экологичности, что требует исследований по использованию новых материалов и технологий, обеспечивающих требуемый уровень вышеуказанных характеристик. Одной из таких перспективных технологий является печать графеновыми чернилами на биоразлагаемых подложках. Эти чернила не подвергаются коррозии и легче металлических аналогов. Возможность применения этой технологии позволило развивать направление разворачиваемых антенн, которые имеют предпочтительные массогабаритные характеристики, легко перевозятся и устанавливаются. Представлены результаты разработки экологической спиральной логарифмической графеновой антенны для спутниковой связи, которая может быть применена в L-, S- и C-диапазонах а также диапазонах GPS. Представлена возможная конструкция и метод установки. Рассмотрено влияние количества оборотов подложки на S-параметр. Представлена рассчитанная диаграмма направленности в двух плоскостях.

**Ключевые слова:** графен, антенны, печать, спутниковая связь, зеленая электроника.

## **DESIGNING A DEPLOYABLE ENVIRONMENTAL SPIRAL CONICAL LOGARITHMIC GRAPHENE ANTENNA FOR SATELLITE COMMUNICATIONS**

*Alexander G. Cherevko*

Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 86 Kirova St., Novosibirsk, 630106, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of Physics Department, phone: (383)269-39-20, e-mail: cherevko@mail.ru

*Yury V. Morgachev*

Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 86 Kirova St., Novosibirsk, 630106, Engineer, phone: (383) 269-39-23, e-mail: morgachev.yury@gmail.com

One of the main directions in the development of information technology is satellite communications (SC). Therefore, the elemental base of the SC is subject to increased requirements for weight and size characteristics and environmental friendliness. Research is needed on the use of new materials and technologies that will provide the required level of the above characteristics in order to achieve these requirements. One such promising technology is the printing of graphene inks on bio-

degradable substrates. Graphene inks do not corrode and are lighter than metal analogues. The possibility of using this technology allowed us to develop the direction of deployable antennas, which have the preferred weight and size characteristics, are easily transported and installed. The results of the development of an environmental spiral logarithmic graphene antenna for satellite communications, are presented. This antenna can be applied in the L-, S- and C-bands as well as GPS bands. A possible design and folding method is presented. The effect of the substrate's revolutions number on the S parameter is considered. The calculated radiation pattern in two planes is presented.

**Key words:** graphene, antennas, print, satellite, green electronics.

### *Введение*

Для передачи данных, собираемых различными приборами и датчиками, которые находятся в отдаленных районах, очень часто прибегают к использованию спутниковой связи. Данный вид связи может обеспечивать передачу данных в большом диапазоне частот. Одно из главных требований – это использование направленной антенны на приемной стороне для обеспечения передачи данных [1-2]. Для работы в нескольких частотных диапазонах спутниковой связи отлично подходит спиральная коническая логарифмическая антенна [3-4].

Однако подобные антенны обладают достаточно большими размерами [5] относительно миниатюрной аппаратуры. Так же их размеры значительно усложняют и удорожают транспортировку из-за дополнительного объема и веса.

Для уменьшения размера при перевозке возможно использовать разворачиваемые антенны, так называемые антенны-оригами. Такие антенны могут быть легко развернуты и свернуты [6]. Данное направление в настоящий момент активно изучается, в том числе при финансировании военными фондами. Например, Флоридский международный университет получил грант в размере 4,8 млн долларов на разработку технологии изготовления данных антенн, спонсированный Управлением научных исследований ВВС США [7].

На основании данных об упоминании оригами-антенн, приведённых в базе данных Scopus, можно говорить о нарастающей актуальности по разработке данных антенн (рис. 1).

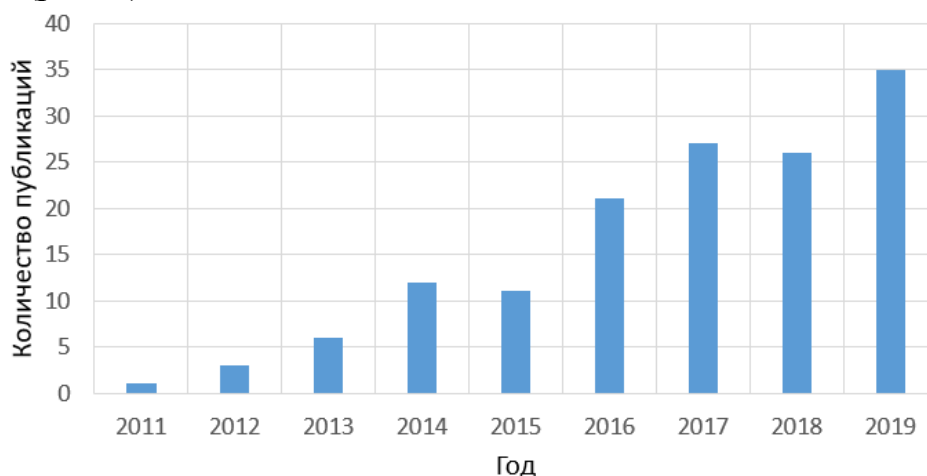


Рис. 1. Публикационная активность по разработке антенн-оригами

В статьях [8] и [9] рассматриваются конструкции спиральных антенн, работающих в частотных диапазонах 0,86-2,14 и 4-4,5 ГГц, в качестве подложки которых используется бумага и пластик, соответственно. В качестве проводящего материала используется медная фольга. В статье [10] представлена антенна, состоящая из двух полосок, которая при складывании образует куб. Полоски нанесены с помощью струйной печати. Данная антенна предполагается для использования при упаковке товаров. Конструкция данной антенны представлена на рис. 2.

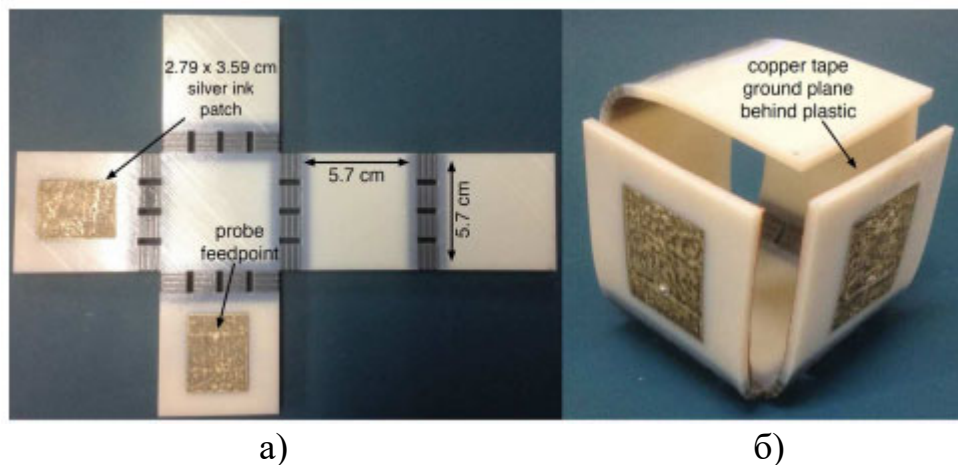


Рис. 2. Оригами-антенна в форме куба для использования при упаковке товара: а) конструкция антенны до складывания; б) конструкция антенны после складывания

К сожалению, складные антенны-оригами, о которых сообщалось на сегодняшний день, обладают ограниченной долговечностью, что объясняется хрупкостью составляющих их материалов [11]. Поэтому наилучшим проводящим материалом, который может использоваться для нанесения на бумагу является графен. Чернила на основе графен обладает меньшим весом, устойчивостью к коррозии и высыхают при меньших температурах, по сравнению с медными, серебряными или алюминиевыми. Так же графеновые чернила являются экологичными [12-14]. Графеновые экологичные антенны переносят деформации лучше, чем антенны, изготовленные на основе других чернил [15-17].

### *Результаты и их обсуждение*

В данной статье нами предложена конструкция спиральной конической логарифмической антенны и метод её развертывания. Данная антенна может работать в нескольких диапазонах спутниковой связи: L-диапазон (1,5 ГГц), S-диапазон (2,5 ГГц), C-диапазон (4 ГГц) и диапазонах GPS L3 (1381,05 МГц) и L1 (1575,42 МГц).

Такая антенна может быть выполнена с помощью технологии трафаретной печати графеном на пленке, основанной на полилактиновой кислоте (PLA), бо-



лее подробно представлено в статье [18]. Толщина данной пленки может составлять до 0,2 мм.

На рис. 3 представлена заготовка спиральной конической логарифмической антенны.

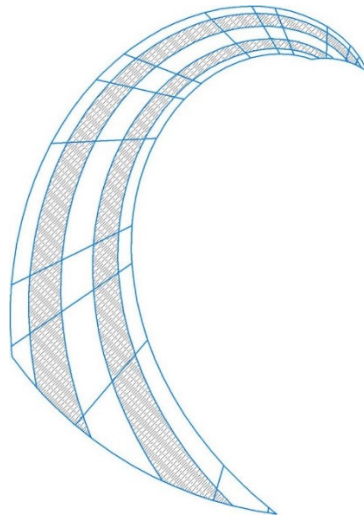


Рис. 3. Заготовка спиральной конической логарифмической антенны для нанесения на подложку

Данная антенна может быть сложена с помощью сворачивания заготовки. Так же на заготовку наносятся линии, которые направлены поперек антенны для контроля верного положения антенны при сворачивании. На рис. 4 представлена конструкция антенны. Серым цветом изображен графен, бирюзовым – пленка. Пленка, расположенная над графеном, убрана для наглядности конструкции.

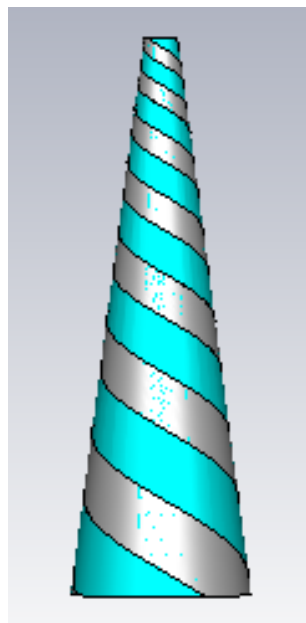


Рис. 4. 3Д модель спиральной конической логарифмической антенны

Компьютерное моделирование, выполненное с помощью современных компьютерных электромагнитных пакетах, позволяет достигать высокую степень совпадения рассчитанных характеристик и измеренных, что представлено нами в статьях [19] и [20].

Влияние толщины пленки, используемой в качестве подложки, было проанализировано с помощью компьютерного моделирования. На рис. 5 представлено влияние толщины пленки на S-параметр данной антенны.

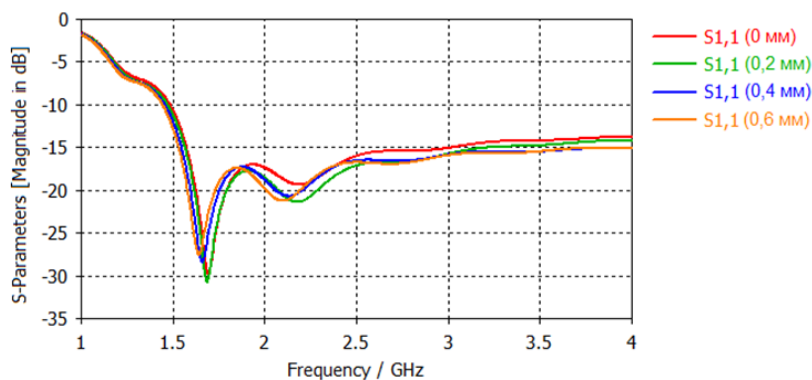


Рис. 5. S-параметр спиральной конической логарифмической антенны

Как можно заметить, изменение толщины пленки незначительно влияет на итоговый S-параметр данной антенны.

Диаграмма направленности данной антенны представлена на рис. 6. Средний коэффициент усиления, достигнутый в данном диапазоне частот, составляет 5 дБ.

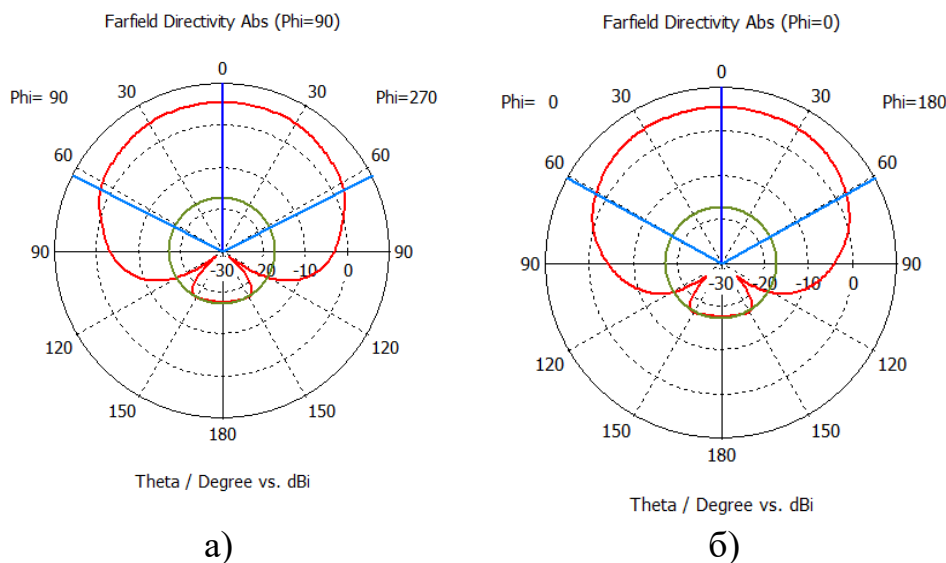


Рис. 6. Диаграмма направленности спиральной конической логарифмической антенны на частоте 2,5 ГГц в двух плоскостях:

а) E-плоскость; б) H-плоскость

## Заключение

В данной работе представлена конструкция спиральной конической логарифмической графеновой антенны, работающей в диапазонах спутниковой связи. Данная антенна может быть просто изготовлена с помощью печати представленной заготовки на пленке. А также в дальнейшем свернута с высокой точностью из-за наличия дополнительных линий, нанесенных поперек антенны. На основании компьютерного моделирования доказано, что при скручивании влияние обертывания пленкой будет незначительным.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fujimoto K. *Mobile Antenna Systems Handbook*. Boston, Mass.: Artech House, 2008. p. 680
2. Teunissen P J G, Montenbruck O., Hein G.W. *Springer handbook of global navigation satellite systems*. Cham, Switzerland: Springer, 2017. p.1327.
3. Hussein K.F.A. *Conical Linear Spiral Antenna for Tracking, Telemetry and Command of Low Earth Orbit Satellites // Progress in Electromagnetics Research C*. 2012. Т. 29. С. 97–107.
4. Olson G. и др. *Structural Architectures for a Deployable Wideband UHF Antenna // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*. 2012. DOI: 10.2514/6.2012-1836
5. Dyson J. *The Characteristics and Design of the Conical Log-Spiral Antenna // IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. V. 13. 1965. p. 488-499
6. Hayes G.J. и др. *Self-Folding Origami Microstrip Antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2014. Т. 62. № 10. С. 5416–5419.
7. *These Satellite Antennas Were Inspired by Origami [Электронный ресурс]*. URL: <https://www.airspacemag.com/airspacemag/satellite-antennas-inspired-origami-180972978/> (дата обращения: 27.05.2020).
8. Liu X. и др. *An Origami Reconfigurable Axial-Mode Bifilar Helical Antenna // IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2015. Т. 63. № 12. С. 5897–5903.
9. Jalali Mazlouman S. и др. *Reconfigurable Axial-Mode Helix Antennas Using Shape Memory Alloys // IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2011. V. 59. № 4. p. 1070–1077.
10. Kimionis J. и др. *3D-Printed Origami Packaging with Inkjet-Printed Antennas for RF Harvesting Sensors // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2015. V. 63. № 12. p. 4521–4532
11. Yan S., Vandenbosch G.A.E. *Radiation Pattern-Reconfigurable Wearable Antenna Based on Metamaterial Structure // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2016. V. 15. p. 1715–1718.
12. Черевко А.Г., Моргачев Ю.В. *Экологичные антенны как элементы интернета вещей // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. 2017. Т. 17. № 3. С. 773-776.
13. Pan K. и др. *Sustainable production of highly conductive multilayer graphene ink for wireless connectivity and IoT applications // Nature Communications*. 2018. Т. 9. № 1. DOI: s41467-018-07632-w
14. Sang Tran T., Dutta N., Roy Choudhury N. *Graphene-Based Inks for Printing of Planar Micro-Supercapacitors: A Review // Materials*. 2019. Т. 12. № 6. С. 978.
15. Cherevko A., Morgachev Y., Il'in E. *Place of Computer Modeling in Design of Biodegradable Graphene Printed Antennas of Cellular Range // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*. 2019. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867673

16. Edvige Celasco и др. Handbook of graphene. Vol. 8. Hoboken, Nj: John Wiley & Sons, Inc. ; Beverly, Ma, 2019. p.503
17. Lamminen A. и др. Graphene-Flakes Printed Wideband Elliptical Dipole Antenna for Low-Cost Wireless Communications Applications // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2017. Т. 16. С. 1883–1886.
18. Cherevko A. et al. Graphene Antenna on a Biodegradable Substrate for Frequency Range of Cellular Operators // 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). 2018. P. 312-314
19. Cherevko A.G., Morgachev Y.V. Terahertz antenna modules // 2016 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). 2016. DOI: 10.1109/EDM.2016.7538713
20. Черевко А.Г., Моргачев Ю.В., Котин И.А., Якимчук Е.А., Соотс Р.А., Антонова И.В. Графеновая антенна на биоразлагаемой подложке для частотного диапазона GSM-1800 // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2018 Труды XIV Международной научно-технической конференции. Т.8. 2018. С. 168-171.

© А. Г. Черевко, Ю. В. Моргачев, 2020

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИЗИРНЫХ СИСТЕМ**

### ***Валерик Сергеевич Айрапетян***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383) 361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@srgga.ru

### ***Иван Сергеевич Бутримов***

Сибирский филиал федерального казенного учреждения «Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» МВД России, 630055, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383) 332-07-55, e-mail: butrimov@ngs.ru

### ***Алексей Анатольевич Топорков***

АО «Новосибирский приборостроительный завод», 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 179/2, начальник конструкторского отдела, тел: (383) 216-08-94, e-mail: toporkovAA@ponpz.ru

В статье приводится описание метода контроля характеристик, связанных с определением положения линии визирования. Особенностью метода является использование оптико-электронного стенда, обеспечивающего фиксацию изображения визирного знака контролируемой системы в обратном ходе лучей. Показана возможность проведения измерений в автоматизированном режиме, что обеспечивает оперативность и высокую точность измерений без влияния личной ошибки оператора на результат измерения.

**Ключевые слова:** оптико-электронный стенд, визирное устройство, линия визирования, позиционно-чувствительный фотоприёмник.

## **AUTOMATED METHOD FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF VISING SYSTEMS**

### ***Valerik S. Hayrapetyan***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc, Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383) 361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@srgga.ru

### ***Ivan S. Butrimov***

Federal Government Institution “Scientific and Production Association “Special Equipment and Communication” of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 630055, Russia, Novosibirsk, 3 Kutateladze St., Associate Professor, phone: (383) 332-07-55, e-mail: butrimov@ngs.ru

### ***Alexey A. Toporkov***

Novosibirsk Instrument-making plant, 630049, Russia, Novosibirsk, 179/2 Dusi Kovalchuk St., Head of the Design Department, phone: (383) 216-08-94, e-mail: toporkovAA@ponpz.ru

The article describes a method for monitoring characteristics associated with determining the position of the line of sight. A feature of the method is the use of an optoelectronic stand, which provides fixation of the image of the target mark of the controlled system in the return path of the beams. The possibility of carrying out measurements in an automated mode is shown, which ensures efficiency and high accuracy of measurements without the influence of the operator's personal error on the measurement result.

**Key words:** optoelectronic stand, sighting device, line of sight, position-sensitive photodetector.

### *Введение*

Одними из основных характеристик визирных систем (ВС) являются характеристики, связанные с определением пространственного положения линии визирования (ЛВ). К наиболее важным и распространённым на практике необходимо отнести следующие: точность позиционирования ЛВ, диапазон и дискретность изменения углового положения ЛВ, стабильность положения ЛВ при воздействии внешних воздействующих факторов [1, 2], т. е. тех характеристик, которые и определяют основное функциональное назначение ВС. В связи с этим, при метрологическом контроле визирных систем характеристикам, связанным с ЛВ уделяется существенное внимание.

Практика метрологического контроля характеристик ВС показывает, что при использовании стандартных средств измерения: коллиматоров, автоколлиматоров, теодолитов и т.д., одной из составляющих суммарной погрешности определения координат положения ЛВ являются ошибки наведения визирного знака в какую-либо реперную точку, а также ошибки снятия отсчёта, допускаемые оператором. Эти ошибки в основном обусловлены ограниченной разрешающей способностью зрительного аппарата оператора и несовершенством применяемых измерительных систем. Часть ошибок по своей природе являются случайными и их значения возможно минимизировать путём проведения многократных измерений и последующей статистической обработки полученных результатов. Однако следует отметить, что на практике не всегда имеется возможность проведения большого числа измерений с последующими расчётами. Несовершенство измерительных систем, например, ограниченную дискретность измерительных шкал, погрешность их изготовления относят к систематической составляющей суммарной погрешности, которую невозможно компенсировать какими-либо приёмами, за исключением применения более точных измерительных систем. Перечисленные выше факторы ведут к снижению точности измерения и зависимости полученного результата измерения от квалификации оператора и характеристик измерительных систем.

### *Оптико-электронный стенд и автоматизированный метод контроля*

Рассмотрим вариант оптико-электронного стенда, предназначенного для контроля характеристик, связанных с определением положения ЛВ, в автоматизированном режиме без влияния личной ошибки оператора [3, 4].

Схема оптико-электронного стенда представлена на рис. 1.

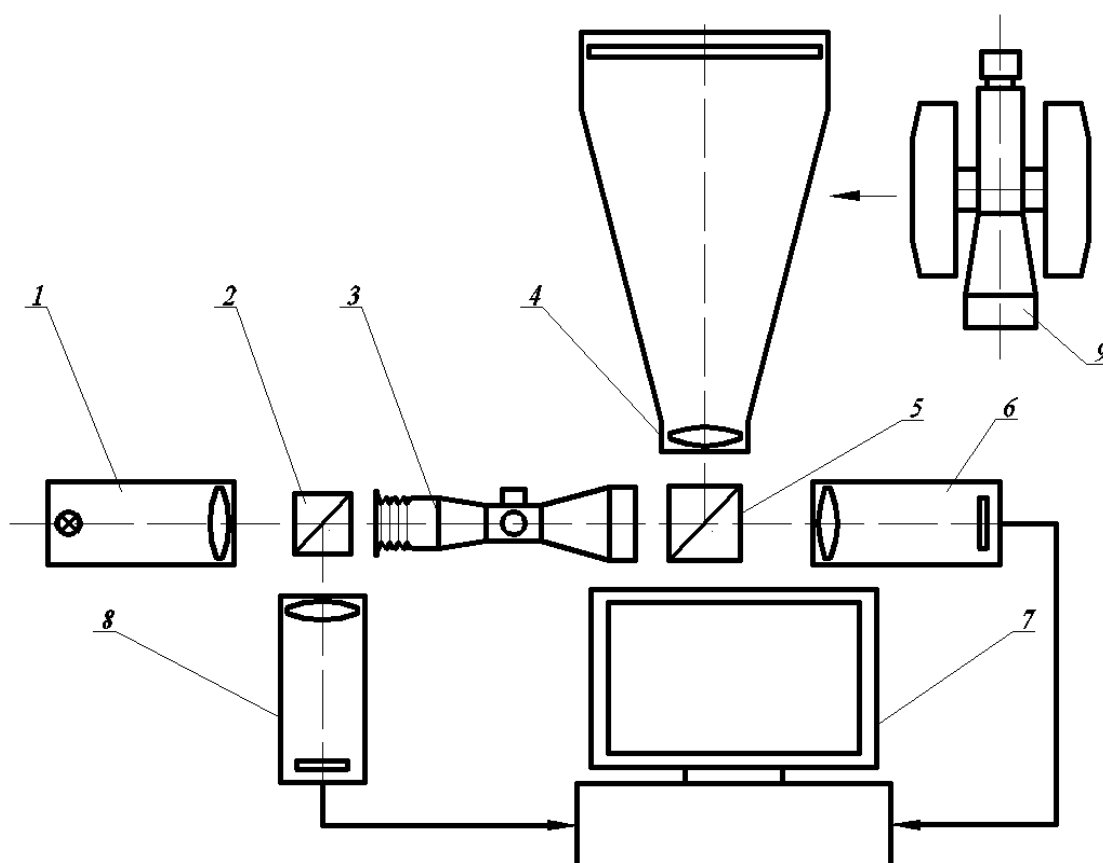


Рис. 1. Схема оптико-электронного стенда

1 – осветительная система, 2, 5 – светоделительная призма, 3 – контролируемая визирная система, 4 – широкоугольный коллиматор, 6 – измерительная телевизионная камера, 7 – ЭВМ, 8 – визирная телевизионная камера, 9 – тахеометр

Оптико-электронный стенд (ОЭС) состоит из двух каналов: измерительного и наблюдательного. Измерительный канал, в свою очередь, содержит осветительную систему 1, обеспечивающую необходимую освещённость сетки контролируемой визирной системы 3, и измерительную телевизионную камеру 6, фиксирующую изображение сетки контролируемой визирной системы 3 в плоскости её позиционно-чувствительного фотоприёмника [5].

Наблюдательный канал состоит из широкоугольного коллиматора 4, формирующего изображение сетки, предназначенной для наведения контролируемой визирной системы, светоделительных призм 2 и 5, предназначенных для направления изображения сетки коллиматора через контролируемую систему в визирную телевизионную камеру 8 [6]. Телевизионные камеры 6 и 8 связаны с ЭВМ 7, на дисплее которой имеется возможность наблюдения изображения визирного знака и сетки широкоугольного коллиматора.

Принцип работы оптико-электронного стенда основан на фиксации изображения визирного знака, полученного в обратном ходе оптических лучей, в плос-

кости позиционно-чувствительного фотоприёмника измерительной телевизионной камеры 6, с последующим определением координат полученного изображения при помощи ЭВМ 7 с соответствующим программным обеспечением.

Координаты геометрического центра визирного знака в плоскости позиционно-чувствительного фотоприёмника определяются из следующих выражений [7 – 9]:

$$Y = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I_{nop,ij} \cdot i}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I_{nop,ij}}, \quad X = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I_{nop,ij} \cdot j}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I_{nop,ij}}, \quad (1)$$

где  $X$  – координата центра геометрической фигуры по горизонтальной оси;

$Y$  – координата центра геометрической фигуры по вертикальной оси;

$m, n$  – число пикселей в строке и столбце;

$I_{nop,ij}$  – уровень сигнала в пикселе в  $i$ -ой строке и  $j$ -ом столбце;

$$I_{nop,ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } I_{ij} > I_{nop} \\ 0 & \text{при } I_{ij} \leq I_{nop} \end{cases}. \quad (2)$$

Изображение визирного знака в плоскости позиционно-чувствительного фотоприёмника и результат расчёта его геометрического центра представлены на рис. 2.

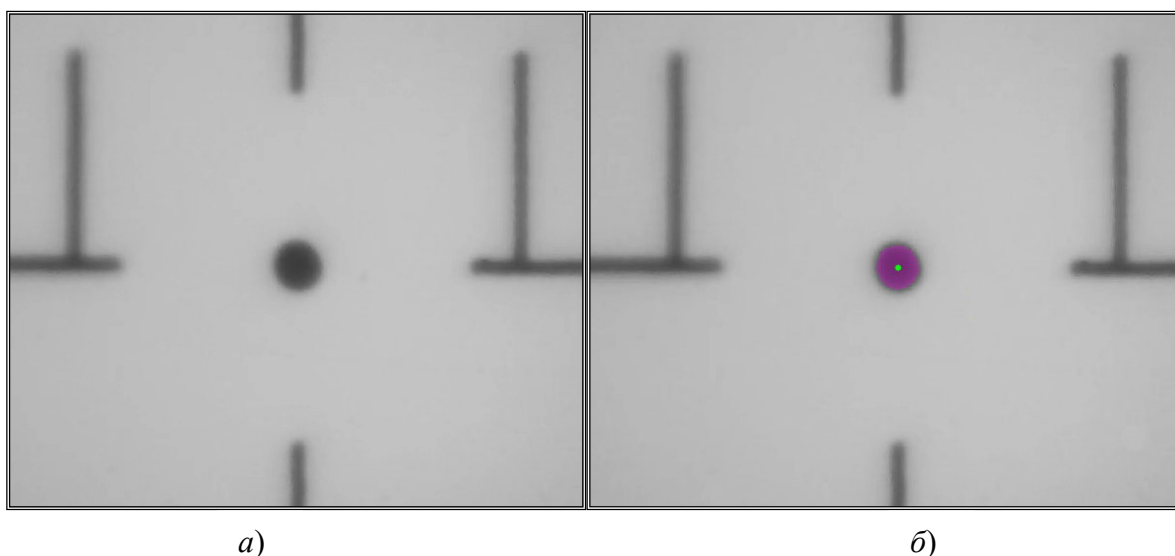


Рис. 2. Фрагмент изображения визирного знака контролируемой оптической системы

*a)* исходное изображение; *б)* обработанное изображение, с вычисленным геометрическим центром визирного знака



Основные характеристики оптико-электронного стенда представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

Наименование	Значение
Диапазон измерения угловых смещений линии визирования, угловых минут	23×17 *
Дискретность отсчётной системы, угловых секунд	0,9
Размерность позиционно-чувствительного фотоприёмника, пикселей	1600×1200
Размер пикселя позиционно-чувствительного фотоприёмника, мкм	2,2
Габариты: - измерительной телевизионной камеры, мм - визирной телевизионной камеры, мм	460×180×120 150×80×80
Масса: - измерительной телевизионной камеры, кг - визирной телевизионной камеры, кг	5,3 0,9
* Значение параметра зависит от угловых размеров визирного знака контролируемой оптической системы	

### *Результаты*

Для определения достигнутых показателей точности была оценена сравнительная погрешность определения координат положения ЛВ с помощью рассматриваемого ОЭС и образца сравнения – средства измерения утверждённого типа – тахеометра 6Та2 [10], в соответствии со схемой, приведённой на рис. 1. Для выполнения последующих измерений в схеме (рис. 1) на место широкоугольного коллиматора устанавливался тахеометр 6Та2.

Измерения включали в себя оценку следующих параметров: погрешность определения координат ЛВ и погрешность измерения величины углового смещения ЛВ.

Сущность выполнения проверки по оценке погрешности определения координат ЛВ заключалась в многократном определении координат визирного знака, используя ОЭС и тахеометр 6Та2, при неизменном положении ЛВ.

В качестве визирной системы использовался прибор оптический «ПО-6» на основе телескопической системы с визирным знаком, представленным на рис. 2. Результаты выполнения проверки приведены в табл. 2.

Используя полученные результаты и известные методы статистической обработки результатов измерений [11, 12], было получено, что среднее квадратическое отклонение координат положения визирного знака составило: для оптико-электронного стенда – 0,1", для тахеометра 6Та2 – 0,8". Таким образом, в условиях эксперимента получено, что точность определения координат визирного знака прибора «ПО-6» при использовании ОЭС выше в 8 раз, чем для образца сравнения – тахеометра 6Та2.

Таблица 2

№	Координаты линии визирования			
	Оптико-электронный стенд		Тахеометр 6Та2	
	в горизонтальном направлении – X, пиксели	в вертикальном направлении – Y, пиксели	в горизонтальном направлении – X	в вертикальном направлении – Y
1	112,90	78,74	0°10'31"	0°05'49"
2	112,98	78,70	0°10'31"	0°05'48"
3	113,03	78,73	0°10'31"	0°05'47"
4	112,81	78,72	0°10'32"	0°05'47"
5	113,16	78,92	0°10'33"	0°05'47"
6	113,04	78,77	0°10'32"	0°05'49"
7	112,97	78,72	0°10'31"	0°05'47"
8	113,13	78,72	0°10'32"	0°05'48"
9	113,16	78,69	0°10'31"	0°05'49"
10	112,89	78,99	0°10'32"	0°05'49"

Примечание – Угловой размер пиксела позиционно-чувствительного фотоприёмника ОЭС составляет 0,9"

На точность определения величины углового смещения ЛВ используя ОЭС могут оказывать влияние погрешности, вызывающие искажение изображения визирного знака, изменение его освещённости по полю зрения, погрешность квантования, вызванная ограниченной дискретностью позиционно-чувствительного фотоприёмника, погрешность шага позиционно-чувствительного фотоприёмника и др. Сущность проверки заключалась в одновременном определении координат положения ЛВ контролируемой визирной системы при помощи оптико-электронного стенда и тахеометра 6Та2, далее производилось изменение углового положения ЛВ контролируемой визирной системы на произвольный угол и последующая одновременная фиксация координат нового положения ЛВ при помощи исследуемого оптико-электронного стенда и тахеометра 6Та2. Разность значений, определяющих величину изменения углового положения ЛВ, полученных для двух средств измерения, представляет собой оценку достигнутой точности рассматриваемого оптико-электронного стенда в сравнении с тахеометром 6Та2.

Результаты выполнения проверки приведены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что разность значений, полученных для оптико-электронного стенда и тахеометра 6Та2, не превышает двух угловых секунд. Учитывая результаты предыдущей проверки можно заключить, что существенная доля от разности между показаниями рассматриваемых средств измерения относится к погрешности тахеометра 6Та2, составляющей, согласно его паспорту, также порядка двух угловых секунд. Если показания тахеометра, напротив, принять за эталонные, то и в этом случае достигнутая точность ОЭС позволит обеспечить надёжный контроль характеристик с допуском на контролируемый параметр, со-

ставляющий 10 – 15 угловых секунд. К таким визирным системам может относиться, например, прицельная техника, контролируемая в производственных условиях, в испытательных лабораториях, т.е. там, где требуется достаточно высокая точность измерений и, при этом, недопустимо или неприемлемо с экономической точки зрения проведение многократных измерений при помощи традиционных углоизмерительных средств: коллиматоров, автоколлиматоров, теодолитов и т.д. К возможным ограничениям применения рассматриваемого оптико-электронного стенда следует отнести не достаточно большой диапазон работы его отсчётной системы, а также осуществление контроля лишь таких оптических систем, которые допускают формирование изображения визирного знака в обратном ходе лучей. При этом следует отметить, что некоторого увеличения диапазона работы ОЭС возможно достигнуть применением более короткофокусного объектива измерительной телевизионной камеры. Это несколько снизит угловую разрешающую способность ОЭС, однако имеющийся метрологический запас по точности способен обеспечить выполнение большинства измерительных задач с приемлемой погрешностью.

Таблица 3

№	Смещение линии визирования		Разность отсчётов
	Оптико-электронный стенд	Тахеометр 6Та2	
1	08'16"	08'17"	0'01"
2	05'20"	05'21"	0'01"
3	07'08"	07'06"	0'02"
4	22'00"	21'58"	0'02"
5	02'51"	02'52"	0'01"
6	03'49"	03'47"	0'02"
7	03'56"	03'56"	0'00"
8	04'14"	04'14"	0'00"
9	03'34"	03'34"	0'00"
10	03'42"	03'41"	0'01"
Примечание – для ОЭС производилось по одному измерению для каждой из двух точек измеряемого интервала, для тахеометра – по три измерения для каждой точки, после чего рассчитывалось среднее значение для каждой точки			

## Заключение

Таким образом, представленный оптико-электронный стенд позволяет производить определение координат положения линии визирования, а также определять величину её угловых смещений в автоматизированном режиме, оперативно и без влияния личной ошибки оператора на результат измерения. При этом достигнутая в ходе экспериментов погрешность оптико-электронного стенда сопоставима с погрешностью средств измерений, классифицируемых как точные.

### Библиографический список

1. Бутримов, И. С. Основные аспекты контроля параметров прицельной техники в ходе полигонных испытаний [Текст] / И. С. Бутримов, В. С. Айрапетян, М. С. Комбаров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 178–183.
2. Бутримов, И.С. Оптико-электронное устройство для контроля параметров прицельной техники [Текст] / И.С. Бутримов, В.С. Айрапетян // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 139–144.
3. Бутримов, И.С. Определение положения линии визирования прицельных устройств с исключением ошибки оператора [Текст] / И. С. Бутримов, В. Б. Шлишевский // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58, № 6. – С. 478 – 484
4. Бутримов, И. С. Оптико-электронный комплекс для контроля положения линии визирования прицельных устройств в ходе стендовых испытаний [Текст] / И. С. Бутримов, В. С. Айрапетян // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 1 (33). – С. 124–138.
5. КМС-E16RV2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mir.in-site.ru/catalog/667d3e7d-80e8-11e0-ace8-000272185abd/showInfo.php> (Дата обращения: 19.03.2020).
6. Камера телевизионная VEC-545-USB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.evs.ru/d\\_sheet/VEC-545-USB.pdf](http://www.evs.ru/d_sheet/VEC-545-USB.pdf) (Дата обращения: 19.03.2020).
7. Барышников Н. В., Животовский И. В., Пискунов Т. С. Исследование влияния угловых аберраций объектива оптико-электронного координатора на погрешности измерения взаимного углового рассогласования осей лазерных пучков // Наука и образование [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/479575.html> (Дата обращения: 19.03.2020).
8. Высокоточные угловые измерения [Текст] / Д.А. Аникст, К.М. Константинович, И.В. Меськин и др.; Под ред. Ю.Г. Якушенкова, М.: Машиностроение, 1987. – 480 с.
9. Парвулюсов, Ю.Б. Проектирование оптико-электронных приборов: учебник [Текст] / Ю.Б. Парвулюсов, С.А. Родионов, В.П. Солдатов; под ред. Ю.Г. Якушенкова. – М. : Логос, 2000. – 488 с.
10. Тахеометр электронный 6Та2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uomz.ru/ru/production/geodeziya/taheometry/6ta2> (Дата обращения: 19.03.2020).
11. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Текст] : ГОСТ Р 8.736-2011. – Введ. 13.12.2011.
12. Афанасьев, В.А. Оптические измерения [Текст] : учебник для вузов / А.В. Афанасьев ; Под ред. Д.Т. Пуряева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1981. – 229 с.

© В. С. Айрапетян, И. С. Бутримов, А. А. Топорков, 2020

## **ОБНАРУЖЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ И РАССЕЯНИЯ НА ОСНОВЕ ИК-ПГС**

*Валерик Сергеевич Айрапетян*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@sgga.ru

*Александр Викторович Макеев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

Предложена схема кольцевого резонатора ИК-ПГС для дистанционного обнаружения и идентификации взрывчатых веществ методом дифференциального поглощения и рассеяния. Проведены расчетные исследования по дистанционной идентификации спектроскопических параметров некоторых взрывчатых веществ (TNT).

**Ключевые слова:** лидар, перестраиваемый генератор света, метод дифференциального поглощения и рассеяния, нелинейный кристалл, HGS, взрывчатое вещество, TNT, тротил.

## **DETECTION AND IDENTIFICATION OF EXPLOSIVES BY DIFFERENTIAL ABSORPTION AND SCATTERING BASED ON IR-OPO**

*Valerik S. Hayrapetyan*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc, Head of the Department of Special Devices, Innovation and Metrology, phone: (383) 361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@sgga.ru

*Alexander V. Makeev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plahotnogo St., Ph. D. student, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

An IR-OPO ring resonator circuit for remote detection and identification of explosives by differential absorption and scattering is proposed. Computational studies on the remote identification of the spectroscopic parameters of some explosives (TNT) were carried out.

**Key words:** lidar, tunable light generator, differential absorption and scattering method, non-linear crystal, HGS, explosive, TNT.

### ***Введение***

В мире наблюдается тенденция к росту терроризма. Так военная доктрина Российской Федерации в пункте 12 (к) относит растущую угрозу глобального экстремизма (терроризма) и его новых проявлений в условиях недостаточно эффективного международного антитеррористического сотрудничества, реальную

угрозу проведения терактов с применением радиоактивных и токсичных химических веществ, к основным внешним военным опасностям, угрожающим нашей стране. Оптические методы обнаружения взрывчатых веществ с использованием лазерного излучения в диапазоне 1,41-9,0 мкм обладают рядом преимуществ перед широко распространенными контактными методами обнаружения взрывчатых веществ. Поэтому задача создания новых высокоэффективных комплексов дистанционного обнаружения и идентификации взрывчатых веществ, основанных на методах лазерной ИК-спектроскопии для оснащения специальных служб РФ, является крайне актуальной для обеспечения безопасности и обороноспособности нашей страны.

В связи с актуальностью рассматриваемой проблемы активно ведутся работы по совершенствованию и разработке новых методов обнаружения взрывчатых веществ.

Тринитротолуол (тротил, TNT) – известное бризантное взрывчатое вещество. В работе [2] был проведен спектрохимический анализ и квантово-химический расчет гибридными функционалами B3LYP и базисным набором

3-21G в компьютерной программе GaussView. Был получен спектр поглощения и значения частот и интенсивностей колебательно-вращательных переходов молекулы. Основные характеристики TNT представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

Название	Состав	Плотность	Теплота взрыва, кДж/кг	Скорость стационарной детонации, Км/с	Давление в точке Чем-пена-Жуге, ГПа	Температура плавления, °С
Тротил (TNT)	Тринитротолуол	1,06-1,64	3570-4330	5,25-6,95	11,0-19,0	80,85

Для поиска информативных спектральных линий для тринитротолуола был получен и смоделирован спектр высокого разрешения молекулы воды с заданными параметрами и получена функция поглощения в информационной системе «Спектроскопия атмосферных газов» (SPECTRA) [10], которая использует HITRAN и GEISA. Для моделирования молекулы воды (H<sub>2</sub>O) в диапазоне волновых чисел от 1000 до 2000 см<sup>-1</sup> были выбраны следующие параметры: температура T = 296 К, давление p = 1 атм., шаг вычислений 1 см<sup>-1</sup>.

### ***Методы и материалы***

В работе предложен метод обнаружения и идентификации взрывчатых веществ на основе лидарного комплекса, использующего в качестве источника излучения инфракрасный параметрический генератор света (ИК-ПГС). Рассматриваемый метод основан на том, что в средней ИК области, от 2500 см<sup>-1</sup> (4 мкм) до 1100 см<sup>-1</sup> (9 мкм), колебательно-вращательные спектры поглощения молекул TNT обладают высокой специфичностью, определяемой их симметрией и химическим составом, что позволяет с достаточной точностью относить отдельные

спектральные линии к вполне определенному химическому соединению. Именно в этой области спектра находятся фундаментальные колебательно-вращательные переходы молекул практически всех известных взрывчатых веществ.

На рисунке 1 представлена схема лидарного комплекса для дистанционного обнаружения взрывчатых веществ

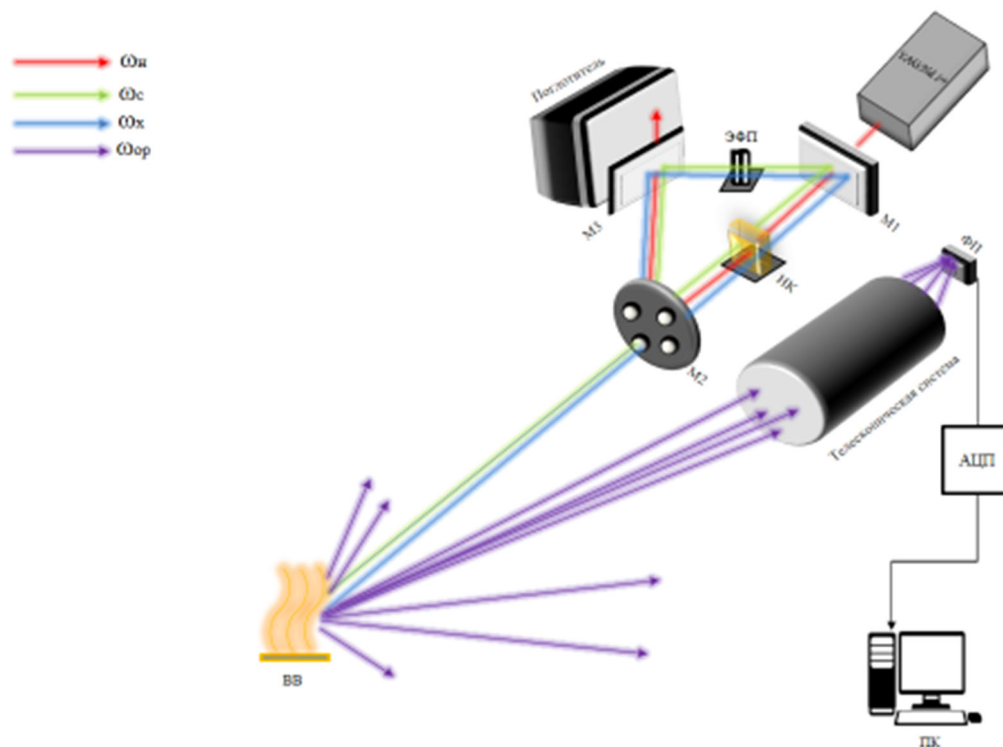


Рис. 1. Схема ИК-параметрического лидарного комплекса

Источником накачки служит импульсный  $YAG: Nd^{3+}$  – лазер, плавная перестройка частоты  $\omega_c$ ,  $\omega_x$  осуществляется посредством поворота нелинейного кристалла (НК) из HGS, сам резонатор выполнен по кольцевой схеме и состоит из зеркал M1, M2, M3, причем зеркало M2 выполнено в виде набора зеркал, размещенных на револьверном механизме, для оптимизации коэффициента отражения, а зеркало M3 имеет пропускание на частоте  $\omega_n$  излучения накачки, которое попадает в специально установленный поглотитель, обеспечивая тем самым оптимальный режим работы диспергирующего элемента в виде эталона Фабри-Перо (ЭФП), АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ПК - персональный компьютер [14]

Сам метод поиска и обнаружения взрывчатого вещества (ВВ) основан на принципе дифференциального поглощения и рассеяния (ДПР). С помощью установки, посредством плавной перестройки частоты излучения, лазерный импульс, проходя через взрывчатое вещество, устанавливается на максимуме линии поглощения в т. В, затем, на крыле этой линии в т. А (рис. 2).

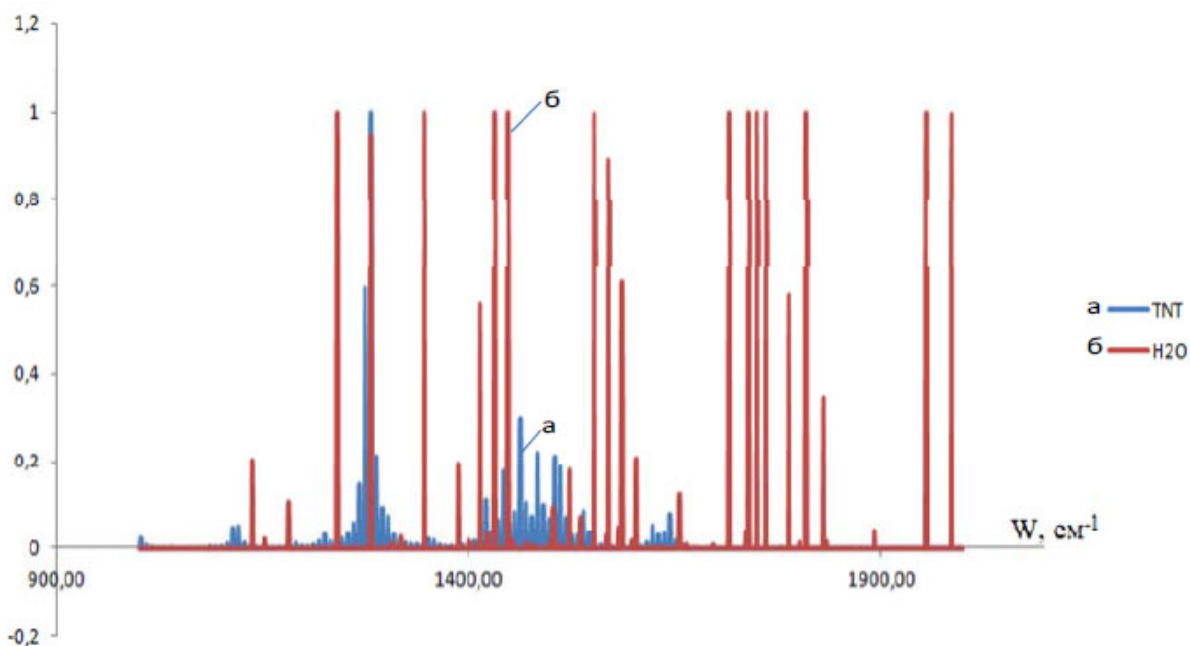


Рис. 2. ИК-фурье график функции поглощения TNT и H<sub>2</sub>O в инфракрасном диапазоне частот от 3500 до 500 см<sup>-1</sup>.

Сигналы двух импульсов регистрируются фотодетектором и сравниваются в АЦП. Дифференциальное значение этих двух сигналов выводится на монитор ПК в виде колебательно - вращательных спектров поглощения молекулами ВВ. Метод ДПР обладает наилучшей чувствительностью при зондировании определенных составляющих с больших расстояний [14,15,16].

Расчет полуширины лазерного излучения выполнен по формуле:

$$\Delta\vartheta = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_0^2}. \quad (1)$$

На основе интенсивностей были вычислены объемные коэффициенты обратного рассеяния  $\beta(\lambda_0, R)$  на длине волны  $\lambda_0$  и расстоянии до объекта  $R$ , а затем получено значение минимальной выходной энергии зондирующего лазера для детектирования минимальной концентрации ВВ в соответствии с формулой

$$E_{Lmin} \approx \frac{2R^2 \cdot \left(\frac{C}{Ш}\right)_{min}}{\beta(\lambda_0 R) \cdot \xi(\lambda_0) \cdot U(\lambda_0)} \exp \left[ 2 \int_0^R k(\lambda_0 R) dR \right], \quad (2)$$

где  $C/Ш$  – отношение интенсивности сигнала к шуму;  $\xi(\lambda_0)$  – коэффициент спектрального пропускания приемной оптической системы;  $U(\lambda_0)$  – параметр чувствительности приемной системы;  $k(\lambda_0, R)$  – коэффициент ослабления на соответствующей длине волны  $\lambda_0$ .



Учитывая, что отношение интенсивности сигнала к шуму (С/Ш) для данной системы равно 1,5, зная величины параметров лазерной установки ( $\xi(\lambda_0) = U(\lambda_0) = 1$ ), с учетом проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях ( $R = 5$  см) по формуле (1) получим, что минимально необходимая энергия зондирующего лазера будет равна 10 мДж.

По значениям минимальной выходной энергии зондирующего сигнала, объемного коэффициента обратного рассеяния и расстояния до объекта вычислена интенсивность прошедшего сигнала ( $E$ ) через молекулы вещества, TNT по формуле Бэра:

$$E = E_{Lmin} \cdot e^{-\beta R}. \quad (3)$$

Величина концентрации органических веществ  $N(R)$  в объеме газа, определяемая методом ДПР рассчитана по формуле:

$$N(R) = \frac{1}{2\sigma_A(\lambda_0 - \lambda_1)} \left\{ \frac{d}{dR} \left[ \ln \frac{P(\lambda_1, R)}{P(\lambda_0, R)} - \ln \frac{\beta(\lambda_1, R)}{\beta(\lambda_0, R)} \right] + k(\lambda_1, R) - k(\lambda_0, R) \right\} \quad (4)$$

### Результаты

Расчеты спектроскопических параметров для веществ TNT, TATR, DNT представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета спектроскопических параметров ВВ

Наименование вещества	Максимальная частота поглощения, $\nu$ (см <sup>-1</sup> )	Длина волны, $\lambda$ (мкм)	Полуширина излучения, $\Delta\nu$ (см <sup>-1</sup> )	Коэффициент поглощения, $\alpha$ (см <sup>-1</sup> )	Концентрация веществ, ppm
TNT	1850±0,7	5,405	56,1±1	1,78·10 <sup>-11</sup>	10

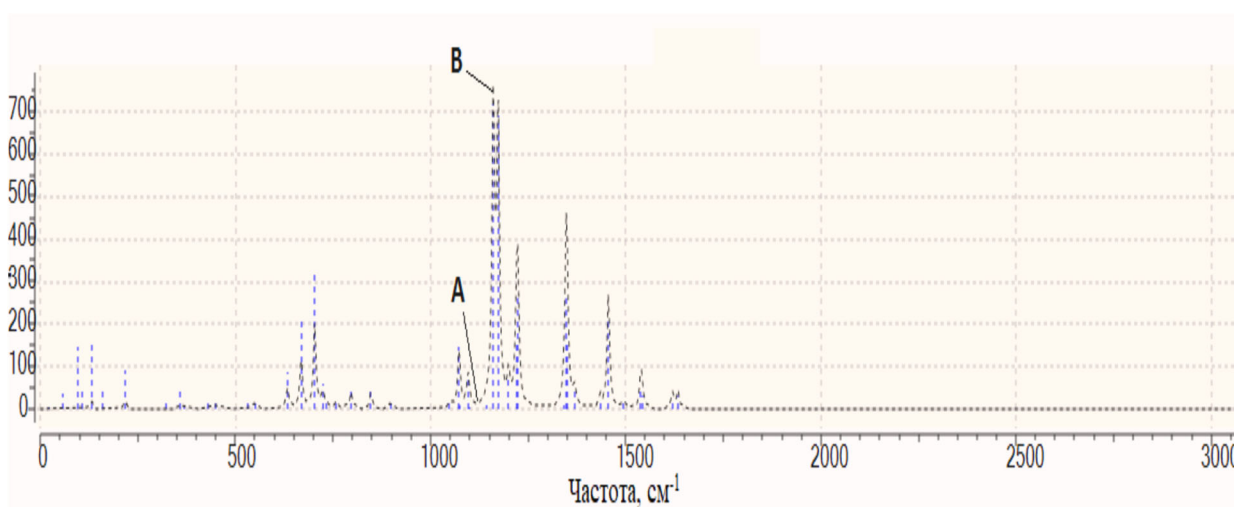


Рис. 3 Моделирование спектра TNT в средней ИК-области

## Заключение

Таким образом в работе проведены, расчеты пороговых значений концентраций ВВ обнаруживаемых методом ДПР, предложена схема ИК-параметрического лидарного комплекса для обнаружения и идентификации ВВ методом ДПР, представлены расчетные спектроскопические параметры для ВВ типа TNT.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №19-45-700003)

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кихтенко А.В., Елисеев К.В. Обнаружение взрывоопасных объектов: аппаратное обеспечение антитеррористических служб // Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. – 2005, Т. XLIX №4 – 132-137 С.
2. E. Сесо, Н. Ötnerud, D. Menning, J.L. Gilljam, P. Baath, Н. Östmark, Stand-off imaging Raman spectroscopy for forensic analysis of post-blast scenes – Trace detection of ammonium nitrate and 2,4,6-trinitrotoluene. – Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, and Explosives Sensing XV, *Proc. of SPIE*, Vol. 9073, 90730G. – 2014. – pp. 1-9.
3. Zachhuber B., Ramer G., Horbo A., Lendl B., Stand-off Raman spectroscopy of explosives, *Proc. of SPIE*, Vol. 7838, 78380F (2010), p. 1-10.
4. Katz O., Natan A., Silberberg Y., Rosenwaks S. Standoff detection of trace amounts of solids by nonlinear Raman spectroscopy using shaped femtosecond pulses // *Appl. Phys. Lett.* 2008. V. 92, N 17. P. 171116.
5. Wynn C. M.; Palmacci S.; Kunz R. R.; Rothschild M. A Novel Method for Remotely Detecting Trace Explosives. – *Lincoln Laboratory Journal*, 17, №2, (2008), pp. 27–39.
6. Wynn C.M., Palmacci S., Kunz R.R., Aernecke M. Noncontact optical detection of explosive particles via photodissociation followed by laser-induced fluorescence // *Opt. Express*. 2011. V. 19, N 19. P. 18671–18677.
7. Mukherjee A., Porten S., Patel C.K.N. Standoff detection of explosive substances at distances of up to 150 m // *Appl. Opt.* 2010. V. 49. N 11. P. 2072–2078.
8. Кузовникова Л.В. Определение характеристик оптико-электронного комплекса обнаружения следов ВВ. / Л.В. Кузовникова, Е.В. Максименко // *Южно-Сибирский научный вестник*. – 2017. – № 3. – С. 74–77.
9. Morales-Rodríguez M. E., Senesac L., Thundat T., Rafailov M. K., Datskos P. G. Standoff imaging of chemicals using IR spectroscopy. – *Proc. of SPIE*, Vol. 8031, 80312D (2010), pp. 1–8.
10. Ruxton K., Robertson G., Miller W., Malcolm G.P.A., Maker G.T. Mid-infrared hyperspectral imaging for the detection of explosive compounds. – *Proc. of SPIE* Vol. 8546, 85460V (2012), pp. 1-9.
11. Bernacki B. E., Blake T.A., Mendoza A., Johnson T.J. Visible hyperspectral imaging for standoff detection of explosives on surfaces. – *Proc. of SPIE* Vol. 7838, 78380C (2010), pp. 1-7.
12. Hempler N., Nicholls J., Malcolm G. Active hyperspectral sensing and imaging for remote spectroscopy applications (2013) <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-49/issue-11/features/spectral-imaging-active-hyperspectral-sensing-and-imaging-for-remote-spectroscopy-applications.html>.
13. Спектрохимические особенности некоторых бризантных взрывчатых веществ в парообразном состоянии / Набиев Ш.Ш., Ставровский Д.Б., Палкина Л.А., Збарский В.Л., Юдин

Н.В., Голубева Е.Н., Вакс В.Л., Домрачева Е.Г., Собакинская Е.А., Черняева М.Б. // Оптика атмосферы и океана, 2013, 26 №4 – С. 273-285.

14. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Обнаружение и измерение параметров наркотических веществ с помощью перестраиваемого ИК-лазера // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 199–204.

15. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Лазерное зондирование в задаче обнаружения и измерения параметров наркотических веществ // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 40–46.

16. Айрапетян В. С., Маганакова Т. В. Расчет концентрации наркотических веществ методом дифференциального поглощения и рассеяния // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 141–147.

© В. С. Айрапетян, А. В. Макеев, 2020

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРАТУРНЫХ И СИНХФАЗНО-ПРОТИВОФАЗНЫХ СВЧ ДЕЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ**

*Константин Якубович Аубакиров*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств инноватики и метрологии, тел. (383) 361-07-31, e-mail: aubakirov1949@mail.ru

*Илья Вадимович Вершеня*

Новосибирский государственный технический университет, 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, обучающийся, тел. (383) 346-08-34, e-mail: vershenya99@mail.ru

*Анна Евгеньевна Жукова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, обучающийся, тел. (383)361-07-31, e-mail: zhukova19972010@mail.ru

Представлены результаты электромагнитного моделирования и экспериментального исследования 3-ДБ квадратурных направленных ответвителей с лицевой связью, выполненных на диэлектрических материалах толщиной ( $t = 0,762$  мм,  $\epsilon_r = 3,47$ ), а также синхфазно – противофазного кольца длиной  $\lambda$  на материале ФАФ-4 ( $t = 1,5$  мм,  $\epsilon_r = 2,55$ ) В составе систем суммирования и деления мощности в ДЦВ диапазоне эти устройства показали хорошие результаты.

**Ключевые слова:** квадратурные направленные ответвители, кольцо длиной  $\lambda$ , электромагнитное моделирование.

## **MODELING OF QUADRATURE AND SYNCHASE-ANTI-PHASE MICROWAVE POWER DIVIDERS**

*Konstantin Ya. Aubakirov*

Siberian State University Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., Ph. D., Associate professor of special devices and technologies, phone: (383) 361-07-31, e-mail: aubakirov1949@mail.ru

*Ilya V. Vershenya*

Novosibirsk State Technical University, 630092, Russia, Novosibirsk, 20, Karl Marx St., student, phone: (383) 346-08-34, e-mail: vershenya99@mail.ru

*Anna E. Zhukova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., student of the department of special devices and technologies, phone: (383) 361-07-31, e-mail vershenya99@mail.ru

The paper proposes a methodology for designing bridge devices designed for dividing and summing power in the microwave range.

**Key words:** quadrature directional couplers, ring length, electromagnetic modeling.

## Введение

Мостовые схемы сложения сигналов транзисторных усилителей основываются на использовании синхфазных, синхфазно – противофазных и квадратурных устройств деления и суммирования мощности [1,2,3,4]. При этом электрическая развязка и согласование входов (выходов) мостового устройства (МУ) приобретает решающее значение для обеспечения качественных показателей усилителей дециметрового диапазона (ДЦВ), в частности, передающих устройств цифрового телевизионного вещания (*DVBT*).

## Результаты

На рис.1 представлена электродинамическая модель квадратурного направленного ответвителя (НО), выполненная на материале Rogers толщиной ( $t = 0,762$  мм) и относительной диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon_r = 3.47$ ), с лицевой связью [5]. Ширина области связи ( $w$ ) составляет 3,15мм. Для выравнивания фазовых скоростей синхфазного и противофазного типов волн в топологии предусмотрены элементы замедляющей структуры [2].

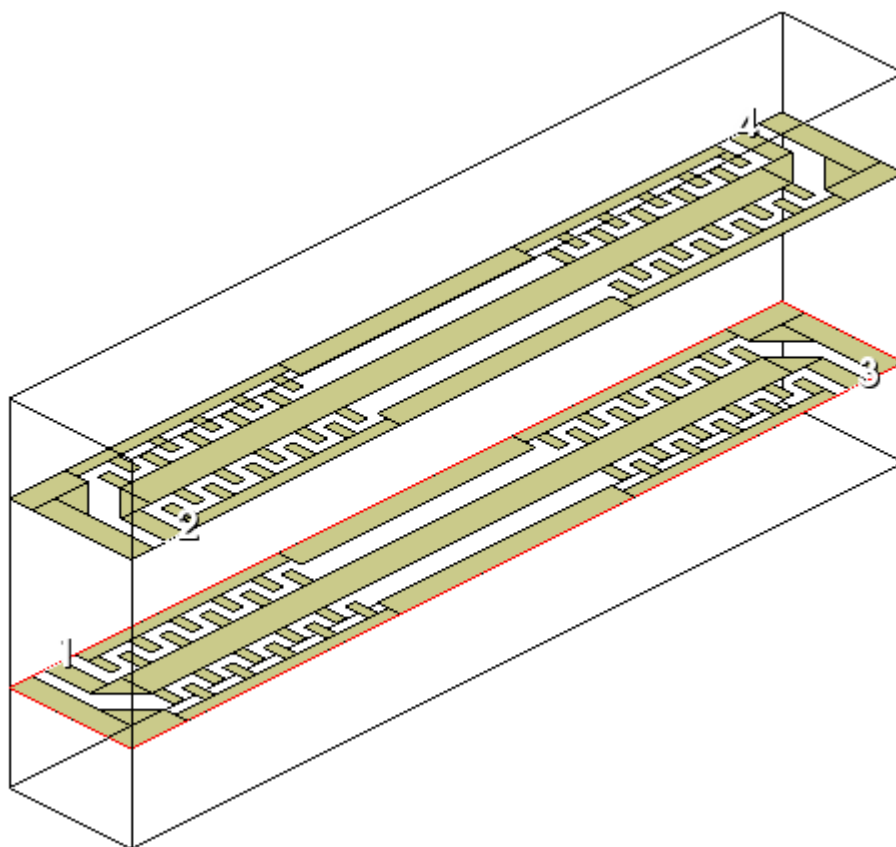


Рис. 1. 3D электромагнитная модель 3дБ – НО, диэлектрический слой ( $t = 0,762$  мм) показан при 20 – кратном увеличении относительно воздушных зазоров.

На рис.2 представлены частотные характеристики структуры, где  $S(1,2), S(1,3)$  коэффициенты передачи из плеча 1 в 2, 3, а VSWR – коэффициент стоячей волны. Модель этой структуры приведена на рис. 1, а на рис. 3 представлен соответствующий макет.

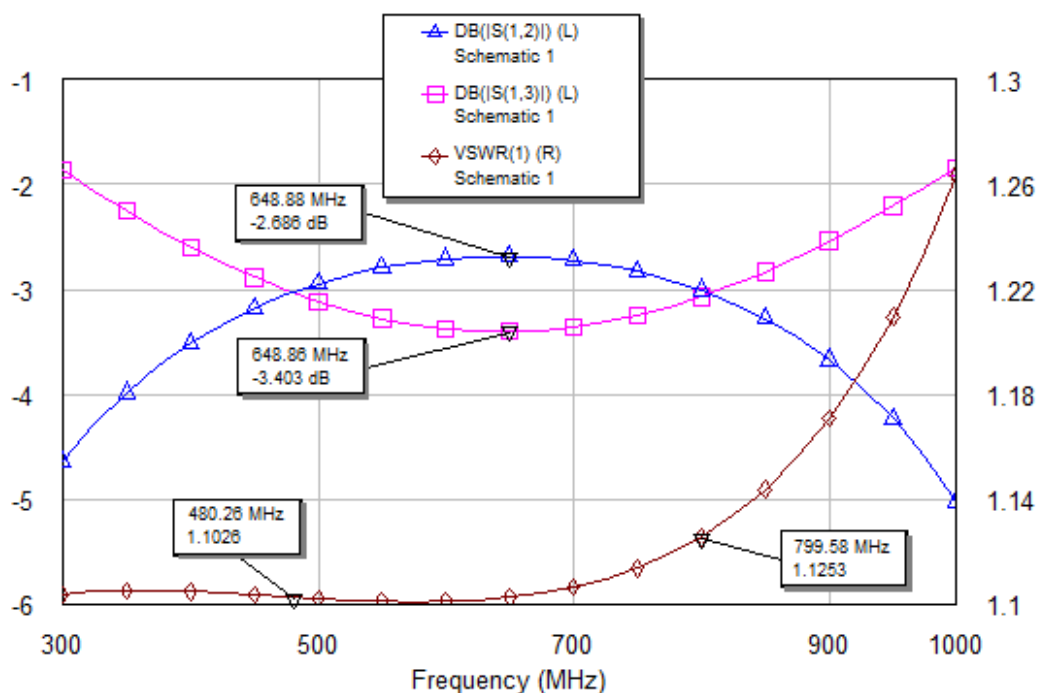


Рис.2. Частотные характеристики 3дБ – НО с коррекцией фазовой скорости электромагнитной волны синхфазного возбуждения.



Рис.3. Экспериментальный образец 3дБ – НО с лицевой связью

Электрическая модель кольца длиной  $\lambda$  представлена на рис. 4, где звено на связанных линиях реализовано в виде 3дБ – НО с лицевой связью, но рассчитанного для волнового сопротивления  $Z_{\text{в}}$  равного 70,71 Ом.

На рис. 5 изображена электродинамическая модель структуры, представленной на рис. 4 [5]. Частотные характеристики структуры (рис. 5) представлены на рис.6, где  $S(i,i)$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) коэффициенты отражения в соответствующих плечах, а  $S(2,3)$  развязка между плечами 2,3.

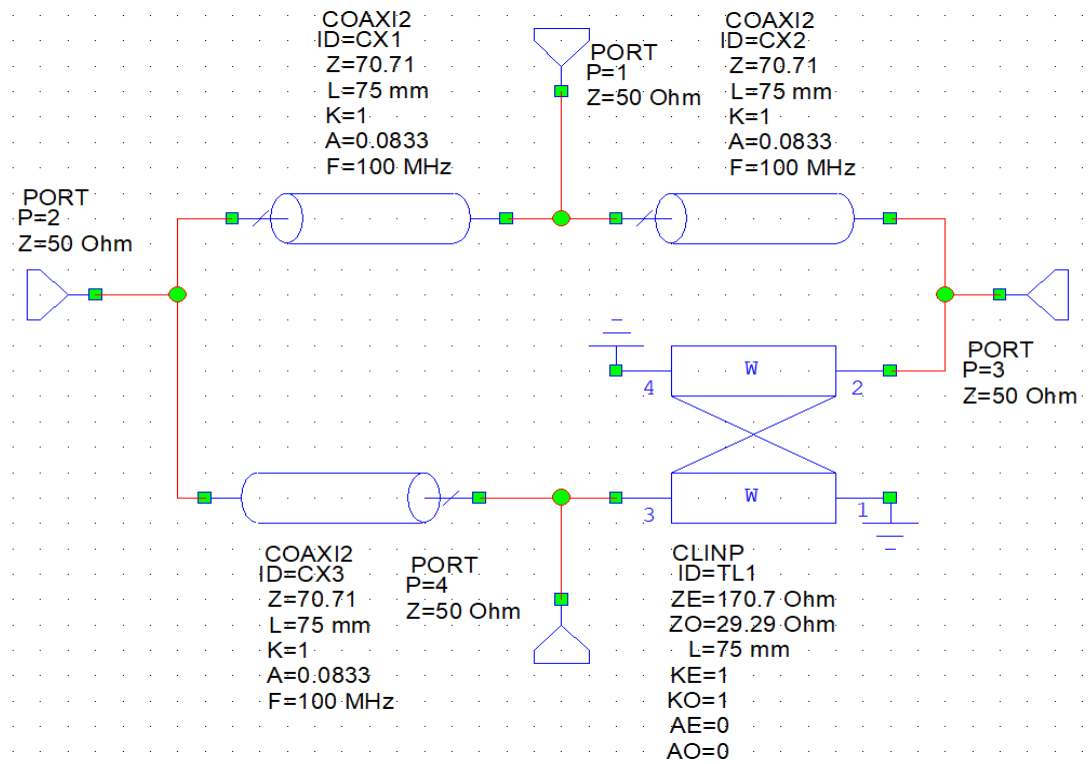


Рис.4. Электрическая модель кольца длиной  $\lambda$

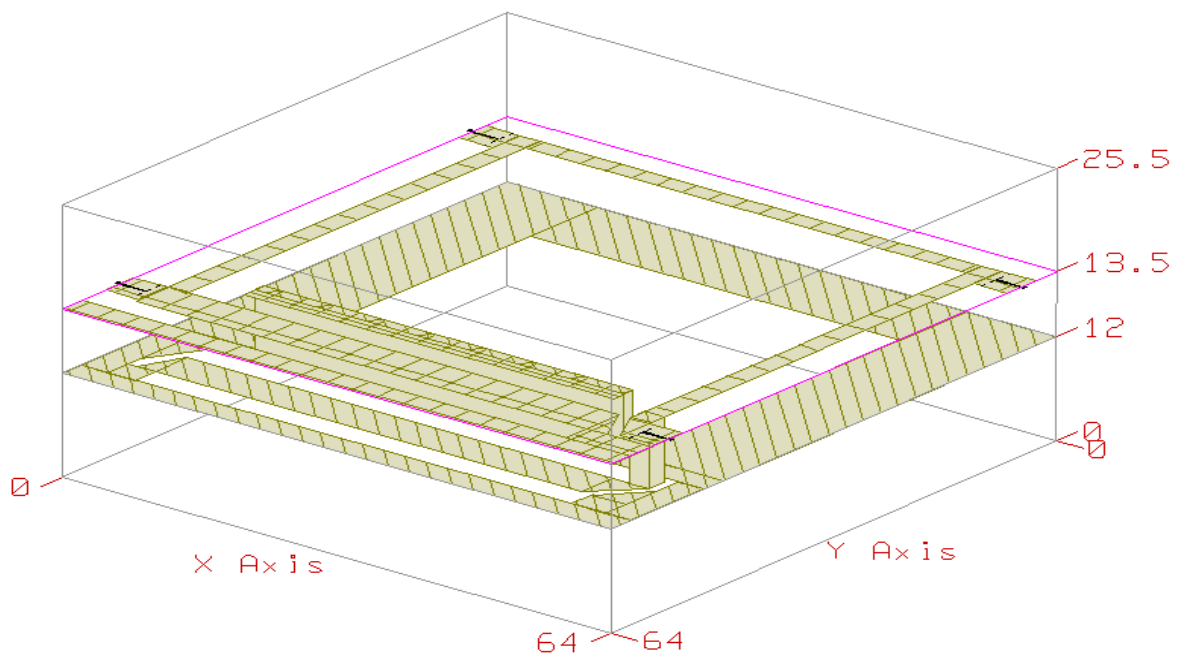


Рис.5. 3D электромагнитная модель кольца длиной  $\lambda$

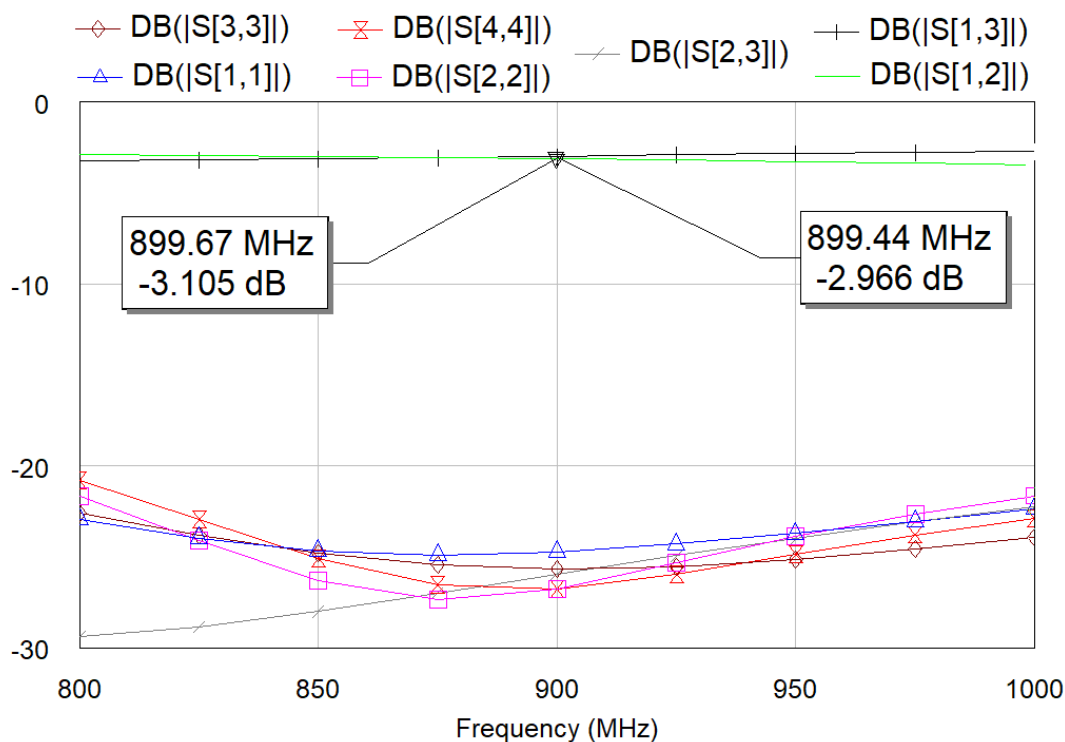


Рис.6. Частотные характеристики кольца длиной  $\lambda$

### Заключение

Квадратурные НО с лицевой связью требуют воздушного зазора над печатными проводниками, расположенного между экранами. Величина этого воздушного промежутка  $h$  должна быть не менее 6 мм для материала Rogers и 12 мм для ФАФ-4. Кольцо длиной  $\lambda$  для расширения диапазона рабочих частот по развязке 2 и 3 выходов МУ нуждается в дальнейшей оптимизации геометрических размеров топологии.

Достигнутая направленность рассмотренных МУ в диапазоне от  $-23$  до  $-25$  дБ вполне приемлема для решения практических задач.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройства сложения и распределения мощностей высокочастотных колебаний / В.В. Заенцев, В.М. Катушкина, С.Е. Лондон, З.И. Модель; под ред. З.И. Моделя. – М.: Сов. Радио, 1980. – 296 с.
2. Микроэлектронные устройства СВЧ: учеб. пособие / Г.И. Веселов, Е.Н. Егоров, Ю.Н. Алехин и др.; под ред. Г.И. Веселова. – Москва : Высшая школа, 1988.–280 с.
3. Теория и применение устройств СВЧ: учеб. пособие для вузов / В.А. Неганов, Г.П. Яровой; под ред. В.А. Неганова. – Москва : Радио и связь, 2006. – 719 с.
4. Широкополосные радиопередающие устройства / О.В. Алексеев, А.А. Головков, В.В. Полевой и др.; под ред. О.В. Алексеева. – Москва : Радио и связь, 1978.–304 с.
5. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин; под ред. В.Д. Разевига. – Москва: СОЛОН – Пресс, 2003. – 496 с.

© К. Я. Аубакиров, И. В. Вершеня, А. Е. Жукова, 2020



## **АНАЛОГОВЫЕ ФАЗОВРАЩАТЕЛИ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ МОЩНОСТИ**

*Константин Якубович Аубакиров*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: aubakirov1949@mail.ru

*Александр Викторович Макеев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ассистент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии, тел. (383)361-07-31, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

Представлены результаты проектирования устройства управления фазой в дециметровом диапазоне волн в виде перестраиваемого полосового фильтра. Перестройка такого фильтра на 1/2 относительной полосы пропускания, не превышающей 40 – 50 %, обеспечивает частотно – независимый управляемый фазовый сдвиг. Минимизация паразитной амплитудной модуляции, наряду с увеличением высокочастотной мощности пропускаемой фазовращателем, достигается оптимизацией коэффициента включения варикапа в схему квазиполиномиального полосового фильтра.

**Ключевые слова:** полосовые фильтры, квадратурный направленный ответвитель, аналоговый фазовращатель.

## **ANALOG PHASE SHIFTERS OF THE DECIMETER RANGE FOR INCREASED POWER LEVEL.**

*Konstantin Ya. Aubakirov*

Siberian State University Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., PhD., Associate professor of special devices and technologies, phone: (383)361-07-31, e-mail aubakirov1949@mail.ru

*Alexander V. Makeev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., assistant of special devices and technologies, phone: (383)361-07-31, e-mail: makeeffsan@yandex.ru

The results of designing a phase control device in the decimeter wavelength range in the form of a tunable bandpass filter are presented. Tuning such a filter by 1/2 of the relative bandwidth, not exceeding 40 - 50%, provides a frequency-independent controlled phase shift. The minimization of parasitic amplitude modulation, along with an increase in the high-frequency power transmitted by the phase shifter, is achieved by optimizing the switching factor of the varicap into the quasi-polynomial bandpass filter circuit.

**Key words:** bandpass filters, quadrature directional coupler, analog phase shifter

## *Введение*

Аналоговые фазовращатели в дециметровом диапазоне длин волн (ДЦВ) могут быть выполнены как на базе квадратурного 3дБ направленного ответвителя, нагруженного на отражательные ячейки – двухполюсные элементы, содержащие варикапы, так и в виде отрезка линии передачи, в которую периодически включены аналогичные элементы. Но при этом мощность регулируемого по фазе сигнала не превышает единиц милливольт. Другим вариантом реализации фазовращателя на мощность несколько десятков ватт может быть перестраиваемый полосовой фильтр, в котором коэффициент перекрытия емкости варикапа регулируется последовательно включенной емкостью, выбранной из потребностей получения абсолютной полосы пропускания полосового фильтра [1].

## *Результаты*

Рассмотренные в [1, 2, 3] подходы к проектированию квазиполиномиальных полосовых фильтров с элементами связи между резонаторами одного типа – индуктивная связь, позволяют рассчитать элементы схемы для относительных полос пропускания фильтра  $w = \frac{2\Delta f}{f_0} \leq 0,5$ , где  $2\Delta f$  – абсолютное значение полосы

пропускания, а  $f_0$  – центральная частота полосы пропускания. Тогда при перестройке амплитудно – частотной характеристики (АЧХ) на  $w/2$  в зависимости от числа резонаторов удастся получить частотно независимый дифференциальный фазовый сдвиг при удовлетворительных значениях паразитной амплитудной модуляции и амплитудно-фазовой конверсии при мощности несколько десятков ватт. Электрическая схема фазовращателя (ФВ) представлена на рис. 1. Используются варикапы КВ 106Б, индуктивности выполнены в виде отрезков высокочастотной полосковой линии с волновым сопротивлением  $Z_B$  составляющим 180 Ом. Односторонняя печатная плата выполнена на материале ФАФ-4 толщиной 1,5 мм, которая помещена в экранирующий корпус высотой 25 мм [4].

Результаты моделирования характеристик в системе [5] при перестройке полосового фильтра на половину полосы пропускания приведены на рис. 2, где изменение  $S[2,1]$  – модуля коэффициента передачи при управлении емкостью варикапа на  $\pm \Delta C$  характеризует паразитную амплитудную модуляцию. На рис. 3 представлено изменение коэффициента стоячей волны VSWR[1] при тех же условиях. Графики (рис. 4) определяют частотную зависимость дифференциального фазового сдвига, где  $\text{Ang}(S[2,1])$  аргумент комплексного коэффициента передачи, соответствующий одному из двух значений емкости варикапа.

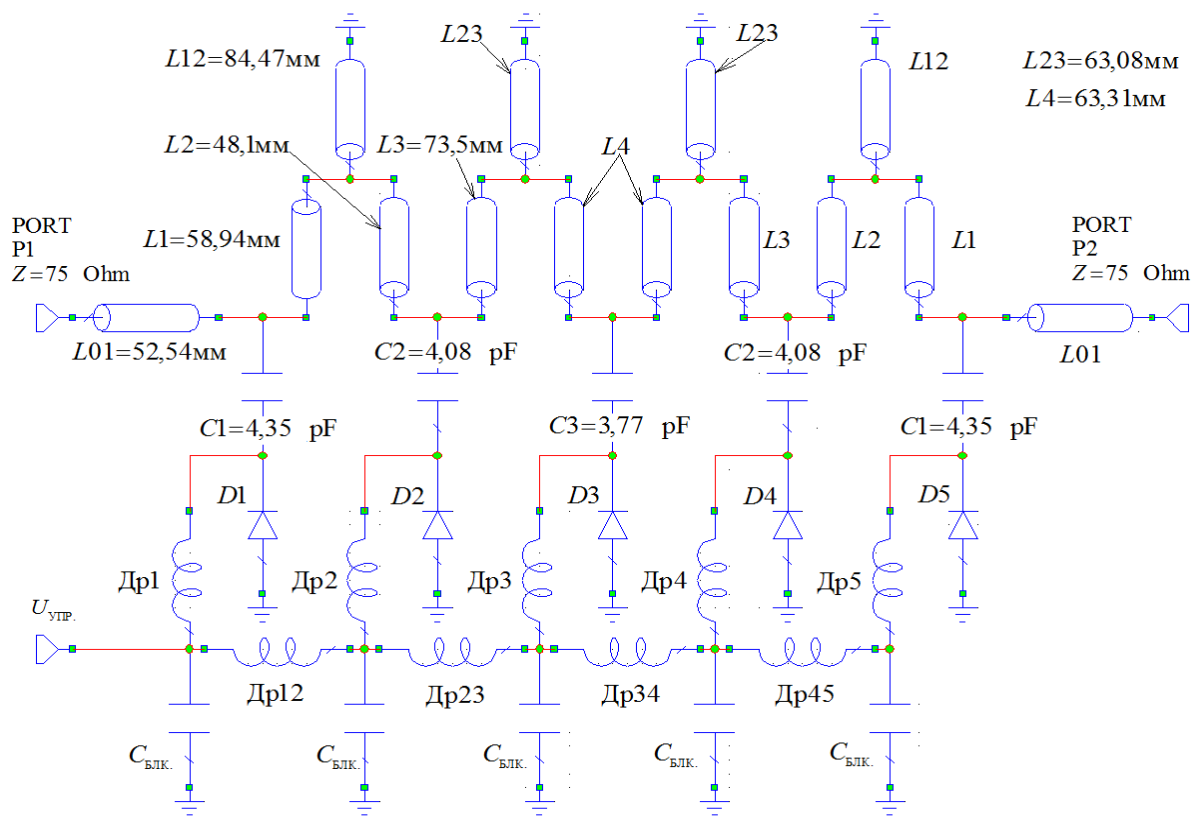


Рис. 1. Аналоговый проходной фазовращатель (перестраиваемый полосовой фильтр)

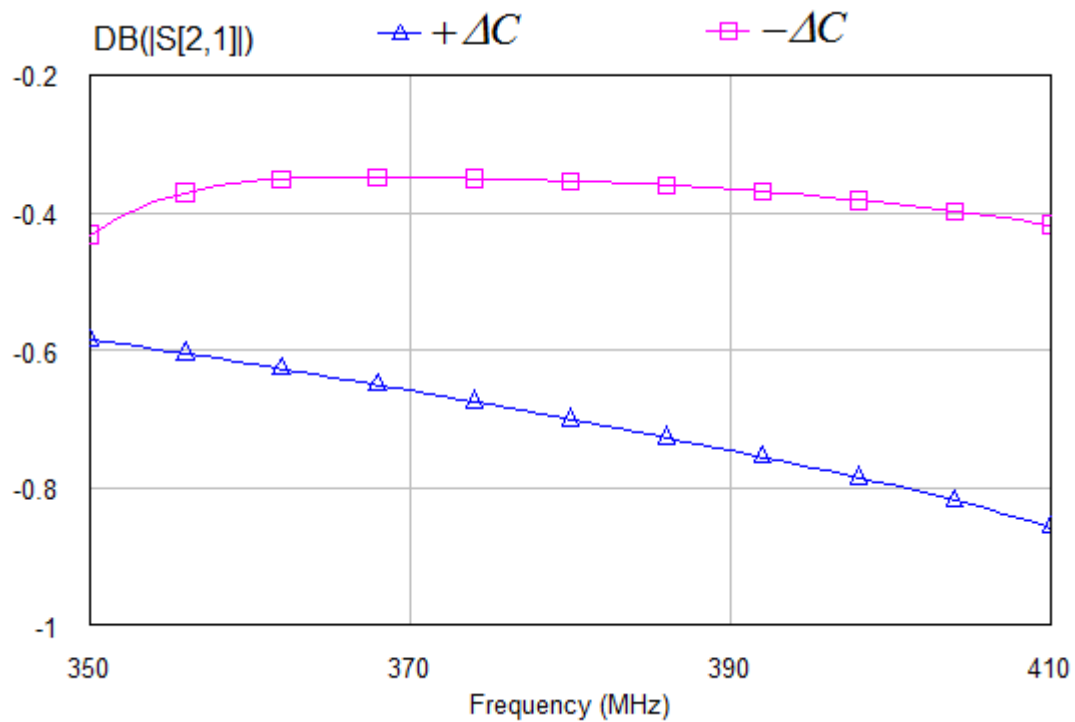


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента передачи ФВ при изменении емкости варикапа на  $\pm\Delta C$

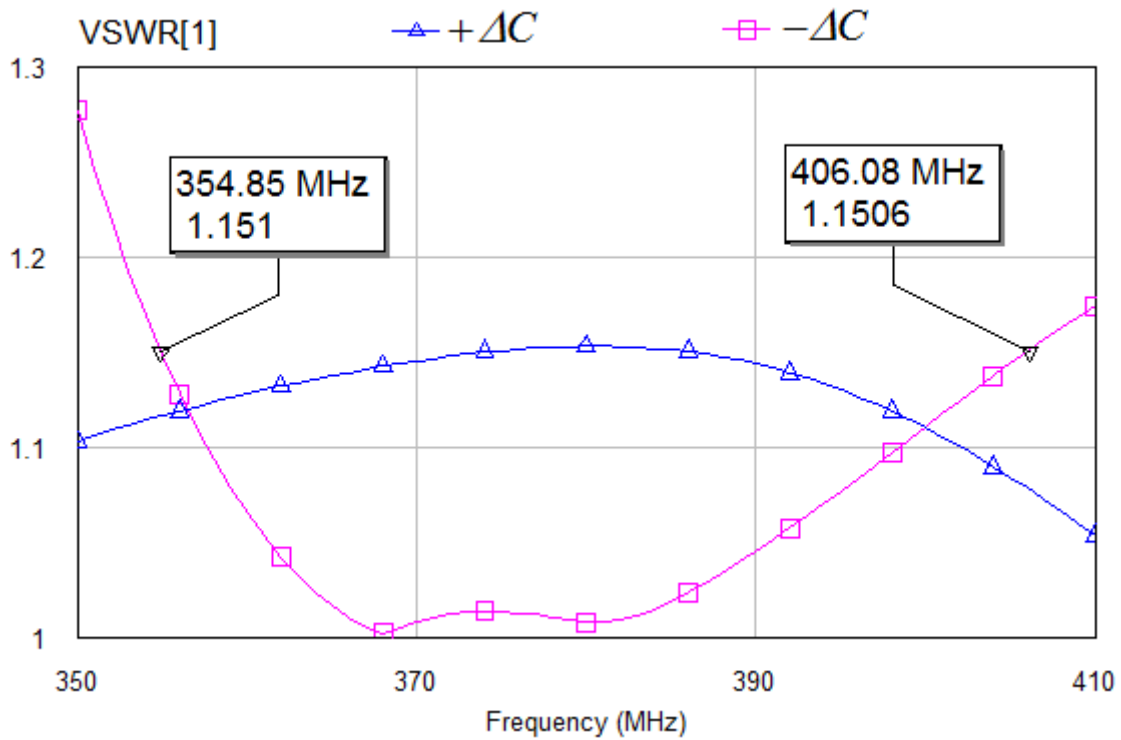


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициента стоячей волны ФВ при изменении емкости варикапа на  $\pm\Delta C$

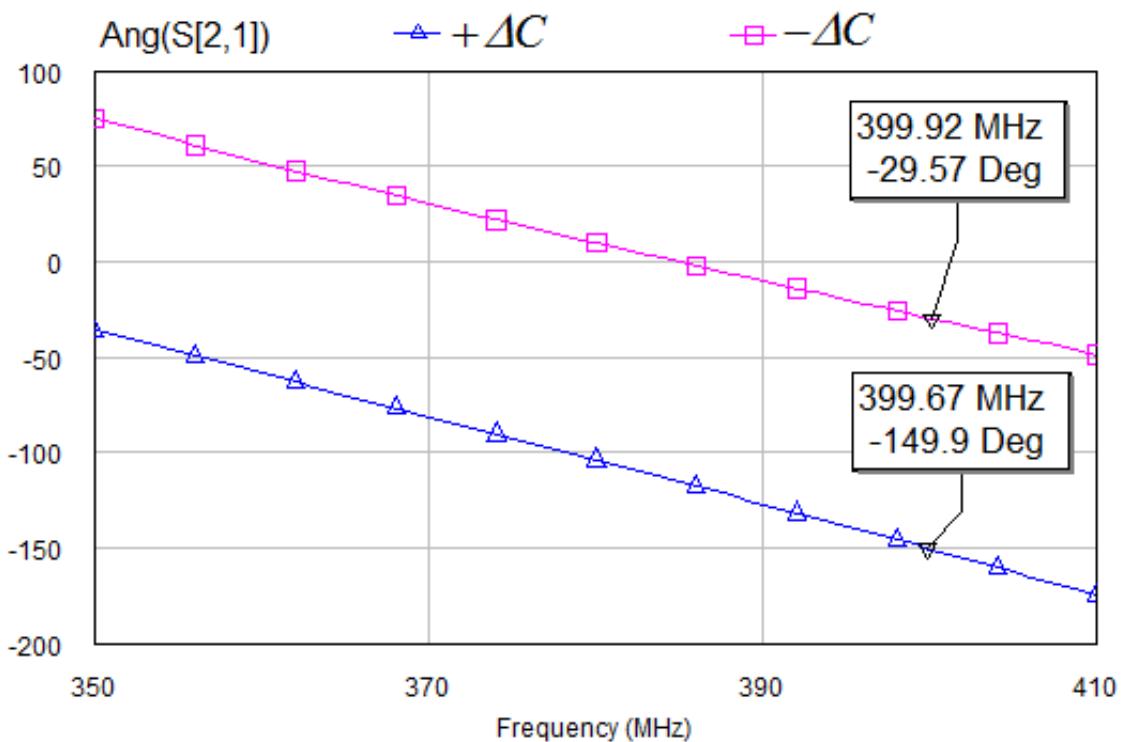


Рис.4. Частотные зависимости дифференциального фазового сдвига ФВ при изменении емкости варикапа на  $\pm\Delta C$

## *Заключение*

Разработанный аналоговый ФВ обеспечил управление фазой от  $0^\circ$  до  $120^\circ$ , при этом мощность высокочастотного сигнала  $P_{\sim}$  достигала 60 Вт. Паразитная амплитудная модуляция не превысила 1 дБ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Знаменский А.Е., Попов Е.С. Перестраиваемые электрические фильтры. – М.: Связь, 1979. – 129 с.
2. Ханзел Г.Е. Справочник по расчету фильтров. Пер. с англ. /под ред. А.Е. Знаменского. – М. : Сов. радио, 1974. –288 с.
3. Алексеев Л.В., Знаменский А.Е., Лоткова Е.Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. – М.: Связь, 1976. – 280 с.
4. Аубакиров К.Я., Воронин М.Я., Кондратьева Т.А., Мищенко П.П., Сюткин В.Н. Проектирование широкополосных фильтров и фазовращателей ДЦВ с помощью ЭВМ. Межвуз. сборник «Широкополосные устройства СВЧ и системы оптимальной обработки сигналов», вып. 3, НЭТИ, Новосибирск, 1978.
5. Разевиг В.Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин.- М.: СОЛОН- Пресс, 2003.- 496 с.

© К. Я. Аубакиров, А. В. Макеев, 2020

## **АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА НЕОДНОРОДНОМ ФОНЕ**

*Андрей Андреевич Черников*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры оптических информационных технологий, тел. (913)780-50-96, e-mail: ancher1994@gmail.com

*Антон Игоревич Пуртов*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (913)469-46-28, e-mail: a.p.93@mail.ru

*Иван Валерьевич Прокофьев*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры оптических информационных технологий, тел. (913)908-78-45, e-mail: prokofev.ivan.93@mail.ru

Объектом исследования является оптико-электронная система обнаружения летательных аппаратов. Предметом исследования являются методы выделения движущегося объекта на сложном неоднородном фоне. Цель работы заключается в разработке алгоритма обнаружения беспилотного летательного аппарата оптико-электронной системой на неоднородном фоне в режиме реального времени. Представленные исследования выполнены с использованием методов обработки видеоизображений. Предложен помехоустойчивый метод выделения беспилотного летательного аппарата на сложном динамическом фоне. Алгоритм основан на вычислении координат центра области объекта путем нахождения гауссова адаптивного порога фонового изображения. Предложенный метод может быть использован при разработке оптико-электронной системы обнаружения движущегося беспилотного летательного аппарата на неоднородном фоне в режиме реального времени в инфракрасном диапазоне. В результате работы выявлено, что предложенный алгоритм уверенно справляется с обнаружением контрастного объекта, находящегося на расстоянии до 2 км от системы обнаружения.

**Ключевые слова:** оптико-электронная система, беспилотный летательный аппарат, обнаружение, алгоритм, адаптация.

## **ALGORITHM FOR DETECTING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE ON A HETEROGENE BACKGROUND**

*Andrey A. Chernikov*

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. student, Department of Photonics and Optoinformatics, phone: (913)780-50-96, e-mail: ancher1994@gmail.com

*Anton I. Purtov*

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. student, Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (913)469-46-28, e-mail: a.p.93@mail.ru

***Ivan V. Prokofiev***

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. student, Department of Photonics and Optoinformatics, phone: (913)908-78-45, e-mail: prokofev.ivan.93@mail.ru

The object of research is an optical-electronic system for detecting aircraft. The subject of the research is methods for selecting a moving object on a complex inhomogeneous background. The purpose of this work is to develop an algorithm for detecting an unmanned aerial vehicle by an optoelectronic system on a non-uniform background in real time. The presented studies were performed using video image processing methods. A noise-resistant method for selecting an unmanned aerial vehicle against a complex dynamic background is proposed. The algorithm is based on calculating the coordinates of the center of the object area by finding the Gaussian adaptive threshold of the background image. The proposed method can be used in the development of an optical-electronic system for detecting a moving unmanned aerial vehicle against a non-uniform background in real time in the infrared range. As a result, it was found that the proposed algorithm confidently copes with the detection of a contrasting object located at a distance of up to 2 km from the detection system.

**Key words:** optical-electronic system, unmanned aerial vehicle, detection, algorithm, adaptation.

### ***Введение***

На сегодняшний день беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали играть важную роль в качестве средств поражения и слежения. Поэтому задача быстрого обнаружения и классификации БПЛА является важной задачей. В этой связи возрастает необходимость в разработке эффективных алгоритмов обнаружения воздушных целей в оптическом диапазоне.

Развитие систем технического зрения позволяет в ряде случаев заменить оператора интеллектуальной системой, основанной на обработке видеопотока с бортовой камеры, сделав ее полностью автоматической.

Описанный алгоритм обнаружения объектов работает с полутоновыми изображениями. Полутоновые изображения также называются монохромными или изображениями в оттенках серого, а значение, получаемое после преобразования – интенсивностью или яркостью точки.

Предлагаемый в настоящей статье алгоритм обнаружения беспилотного летательного аппарата на неоднородном фоне основан на методе Gauss Adaptive Threshold [4]. Его преимущества перед существующими методами проявляются в успешности работы в условиях неравномерного освещения и простоте итоговой реализации.

Ключевым элементом алгоритма является использование метода AdaptiveThreshold, математически описанным и рассмотренным в [1-5]. Большое внимание анализу полутоновых изображений уделено в [2, 6-17]. Таким образом, предлагаемый алгоритм имеет практическое значение.

### ***Методы обнаружения малоразмерных объектов оптико-электронной системой***

При сегментации изображений могут использоваться так называемые пороговые методы, основанные на разделении изображения на две или более частей, основываясь на некоторых пороговых значениях. Данные методы обладают ин-

туитивно понятными свойствами и просты в реализации, среди них базовыми являются метод с глобальным порогом (GlobalThreshold) и метод с адаптивным порогом (AdaptiveThreshold) [3].

Пороговый метод с глобальным порогом является простейшим. После выбора глобального порога происходит поэлементная проверка всего изображения. Процедура подразумевает разделение изображения на две области: первая относится к объекту, вторая – к фону. В данном случае успешность целиком зависит от того, насколько хорошо изображение поддается разделению. Успешное применение данного метода можно ожидать в условиях контролируемого освещения.

Как только освещение становится неравномерным, хорошо разделяемая гистограмма может превратиться в плохо разделяемую гистограмму, и метод не работает. В этом случае исходное изображение следует разделить на подобласти, в каждой из которых для сегментации ищется и используется свой порог. Основной проблемой здесь является задача разбиения изображения на подобласти и выбор для каждой из них своего порога. Поскольку порог зависит от характеристик подобласти изображения, такой порог называют адаптивным.

Для понимания работы метода следует рассмотреть его математическое описание [4]. Пусть  $I(x,y)$  представляет собой исходное изображение, которое будет использоваться для адаптивной пороговой обработки.  $G(x,y)$  – это нормализованное значение градиента изображения  $I(x,y)$ , которое рассчитывается по формуле:

$$G(x,y) = \frac{|\nabla I(x,y)|}{\max_{x,y}(|\nabla I(x,y)|)}. \quad (1)$$

Данный метод использует адаптивный порог  $T(x,y)$  для каждого пикселя исходного изображения. Формулу для бинаризации изображения можно описать следующим выражением:

$$K(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{если } f(x,y) > T(x,y) \\ 0, & \text{если } f(x,y) \leq T(x,y) \end{cases} \quad (2)$$

где 1 – значение для пикселя, соответствующего объекту;

0 – значение для пикселя, соответствующего фону.

Если значение  $T$  одинаково для всех точек изображения, то такой порог называют глобальным. Если значение  $T$  зависит от пространственных координат  $x$  и  $y$ , то такой порог называют динамическим. Если же  $T$  зависит от значения  $f(x,y)$ , то такой порог называют адаптивным.

Итоговое выражение для расчета порогового значения яркости для бинаризации каждого пикселя выглядит следующим образом:



$$\frac{\delta F}{\delta T} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_x}{I_x - T_x} + \frac{F_y}{I_y - T_y}, \text{ если } (I_x \neq T_x) \wedge (I_y \neq T_y) \\ \frac{F_x}{I_x - T_x}, \text{ если } (I_x \neq T_x) \wedge (I_y = T_y) \\ \frac{F_y}{I_y - T_y}, \text{ если } (I_x = T_x) \wedge (I_y \neq T_y) \\ 0, \text{ если } (I_x = T_x) \wedge (I_y = T_y) \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $F(T)$  – первая производная от  $T(x,y)$ ;  
 $T$ –функция;  
 $\delta T$ – изменение функции  $T$ .

Разработанный алгоритм работает следующим образом:

- на первом этапе кадр видеопотока обрабатывает матрица повышающая контраст изображения [2];
- на втором этапе вычисляется порог фона контрастного изображения и происходит его бинаризация;
- на третьем этапе происходит вычисление координат центра области объекта в бинаризованном изображении.

### *Результаты*

Для определения адекватной работы алгоритма по дальности смоделирована сцена в среде Blender 2.8. Результат обработки видеопотока показан на рис.1, полученном при моделировании сцены с движущимся объектом в инфракрасном спектральном диапазоне с частотой 25 кадр/сек.

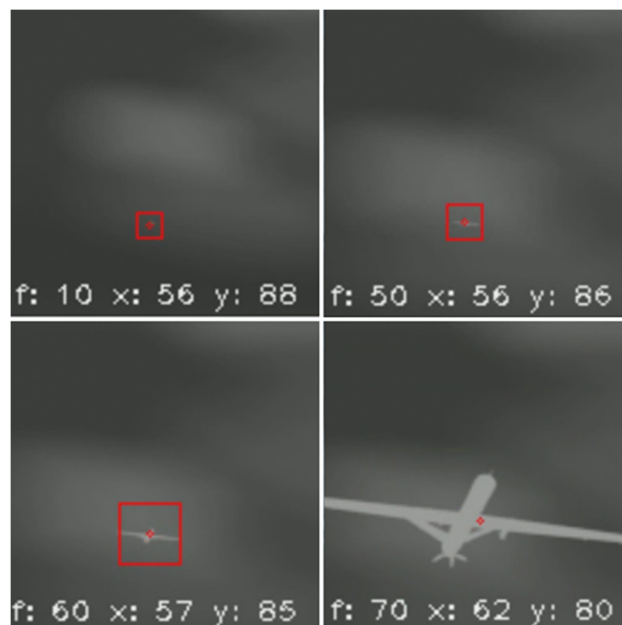


Рис.1. Последовательность кадров инфракрасного видео с выделенным алгоритмом объектом

## Заключение

В результате работы выявлено, что предложенный алгоритм уверенно справляется с обнаружением контрастного объекта, находящегося на расстоянии до 2 км от системы обнаружения с разрешением камеры 125x125 пикселей. Наилучший результат, конечно, достигается для тех изображений, на которых объекты расположены на однотонном фоне, что позволяет алгоритму точнее определить пороговое значение для бинаризации. На работу алгоритма практически не влияет затененность, а в некоторых случаях она даже способствует получению лучшего результата. Метод Adaptive Threshold является достаточно гибким инструментом для выделения контуров образов на цифровых изображениях.

Исходные данные по тематике статьи и ее результаты отражены в работах [5-20].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пелевин Е.Е., Балясный С.В. Использование метода Adaptive Threshold в системе технического зрения // *Juvenisscientia*. 2017. №1. С. 4-7.
2. Федотов Н.Г., Голдуева Д.А., Мокшанина М.А. Анализ полутоновых изображений и цветных текстур с позиции стохастической геометрии и функционального анализа / Н.Г.Федотов, Д.А.Голдуева, М.А.Мокшанина // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. – 2017. – № 2 (42). – С. 29–41. DOI 10.21685/2072-3059-2017-2-3
3. Седжвик Р., Уэйн К., Дондеро Р. Программирование на языке Python: учебный курс. : Пер. с англ. - СПб. : ООО "Альфа-книга": 2017. - 736 с. : ил. - Парал. тит. англ.
4. Francis N.Y., Chan F.K., Lam, Hui Zhu Adaptive Thresholding by Variational Method // *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 7, No. 3, March 1998. P. 468–473.
5. Lindeberg T. Feature detection with automatic scale selection // *International Journal of Computer Vision*.- 1998.- № 30 (2).- P. 77-116.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.- М.: Техносфера, 2005. - 1072с.
7. Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход/ пер. с англ. А.В. Назаренко, И.Ю. Дорошенко. М.: Вильямс, 2004. 928 с.
8. Отчет о НИР «Состояние и перспективы развития матричных ФПУ для многоспектральных ГСН», шифр «Нейрон», № гос. рег. У90056, инв. № Е79158. ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт оптических систем», научный рук. Легкий В.Н., Новосибирск, 2007г., - 53с.
9. Борисова И.В., Горенок В.Н., Захарова В.Н. Обнаружение объектов на тепловых изображениях // *Проблемы автоматизации и управления в технических системах: труды Международной научно-технической конференции (г.Пенза, 19-22 апреля 2011г.)*.-Пенза: Изд-во ПГУ.- 2011.-Т.1.-С.186-190.
10. Галянтич А.Н. , Гибин И.С., Ермошин К.М, Золотцев В.В., Малеев Н.М., Шелковой Д.С Модули электронной обработки изображений в тепловизионных системах 2-го и 3-го поколений. Научный вестник Новосибирского государственного технического университета // 2013г. №3 (52). С.32-39.
11. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов// М. Машиностроение. 1983. - 696с.
12. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук [и др.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
13. Еремин, Г. В. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО /

Г. В. Еремин, А. Д. Гаврилов, И. И. Назарчук // Армейский вестник. – 2015. – URL: <http://army-news.ru/2015/02/malorazmernye-bespilotniki-novaya-problema-dlya-rvo/> (дата обращения: 10.02.2020).

14. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. М.: Радиотехника, 2008г. 176 с.

15. Лукьяница, А. А. Цифровая обработка видеоизображений / А. А. Лукьяница, А. Г. Шишкин. – М.: Ай-Эс-Эс Пресс, 2009.

16. Муравьев В.С. Пространственный алгоритм обнаружения и измерения координат воздушных объектов на изображении Вестник РГРТУ. Рязань. 2009. 2(28). С. 17-20

17. Борзов С.М., Потатуркин О.И., Резник А.Л., Яковлев А.В.. Принципы построения автоматизированных систем восприятия и анализа последовательности телевизионных изображений// Известия ВУЗов Приборостроение. 2004, № 9. с.46-50.

18. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Обнаружение малоразмерных динамических объектов подвижной системой наблюдения//Автометрия. 2012. 48. №1. С. 23-29

19. Ramya, R. Motion Detection in Moving Background using ORB Feature Matching and Affine Transform / R. Ramya, B. Sudhakara // IJITR. – 2015. – P. 162–164.

20. Yilmaz A., Shafique K., Shah M. Target tracking in airborne forward looking infrared imagery // Image and Vision Computing. 2003. N. 21. P. 623–635.

© А. А. Черников, А. И. Пуртов, И. В. Прокофьев, 2020

## **АНАЛИЗ ИНВАРИАНТНОСТИ МЕР БЛИЗОСТИ ДЛЯ ПОИСКА ОБЪЕКТА ПО ШАБЛОНУ ПРИ ВРАЩЕНИИ И МАСШТАБИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

*Дмитрий Андреевич Утев*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (999)451-65-28, e-mail: yoh60438@gmail.com

*Ирина Валентиновна Борисова*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: i.v.borisova@corp.nstu.ru

*Валерий Павлович Ющенко*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр.К. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: jwp@aport2000.ru

В работе рассматривается вопрос устойчивости обнаружения объектов на изображениях с помощью мер близости. Целью работы является определение степени инвариантности различных мер близости для поиска объектов по шаблону при вращении и масштабировании сканируемого изображения и выявление меры близости, наиболее устойчивой к данным геометрическим преобразованиям изображения. Анализируемые меры близости: корреляционная, компарационная, метрика расстояний до границ(ChamferDistance). Моделирование производится в пакете программ Matlab. Для тестирования мер близости создана база из тридцати телевизионных изображений. Изображения представляют собой сцены, содержащие искомые объекты - цели, с имитацией как сложного, так и простого фона. Определено, что все рассматриваемые меры близости устойчиво определяют цель при небольших поворотах и коэффициентах масштабирования.

**Ключевые слова:** обработка изображения, поиск цели, меры близости, метрика расстояний, инвариантность к повороту, масштаб изображения.

## **ANALYSIS OF ROTATION AND SCALE INVARIANCE FOR PROXIMITY MEASURES IN TARGET DETECTION**

*Dmitry A. Utev*

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. Student, Department Autonomous Information and Control Systems, phone: (999)451-65-28, e-mail: yoh60438@gmail.com

*Irina V. Borisova*

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Assoc. Prof., Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: i.v.borisova@corp.nstu.ru

**Valery P. Yushchenko**

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc, Prof., Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: jwp@aport2000.ru

The problem of stability of object detection in images using proximity measures is considered. The purpose of the work is to determine the degree of invariance of various proximity measures for detecting objects by reference when rotating and zooming the scanned image. The proximity measure that is most resistant to these geometric transformations of the image is found out. The proximity measures are analyzed: correlation, comparison, Chamfer Distance. The target location is based on the coordinates of the extremum of the target function. Modeling is performed in the Matlab software package. A database of thirty television images was created to test the proximity measures. Test images contain the required objects and imitations of both complex and simple backgrounds. It was determined that all considered proximity measures steadily determine the target with small turns and scaling factors.

**Key words:** image processing, target detection, proximity measure, ChamferDistance, rotation invariance, image scale.

### **Введение**

На сегодняшний день существует несколько подходов к обнаружению объектов на изображениях [1–5]. Одни методы основаны на применении различных мер близости для поиска объекта по шаблону на полутоновом изображении. В работе [6] проведен сравнительный анализ трех мер близости: корреляционной, компарационной и метрики расстояния до границ (ChamferDistance). В заключении работы авторы говорят о преимуществе метрики ChamferDistance над остальными исследуемыми мерами. Другие методы, такие как SIFT [7], HOG [8] и их различные модификации [9–11] используют гистограммы направленных градиентов для поиска. Данные группы методов обладают инвариантностью к геометрическим и фотометрическим преобразованиям изображения.

Целью настоящей работы является исследование инвариантности корреляционной, компарационной мер близости и ChamferDistance к повороту и масштабированию изображения.

### **Методы обнаружения объектов на изображениях**

Поиск объекта на изображении осуществляется сканированием изображения окном, линейные размеры которого соответствуют размерам эталона, с применением различных мер близости.

*Корреляционная мера близости.* Для поиска объекта на изображении с помощью корреляционной меры близости рассчитывают корреляционную функцию [12] (1):

$$R(x_1, y_1) = \frac{\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} (b(x_1 + x, y_1 + y) - \bar{b})(d(x, y) - \bar{d})}{\sqrt{D_b D_d}}, \quad (1)$$

где  $b(x,y)$  и  $d(x,y)$  – яркости элемента фрагмента изображения и элемента эталона размером  $N \times M$ ;  $\bar{b}$  и  $\bar{d}$  – средние яркости по фрагменту и шаблону соответственно;  $D_b$  и  $D_d$  – дисперсии яркости по фрагменту и эталону.

Местоположение объекта определяется по максимуму корреляционной функции.

*Компарационная мера близости* отличается от корреляционной пространством признаков, в котором происходит вычисление [13]. Если в корреляционной матрице признаком точки является яркость, то в компарационной – направление перепада яркости.

Рассматривается фасетная модель изображения [14], которая описывает реальное изображение как совокупность наклонных фасетов (плоскостей, ближайших к локальной окрестности). Ориентация фасета в координатной плоскости совпадает с ориентацией вектора градиента яркости в локальной окрестности [15]. Дискретное изображение с помощью порога анизотропности делят на пять классов, первые четыре соответствуют направлениям градиента  $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ , а пятый – окрестности с изотропной структурой. Для анизотропных окрестностей направление с максимальной энергией определяет ориентацию градиента и класс окрестности [16].

Компарационная функция рассчитывается по формуле (2):

$$S = \sum_j \sum_k \delta_{c(j,k)}^{a(j,k)}, \quad (2)$$

где  $a(j,k)$  и  $c(j,k)$  – элементы сравниваемых закодированных изображений,  $\delta$  – символ Кронекера [17]:

$$\delta_{c(j,k)}^{a(j,k)} = \begin{cases} 1, & a(j,k) = c(j,k) \\ 0, & a(j,k) \neq c(j,k) \end{cases}. \quad (3)$$

По функции (2) рассчитывается количество совпадений закодированных изображений. Сравнивая закодированные фрагменты и шаблон в каждой точке изображения, строится компарационная матрица изображения (КМ).

Так как при сравнении объекта и фрагмента фона количество совпадений случайно, то будем считать, что распределение фоновых элементов КМ подчиняется биномиальному распределению:

$$P(M, W, p) = \binom{W}{M} p^M q^{W-M}, \quad (4)$$

где  $W$  – площадь фрагментов,  $M$  – значение элемента КМ,  $p$  – вероятность совпадения классов в точке,  $q$  – вероятность несовпадения, при этом  $p+q=1$ .

Локация объекта осуществляется по максимуму КМ.

*ChamferDistance*. В основе метода *ChamferDistance* [18] лежит метрика *DistanceTransform*. Исходное изображение и эталон подвергается бинаризации, а следом – кодированию. В бинарном изображении элементы со значением 1 соответствуют точкам расположения границ объектов, остальные 0. В процессе кодирования элементы матрицы, соответствующие расположению контура на бинарном изображении, заполняются нулями, остальные – расстояниями до ближайшего контура. Полученные матрицы сопоставляются и строится функция, соответствующая сумме значений элементов (5):

$$C(x_1, y_1) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{K-1} d_b(x, y) \cdot T(x_1 + x, y_1 + y), \quad (5)$$

где  $d_b(x, y)$  – значения элементов бинарного эталона,  $T$  – матрица расстояний до границ.

Координаты цели определяются по минимуму функции (5).

### *Результаты исследования*

Для проведения анализа была создана база из тридцати телевизионных изображений. Изображения представляют собой сцены, содержащие искомые объекты – цели, с имитацией как сложного, так и простого фона. Моделирование проводилось в пакете прикладных программ Matlab [19] с шагом изменения угла поворота в  $1^\circ$  и коэффициента масштабирования в 0.01 раз. Для бинаризации изображения применялся детектор контуров Canny [20].

Пример эталонов различных изображений представлен на рис. 1, а обнаруженных объектов при угле поворота  $10^\circ$  – на рис. 2.



Рис. 1. Эталоны



Рис. 2. Обнаруженные объекты.

По данным моделирования были построены графики, определяющие границы инвариантности мер близости повернутого изображения (рис 3, а) и изображения с измененным масштабом (рис 3, б, в). При вращении изображения корреляционная и компарационная мера близости устойчиво работают при угле поворота до 15°, метрика ChamferDistance – 20°. При изменении масштаба ChamferDistance уверенно лоцирует объекты в диапазоне значений коэффициента масштабирования от 0.9 до 1.13, компарационная мера от 0.85 до 1.2, корреляционная от 0.84 до 1.22 в среднем.

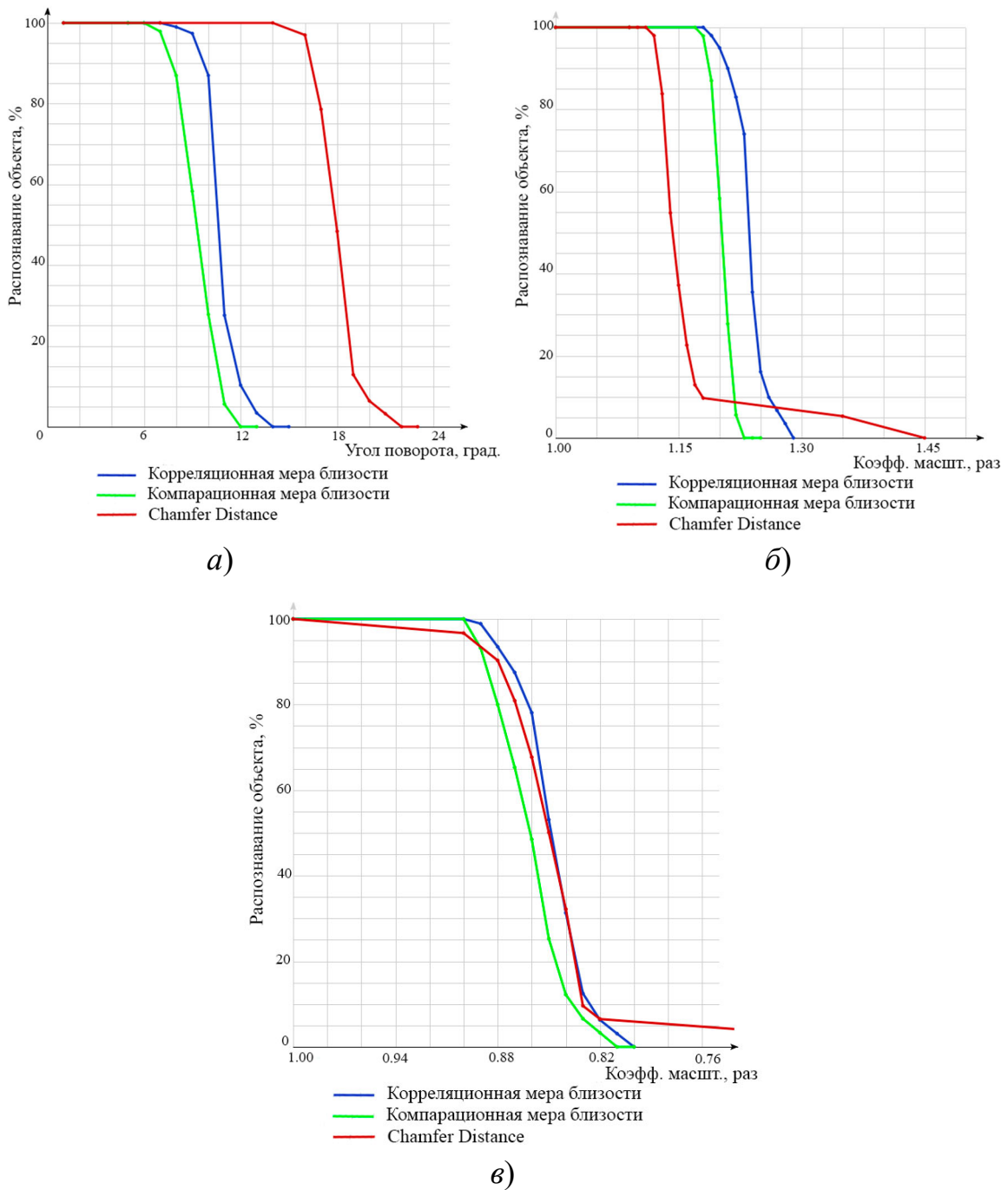


Рис. 3. Границы устойчивости мер близости.



## Заключение

При анализе различных мер близости на инвариантность при вращении и масштабировании изображения определено, что с помощью исследуемых мер близости уверенно обнаруживаются объекты на изображениях при небольших геометрических преобразованиях: вращении изображений в пределах от 10 до 20 градусов и изменении масштаба с диапазоном коэффициента масштабирования 0.85 – 1.2 раз. Метрика ChamferDistance обеспечивает наилучшее обнаружение при повороте изображения, но уступает другим мерам близости при масштабировании. Разница между компарационной и корреляционной мерой минимальна в пользу последней. Необходимо отметить, что полученные границы устойчивости исследуемых мер значительно ниже, чем у методов, основанных на применении гистограмм направленных градиентов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. / Р. Гонсалес, Р. Вудс ; под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Басараб, М. Цифровая обработка сигналов и изображений / М. Басараб, В. Волосюк, О. Горячкин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 552 с.
3. Гальчук, И.В. Методы выделения малоразмерных подвижных объектов на сложном фоне / И.В. Гальчук, А.Г. Костевич // Тр. юбилейной науч.-техн. конф. по радиоэлектронике, посвященной 50-летию РТФ. – Томск, 2000. – Т. 5. – С. 82–86.
4. Солонина, А.И. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов [Текст] / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, Л.А. Яковлев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
5. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен: пер. с англ. / Р. Дуда, П. Харт; под ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Изд-во «МИР», 1976. – 509 с.
6. Анализ мер близости для поиска объектов по шаблону / И. В. Борисова, В. Н. Легкий, Д. А. Утев и др. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Техническая наука. – 2018. – № 3 (47). – С. 36–46. – DOI 10.21685/2072-3059-2018-3-
7. Lowe, D.G. Object recognition from local scale-invariant features / D.G. Lowe // Proceedings of the International Conference on Computer Vision. – 1999. – Vol. 2. – P. 1150–1157. – DOI: 10.1109/ICCV.1999.790410.
8. Dalal, N. Histograms of oriented gradients for human detection / N. Dalal, B. Triggs // Computer Vision and Pattern Recognition. – 2005. – Vol. 1. – P. 886–893. – DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.
9. Лукашевич, П.В. Масштабно-инвариантный алгоритм обнаружения областей изображений / П.В. Лукашевич, Б.А. Залесский // Информатика. – 2011. – № 3. – С. 118–128.
10. Мирамонте-Харамилло Д. Алгоритм сопоставления изображений на основе скользящих гистограмм направленных градиентов / Д. Мирамонте-Харамилло, В.Х. Диас-Рамиреси др. // Информационные процессы. – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 56–63.
11. Rublee E., ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski // IEEE International Conference on Computer Vision, –2011, – P. 2564–2571.
12. Борисова И. В. Цифровые методы обработки информации: учебное пособие [Текст] / И. В. Борисова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 139 с.
13. Борисова, И.В. Применение ориентации градиента яркости для систем автосопровождения объектов / И.В. Борисова, В.Н. Легкий, С.А. Кравец // Компьютерная оптика. – 2017. – Т.41, №.6 – С. 931–937. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-6-931-937

14. Haralick, R.M. A facet model for image data / R.M. Haralick, L.T. Watson // Computer Graphics and Image Processing. – 1981. – Vol. 15, Issue 2. – P. 113-129. – DOI: 10.1016/0146-664X(81)90073-3.
15. Попов П.Г., Локальные анизотропные признаки изображений / П. Г. Попов // Оптический журнал. – 1994. - № 2. – С.36.
16. Попов, П.Г., Практическое применение эффекта «отскока» в обработке изображений / П.Г. Попов, И.В. Борисова // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66, № 4. – С. 94–101.
17. Броневи́ч А.Г., Анализ неопределенности выделения информативных признаков и представлений изображений/ А. Г. Броневи́ч, А. Н. Каркищенко, А. Е. Лепский.– М:ФИЗМАЛИТ, 2013. – 320с.
18. Borgefors, G. Distancetransformationsindigitalimages / G. Borgefors // ComputerVision, Graphics, andImageProcessing. – 1986. – Vol. 34, № 3. – P. 344–371.
19. Гонсалес Р., Цифровая обработка изображений в среде MATLAB./ Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М: Техносфера, 2006. – 616с.
20. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligenc. – 1986. – Vol. 6. – P. 679–698.

© Д. А. Утев, И. В. Борисова, В. П. Ющенко, 2020

## **ВЫБОР ФРАГМЕНТОВ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

### ***Ирина Валентиновна Борисова***

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: i.v.borisova@corp.nstu.ru

### ***Игорь Сергеевич Гибин***

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры оптических информационных технологий, тел. (383)333-25-74, e-mail: gibin@corp.nstu.ru

### ***Владимир Николаевич Легкий***

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

Рассматривается метод выбора реперных фрагментов для привязки изображений из разных каналов наблюдения, в том числе разных спектральных диапазонов. Предлагаемый метод основан на вычислении спектра Фурье в локальных окрестностях точек фрагментов и анализе анизотропности спектра. В качестве реперных фрагментов выбираются фрагменты изображения с максимальным суммарным значением анизотропности. Процедура выполняется автоматически и не требует введения пороговых значений. Для поиска координат фрагмента, соответствующего реперному, используется экстремум критериальной функции. Показана зависимость невязки изображений от суммарного значения анизотропности реперных фрагментов для разных мер близости.

**Ключевые слова:** обработка изображений, спектр Фурье, мера близости, реперный фрагмент, многоканальные оптико-электронные системы.

## **FRAGMENT SELECTION METHOD FOR BINDING MULTI-CHANNEL IMAGES**

### ***Irina V. Borisova***

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Assoc. Prof. of Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: i.v.borisova@corp.nstu.ru

### ***Igor S. Gibin***

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Prof. of Department of Photonics and Optoinformatics, phone: (383)333-25-74, e-mail: gibin@corp.nstu.ru

### ***Vladimir N. Legkiy***

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Prof. of Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

The method of selecting reference fragments for coordinate matching of images from different observation channels, including images from different spectral ranges, is considered. The proposed method is based on calculating the Fourier spectrum in the local vicinity of fragment points and analyzing the anisotropy of the spectrum. Image fragments with the maximum summary anisotropy value are assigned as reference fragments. The procedure is performed automatically and does not require entering threshold values. A reference fragment is detected by searching for the extremum of the target function. It is shown that the error of image coordinate binding depends on the total value of the anisotropy of reference fragments.

**Key words:** image processing, Fourier spectrum, measure of proximity, reference fragment, multi-channel optical electronic systems.

## *Введение*

Необходимость координатной привязки изображений возникает при решении задач слияния изображений [1], анализа движения [2, 3], анализа изменений в серии изображений, текстурного анализа и т.д. Основные подходы к привязке изображений основаны на использовании корреляционного совмещения реперных фрагментов [4, 5], совмещения с помощью проективных преобразований [6, 7] и сопоставления реперных точек по их дескрипторам [8, 9, 10].

Методы, основанные на описании особых точек [11, 12], обладают большей инвариантностью к аффинным преобразованиям изображений по сравнению с корреляционным подходом. Однако в случае разноспектральных или разновременных изображений, некоторые особые точки могут не иметь пары [13]. Использование методов, основанных на алгоритме SURF [11], ограничено размерами обрабатываемых изображений. Для изображений больших размеров поиск особых точек выполняется на фрагментах, размеры которых согласованы с моделью аффинного преобразования [14].

В методах корреляционной привязки первым этапом является выбор эталонных (реперных) фрагментов. Выбор эталонов может выполняться в ручном режиме оператором или автоматически. Эталоны выбираются в окрестности некоторых характерных объектов, точечных или протяженных. Чаще всего для привязки используются протяженные объекты с характерными очертаниями: реки, дорожная сеть, береговая линия, населенные пункты и т.д. Этот подход предполагает, что имеется информация о содержании изображений. В случае отсутствия такой информации в реперные фрагменты должны попадать границы между относительно однородными областями [15]. В большинстве работ при совмещении разнородных изображений эталонные фрагменты приводят к бинарному виду и выполняют корреляционный поиск [4], контурный анализ [16] или поиск ключевых точек [17, 18].

В данной работе рассматривается выбор реперных фрагментов на основе анализа спектра Фурье локальных окрестностей без предварительного поиска границ областей.

## *Фасетная модель изображения*

Рассмотрим представление изображения в виде фасетной модели [19, 20]. Для этого разобьем изображение на двумерные фрагменты, в пределах которых функция яркости аппроксимируется наклонными плоскостями – фасетами. Каж-

дый фасет составляет с горизонтальной плоскостью двугранный угол, который характеризуется значением угла наклона к горизонтали и ориентацией в плоскости координат. Если фрагмент изображения содержит контуры объектов, то спектр Фурье этого фрагмента будет анизотропным. В направлении, взятом вдоль прямоугольного контура, энергия спектра существенно ниже, чем в перпендикулярном направлении, т.е. в направлении градиента яркости. Значение угла наклона фасета к горизонтали определяет степень анизотропии спектра.

Размер фрагмента, в пределах которого строится фасет, выбирается в зависимости от сюжета изображения от  $3 \times 3$  элементов до  $8 \times 8$ . По сути, это локальная окрестность точки изображения. Поскольку для обработки поступает уже оцифрованное изображение, вычислим двумерное дискретное преобразование Фурье матрицы отсчетов текущей окрестности изображения  $V$ :

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} V(l, n) \exp \left\{ -i \frac{2\pi}{N} (ul + vn) \right\}, \quad (1)$$

$$u, v = 0, \dots, N-1, \quad i^2 = -1,$$

где  $V(l, n)$  – яркость элемента текущей окрестности,  $N \times N$  – размер окрестности.

Найдем суммы элементов энергетического спектра в направлениях, составляющих углы  $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$  с горизонталью, с помощью следующего оператора:

$$E_0 = \sqrt{\sum_{v=0}^{N-1} F^2(0, v)}; E_1 = \sqrt{\sum_{u=0}^{N-1} F^2(u, u)}; \quad (2)$$

$$E_2 = \sqrt{\sum_{u=0}^{N-1} F^2(u, 0)}; E_3 = \sqrt{\sum_{u=0}^{N-1} F^2(u, N-u)}$$

Ориентацию фасета  $\theta$  мы рассматриваем как дискретную величину с шагом дискретизации  $\pi/4$ . Направление, в котором будет получена максимальная суммарная энергия, определяет ориентацию фасета:

$$E_m = \max_{j=0, \dots, 3} E_j, \quad \theta = m \cdot \frac{\pi}{4}. \quad (3)$$

Для определения степени анизотропии окрестности будем использовать отношение максимальной суммарной энергии  $E_m$  и энергии, полученной в перпендикулярном направлении  $E_n$ :

$$A = 1 - \frac{E_n}{E_m}. \quad (4)$$

Значение анизотропности для каждой точки лежит в интервале  $[0, 1]$ . Суммируя значения анизотропности для точек в пределах выбранного размера эталона, получаем суммарное значение анизотропности. Выбор реперных фрагментов производится в областях с максимальным суммарным значением анизотропности.

### *Экспериментальные результаты*

Задача взаимной привязки рассматривалась для изображений разных спектральных диапазонов, приведенных к одному масштабу. В одном из изображений, согласно описанному методу, выбирался реперный фрагмент. Для поиска соответствующего фрагмента в других изображениях применялись бинарная корреляция, компарационная мера близости [20, 21] с разделением окрестностей на пять классов, а также метрика расстояний до границ Chamfer Distance [22]. После этого производилась обратная привязка найденного фрагмента с изображением, из которого выбирался эталон, и фиксировалась невязка относительных координат.

На рис. 1а и рис. 1в приведен пример парных изображений, использовавшихся для исследования метода. На рис. 1б в виде яркости показаны значения анизотропности, соответствующие изображению рис. 1а. Выделенный рамкой фрагмент на рис. 1а соответствует максимальному суммарному значению анизотропности. На парном изображении, приведенном на рис. 1в, рамкой выделен обнаруженный эталон. В данном случае при использовании всех рассмотренных мер близости была получена нулевая невязка.

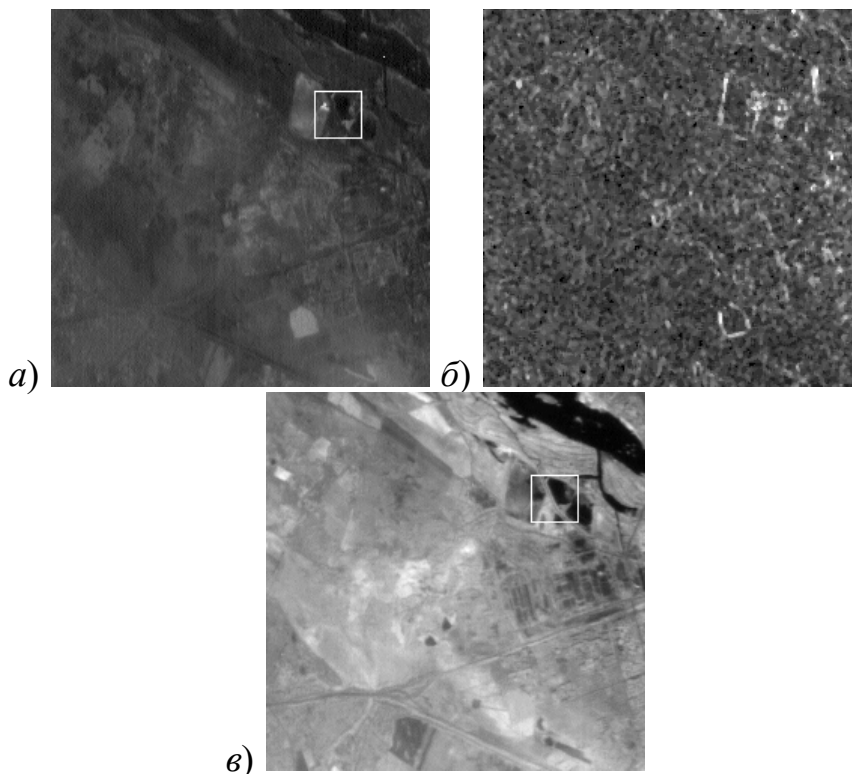


Рис. 1. Пример выделения реперного фрагмента и привязки изображений:

а) первое из пары изображений с выбранным реперным фрагментом; б) значения анизотропности; в) второе из пары изображений с найденным эталоном

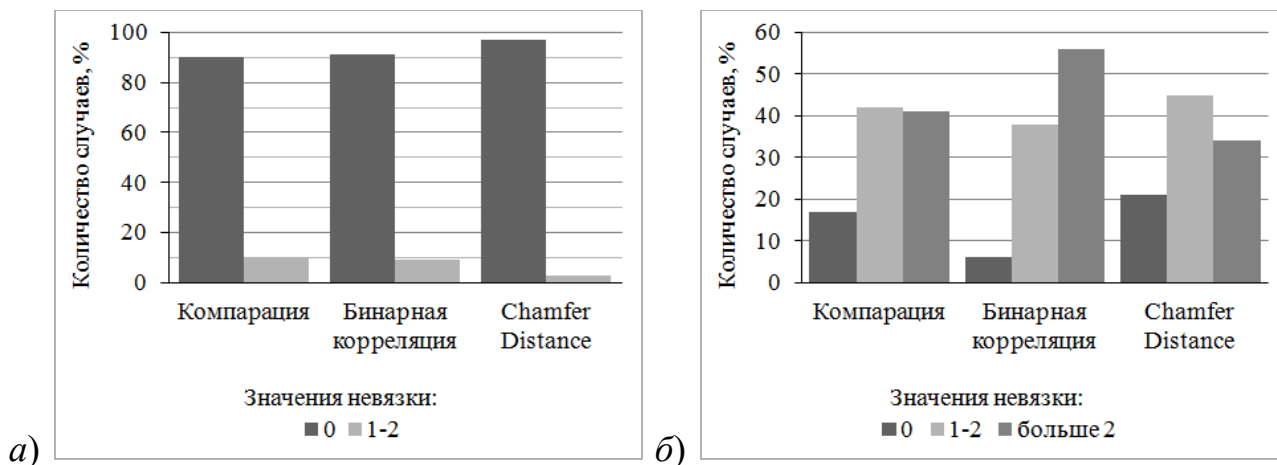


Рис. 2. Статистика значений невязки для разных мер близости:

а) реперный фрагмент выбран предложенным методом; б) случайный выбор реперного фрагмента

В проводимом исследовании использовались пары телевизионных и тепловизионных изображений, и пары тепловизионных изображений разных поддиапазонов. Общий объем базы данных – более ста пар изображений. Все меры близости показали стабильную привязку при выборе реперного фрагмента предложенным методом. Статистика значений невязки приведена на рис. 2. По оси ординат в процентах к общему числу экспериментов отложено количество пар изображений, давших нулевую невязку, невязку в один – два элемента и невязку больше двух элементов. Исследования показали, что лучшее качество привязки получается, если реперный фрагмент выбирается из менее детального изображения. Для сравнения проводился анализ привязки с использованием случайно выбранного эталона. Качество привязки резко упало, практически в половине экспериментов невязка составляла больше пяти пикселей. Анализ эталонов, с которыми были получены малые значения невязки, показал, что их суммарные значения анизотропности близки к максимальным.

### Заключение

Проведенное исследование показало, что предложенный метод выбора реперных фрагментов обеспечивает устойчивую привязку изображений разных спектральных диапазонов при корреляционном совмещении с использованием разных мер близости. Полученные значения невязки оказались меньше при использовании реперных фрагментов с большими значениями суммарной анизотропности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кокошкин, А.В. Оценка ошибок синтеза изображений с суперразрешением на основе использования нескольких кадров / А.В. Кокошкин, В.А. Коротков, К.В. Коротков, Е.П. Новичихин // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 5. – С. 701–711.
2. Алпатов, Б.А. Выделение движущихся объектов в условиях геометрических искажений изображения / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян // Цифровая обработка сигналов. – 2004. – №4. – С. 9–14.

3. Казбеков, Б.В. Метод сопоставления изображений с эталонами как метод идентификации подвижных наземных объектов / Б.В. Казбеков, Н.А. Максимов, А.В. Шаронов // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2014. – № 207. – С. 61–66.
4. Кирпичников, А.П. Решение задачи корреляционной привязки изображения и цифровой карты местности / А.П. Кирпичников, Д.И. Мифтахутдинов, И.С. Ризаев // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18, №17. – С. 186–189.
5. Потапов, А.С. Совмещение аэрокосмических изображений с субпиксельной точностью методом локальной корреляции / А.С. Потапов, И.А. Малышев, В.Р. Луцив // Оптический журнал. – 2004. – Т. 71, № 5. – С. 31–36.
6. Гошин, Е.В. Двухэтапное формирование пространственного преобразования для совмещения изображений / Е.В. Гошин, А.П. Котов, В.А. Фурсов // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 4. – С. 886–891.
7. Алпатов, Б.А. Электронная юстировка изображений при мультиспектральном наблюдении / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян // Цифровая обработка сигналов. – 2003. – № 1. – С. 24–26.
8. Кузнецов, А.Е. Технология автоматического контроля точности геопривязки спутниковых изображений по опорным снимкам от КА «LANDSAT-8» / А.Е. Кузнецов, В.И. Пошехонов, А.С. Рыжиков // Цифровая Обработка Сигналов. – 2015. – №3. – С. 37–42.
9. Wang, W. Contour matching using the affine-invariant support point set / W. Wang, Y. Jiang, V. Xiong, L. Zhao // IET Computer Vision. – 2014. – Vol. 8, № 1. – P. 35–44.
10. Казбеков, Б.В. Локализация местоположения БЛА на основе распознавания изображений подстилающей поверхности / Б.В. Казбеков, Н.А. Максимов, И.С. Пуртов, Д.П. Синча // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 5. – С. 157–160.
11. Herbert, B. Speeded-Up Robust Features (SURF) / B. Herbert, E. Andreas, T. Tinne, L. Van Gool // Computer Vision and Image Understanding. – 2008. – Vol. 110, № 3. – P. 346–359.
12. Lowe, D.G. Object recognition from local scale-invariant features // Proc. of the International Conference on Computer Vision. – 1999. – Vol. 2. – P. 1150–1157.
13. Ефимов, А.И. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений / А.И. Ефимов, А.И. Новиков // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 258–265.
14. Совмещение изображений с российских спутников «Ресурс-П» / А.И. Алексанин, С.М. Краснопеев, М.А. Морозов, Е.В. Фомин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. –Т. 15, № 1. – С. 18–28
15. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учеб. пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – С. 166.
16. Новиков, А.И. Применение контурного анализа для совмещения изображений / А.И. Новиков, В.А. Саблина, Е.О. Горячев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 9, Ч.1 – С. 260–270.
17. Hast, A. Optimal RANSAC – Towards a Repeatable Algorithm for Finding the Optimal Set / A. Hast, N. Johan, A. Marchetti // Journal of WSCG. – 2013. – № 1(21). – P. 21–30.
18. Novikov, A.I. The Contour Analysis and Image-Superimposition Problem in Computer Vision Systems / A.I. Novikov, V.A. Sablina, M.B. Nikiforov, A.A. Loginov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – №1(25). – P. 73–80.
19. Haralick, R.M. A facet model for image data / R.M. Haralick, L. Watson // Computer Graphics and Image Processing. – 1981. – V. 15, № 2. – P. 113–129.
20. Попов, П.Г. Практическое применение эффекта «отскока» в обработке изображений / П.Г. Попов, И.В. Борисова // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66, № 4. – С. 94–101.
21. Анализ мер близости для поиска объектов по шаблону / И.В. Борисова, В.Н. Легкий, Д.А. Утев, С.А. Кравец, Д.Е. Демидов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – № 3 (47). – С. 36–46.
22. Borgefors, G. Distance transformations in digital images // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1986. – Vol. 34, № 3. – P. 344–371.



## **СКАНИРУЮЩАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА**

### ***Максим Николаевич Бондарь***

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, аспирант кафедры оптических информационных технологий, тел. (383)346-23-12, e-mail: max\_bond@mail.ru

### ***Владимир Николаевич Легкий***

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: sniios@mail.ru

### ***Игорь Сергеевич Гибин***

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры оптических информационных технологий, тел. (383)333-25-74, e-mail: gibin@corp.nstu.ru

Описывается сканирующий лазерный дальномер, обеспечивающий измерение расстояния до 10 м погрешностью 0,01 м при круговом 360-градусном сканировании пространства. Использование триангуляционного принципа дальнометрии с применением многоэлементного фотоприемного устройства позволило разработать малогабаритную лазерную измерительную систему для робототехнических платформ производственного и специального назначения. С помощью микроконтроллера удалось рационально реализовать дискретный алгоритм работы системы в заданном секторе пространства.

**Ключевые слова:** робототехника, сканирующая измерительная система, лазерный дальномер, триангуляция, излучатель, многоэлементное фотоприемное устройство, микроконтроллер.

## **SCANNING MEASURING SYSTEM BASED ON TRIANGULAR LASER RANGEFINDER**

### ***Maxim N. Bondar***

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Post-graduate Student, Department of Optical Information Technology, phone: (383)346-23-12, e-mail: max\_bond@mail.ru

### ***Vladimir N. Legkiy***

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc, Prof. of the Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: jwp@aport2000.ru

### ***Igor S. Gibin***

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc., Prof. of the Department of Photonics and Optoinformatics, phone: (383)333-25-74, e-mail: gibin@corp.nstu.ru

A scanning laser range finder that provides distance measurement up to 10 m with an accuracy of 0.01 m for 360-degree circular scanning of space is described. Using the triangulation principle with a multi-element photodetector allows to creating a small-sized laser measuring system for robotic platforms for industrial and special purposes. Using the microcontroller allows to rationally implementing the discrete algorithm of the system in a given sector of space.

**Key words:** robotics, scanning measuring system, laser rangefinder, triangulation, emitter, multi-element photodetector, microcontroller.

## *Введение*

Робототехнические системы производственного и специального назначения используют лазерные дальномеры в качестве основного датчика для локализации координат объектов и оптимизации траектории движения системы относительно препятствий. Стоимость и сложность в эксплуатации существующих дальномерных систем с функцией сканирования пространства не позволяют создавать эффективные и недорогие робототехнические платформы для строительства, транспорта, геодезии, навигации, для армии и силовых структур.

Существующие лазерные дальномеры [1,3,4,5] основанные на триангуляционном методе измерения имеют сравнительно небольшие габариты и схожие значения по точности измерения, однако они имеют ряд существенных недостатков: максимальная измеряемая дальность таких приборов достигает не более 6м; при проектировании таких систем используются дорогостоящие комплектующие: фотоприёмные устройства; программируемые логические интегральные схемы; небольшой диапазон рабочих температур от -20°С до 60°С.

### *Триангуляционный метод измерения и лазерный дальномер*

Для решения задачи по построению сканирующей измерительной системы выбран триангуляционный (параллаксный) метод измерения [6, 20, 21], который успешно реализуется для целого ряда применений с достаточными показателями по точности и дальности.

Суть данного метода заключается в решении задачи треугольника по известной базе – стороне треугольника и измеренному углу между сторонами треугольника, образованными оптической осью лазерного излучателя и фотоприёмным устройством [2, 10].

Дальномер (рис.1) состоит из лазерного модуля поз. 1 и светосильного объектива поз.2, в фокальной плоскости которого установлен линейчатый фоточувствительный прибор (ЛФП) поз. 3.

Дальномер на основе метода триангуляции работает следующим образом. Лазерный модуль формирует световое пятно на предмете, до которого измеряется дальность [10, 11, 12]. Объектив (диаметр 50 мм) формирует на ЛФП (формат 1024 элемента) изображение этого пятна, положение которого в пределах линейки элементов зависит от измеряемой дальности [7, 13, 14, 15]. Принцип измерения дальности иллюстрируется на рис. 2. Погрешность измерения дальности можно определить по формуле (1).

$$\delta = \frac{D_{max}}{N_{эл}} = \frac{12м}{1024} = 0,01м. \quad (1)$$

где  $D_{max}$  – максимально измеряемая дальность,  $N_{эл}$  – количество элементов ЛФП.

Так как оптические оси лазерного пучка и дальномера параллельны и смещены друг относительно друга на постоянное расстояние  $h$ , то изображение пятна на ЛФП смещено относительно оптической оси объектива, и величина этого смещения зависит от измеряемой дальности до предмета. Смещение ЛФП относительно оптической оси приемного объектива определяет рабочий диапазон измерений по дальности [2].

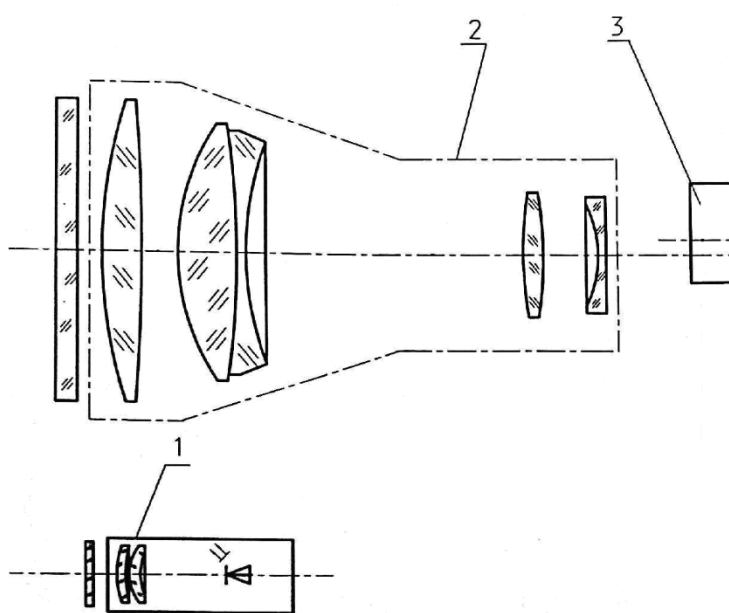


Рис. 1. Состав дальномера

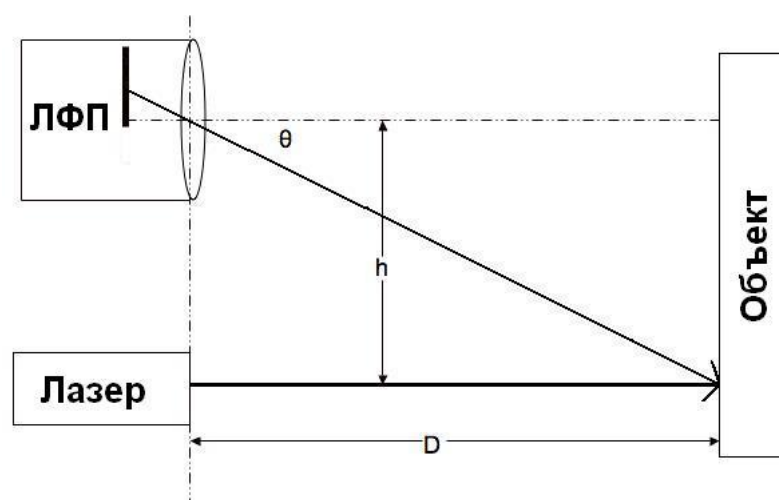


Рис. 2. Принцип измерения расстояния

Так как при изменении расстояния до экрана изменяется положение плоскости изображения относительно фокальной плоскости объектива, то изменяется и размер пятна на ЛФП, поэтому отсчет положения пятна ведется по расположению его центра тяжести [8, 9, 16, 17, 19].

### ***Вычисление координат для построения карты***

Для построения карты окружающего пространства используется следующий метод (рис. 3). Пусть начальная позиция робота  $[x_0, y_0]$ . Для каждой измеренной точки известно расстояние  $r$ . Первое измерение проводится под углом  $45^\circ$ , а каждое следующее измерение будет иметь угол меньше на  $0,25^\circ$ . Соответственно получается формула для вычисления угла:

$$\alpha = 45^\circ - (0,25^\circ \cdot N_{\text{изм.}}), \quad (2)$$

где  $N_{\text{изм.}}$  – номер измерения.

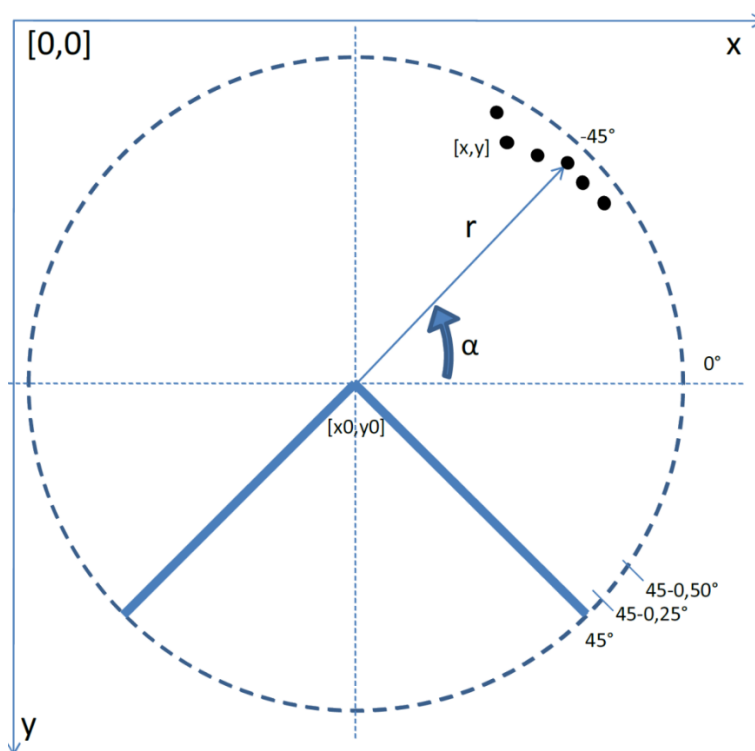


Рис. 3. Метод вычисления координат

Далее определяются координаты измеренных точек:

$$x = x_0 + r \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

$$y = y_0 + r \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

где  $x, y$  – координаты измеренной точки,  $x_0, y_0$  – начальные координаты.

Система при построении карты может вращаться и менять своё положение, поэтому необходимо скорректировать формулы (3) и (4).

В результате получим следующие формулы для нахождения координат при движении и вращении [3]:

$$x = (x_0 + x_r) + r \cdot \cos(\alpha - \varphi_r), \quad (5)$$

$$y = (y_0 - y_r) + r \cdot \sin(\alpha - \varphi_r). \quad (6)$$

где  $x$ ,  $y$  – координаты измеренной точки в матрице изображения;  $x_0$ ,  $y_0$  – начальная позиция робота в системе координат матрицы изображения;  $x_r$ ,  $y_r$  – координаты робота в системе координат робота;  $\varphi_r$  – общее вращение робота с учетом оси  $y_r$ .

### ***Структура сканирующей измерительной системы***

Структурная схема сканирующей измерительной системы приведена на рис. 4.

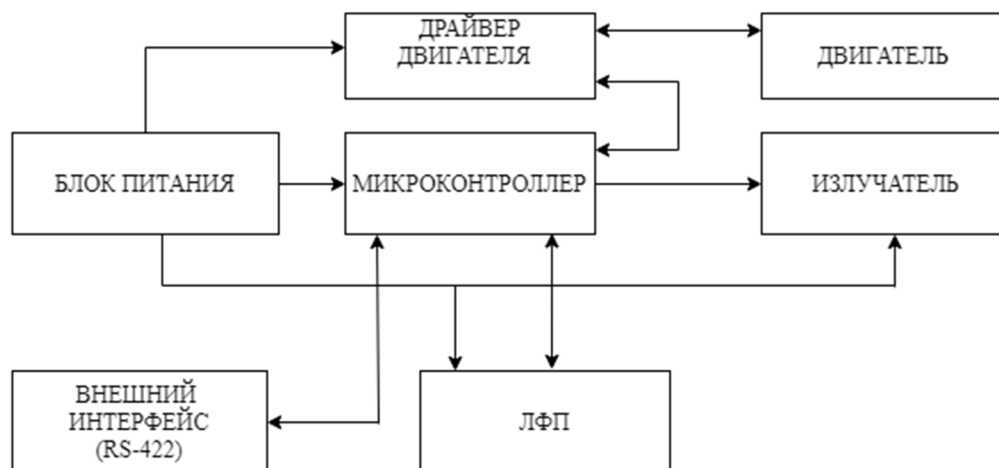


Рис. 4. Структурная схема сканирующей измерительной системы

Дальномер установлен на платформу, которую вращает шаговый двигатель, управляемый микроконтроллером через драйвер двигателя [3]. Через внешний интерфейс задается скорость вращения и угол поворота платформы.

После прихода команды на запуск, контроллер запускает излучатель и начинает процесс измерения. Оптическое излучение, отражённое от объекта, поступает на ЛФП, после чего микроконтроллер обрабатывает поступающие с него сигналы, вычисляет координаты центра тяжести пятна, производит необходимые вычисления и преобразования, рассчитывает дальность, производит вычисление координат измеряемого объекта и передает их на внешнее устройство [17,18,19].

В результате исследований разработана сканирующая измерительная система на основе триангуляционного лазерного дальномера.

Основные параметры измерительной системы приведены в табл. 1.

Параметры сканирующей измерительной системы

Наименование параметра, характеристики	Значение параметра, характеристики
Диапазон измерения расстояния D, м	1...12
Погрешность измерения, не более, мм	±10
Обмен информацией, тип интерфейса	RS-422
Время готовности к работе, мин.	<0,5
Диапазон рабочих температур, °С	-60 ... +60
Напряжение питания, В	4...12
Габаритные размеры, мм	100x116x50

### Заключение

Разработана сканирующая лазерная система двойного назначения, измеряющая расстояние от 1 до 12 м триангуляционным методом, с заданной точностью 0,01 м при минимальных габаритных размерах.

Измерительная система с круговым сканированием пространства предназначена для робототехнических платформ производственного и специального назначения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. T. Danko. "Webcam Based DIY Laser Rangefinder", 2009 // [https://sites.google.com/site/odddanko/home/webcam\\_laser\\_ranger](https://sites.google.com/site/odddanko/home/webcam_laser_ranger).
2. М. Н. Бондарь, А. Д. Лаптева, С.А. Буднов. Триангуляционный лазерный дальномер. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2017» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. – с.58-62.
3. O. Haffer, F. Duchon. "Making a map for mobile robot using laser rangefinder", 2014 // [https://www.researchgate.net/publication/269108642\\_Making\\_a\\_map\\_for\\_mobile\\_robot\\_using\\_laser\\_rangefinder](https://www.researchgate.net/publication/269108642_Making_a_map_for_mobile_robot_using_laser_rangefinder).
4. K. Bosshardt, K. Hargett, J. Ritchie, A. Smeenk. "Laser Rangefinder", 2015 // <http://www.eecs.ucf.edu/seniordesign/su2015fa2015/g02/doc/Laser-Rangefinder.pdf>
5. K. Konolige, J. Augenbraun, N. Donaldson, C. Fiebig, P. Shah. "A Low-Cost Laser Distance Sensor". May 19-23, 2008, Pasadena, CA, USA. IEEE International Conference on Robotics and Automation. p. 3002 – 3008.
6. В.Б. Бокшанский, Д.А. Бондаренко, М.В. Вязовых, И.В. Животовский, А.А. Сахаров, В.П. Семенов. Лазерные приборы и методы измерения дальности : учеб. Пособие под ред. В.Е. Карасика. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 92с.
7. И.Д. Анисимов, И.М. Викулин и др. "Полупроводниковые фотоприемники. "-М.: Радио и связь, 1984. – 216с.

8. Зуев В.Е. "Прозрачность атмосферы для видимых и ИК-лучей. " – М.: Советское радио, 1966.
9. Марголин И.А., Румянцев Н.П. Основы инфракрасной техники. – М.: Воениздат, 1955. – 263с.
- 10 А.с. № 194086 Легкий В.Н., Миценко И.Д. Импульсный лазерный передатчик. - 1983.
11. Лёгкий В.Н., Трушин В.А., Миценко И.Д. Адаптивный лазерный измеритель расстояния. Патент РФ №2058525, приоритет от 25.07.1990г., бюлл. изобр. №11, 1996г.
12. Богданкевич О.В., Дарзек С.А., Елисеев П.Г. Полупроводниковые лазеры.- М.:Наука, 1976, 416с.
13. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для студентов вузов. – М.: Логос, 1999. – 480с.
14. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. –Л.:1966.
15. Гаврилов В.А. Прозрачность атмосферы и видимость. – М. – Л.:1958.
16. Андреева Е.В., Егоров Ю.Е. Вычислительная геометрия на плоскости // Информатика. 2002. №40. С. 28-31.
17. Легкий В.Н., Галун Б.В., Толбанов О.П. "Принципы построения помехоустойчивых миниатюрных лазерных импульсных дальномеров, высотометров и датчиков для бортовых и транспортных систем". Оптический журнал. – 2011. - Т.78, вып. 5, - с.64-69.
18. Легкий В.Н., Топорков В.Д. "Лазерные системы ближней локации: оптоэлектронные датчики". Монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
19. Шестов Н. С. "Выделение оптических сигналов на фоне случайных помех". – М.:Сов. радио, 1967, 347с.
20. Псарев А. А., Коваленко А. Н., Куприн А. М., Пирнак Б. И. Военная топография. М.: Воениздат, 1986. 384 с.
21. А.С.Батраков, М.М.Бутусов, Г.П.Гречка и др.Лазерные измерительные системы./ Под ред. Д.П.Лукьянова. – М.: Радио и связь, 1981, - 456с.

© М. Н. Бондарь, В. Н. Легкий, И. С. Гибин, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>М. И. Ананич</i> . Современные вызовы и проблемы научно-технологического и инновационного развития .....	3
2. <i>А. В. Шабурова, Т. А. Самойлюк</i> . О влиянии технологических инноваций на качество труда .....	14
3. <i>К. А. Шакалов, А. Н. Матвеев, А. А. Петруха</i> . Как «регуляторная гильотина» повлияет на метрологические службы производственных предприятий? .....	18
4. <i>В. С. Крылов, А. С. Томилов, А. С. Толстиков</i> . Существующие подходы к определению параметров движения искусственных спутников Земли .....	24
5. <i>В. М. Тиссен</i> . Прогноз температурных аномалий в Европе и России по их корреляции с изменениями скорости вращения Земли .....	31
6. <i>А. Ф. Бродников</i> . Измерительная установка для определения вольтамперных характеристик композиционных сверхпроводников при изготовлении объектов криогенной техники .....	38
7. <i>Г. В. Симонова</i> . Исследование погрешности определения массы сыпучих материалов.....	42
8. <i>А. В. Троеглазова</i> . Вероятностно-детерминированное планирование эксперимента по разложению кремнийсодержащих образцов.....	49
9. <i>С. А. Степанова, Г. В. Симонова</i> . Оценка изменения концентрации гербицидов в почве .....	56
10. <i>А. Г. Черевко, Ю. В. Моргачев</i> . Моделирование разворачиваемой экологической спиральной конической логарифмической графеновой антенны для спутниковой связи .....	62
11. <i>В. С. Айрапетян, И. С. Бутримов, А. А. Топорков</i> . Автоматизированный метод определения характеристик визирных систем .....	69
12. <i>В. С. Айрапетян, А. В. Макеев</i> . Обнаружение и идентификация взрывчатых веществ методом дифференциального поглощения и рассеяния на основе ИК-ПГС .....	77
13. <i>К. Я. Аубакиров, И. В. Вершеня, А. Е. Жукова</i> . Моделирование квадратурных и синхфазно-противофазных СВЧ делителей мощности .....	84
14. <i>К. Я. Аубакиров, А. В. Макеев</i> . Аналоговые фазовращатели дециметрового диапазона на повышенный уровень мощности.....	89
15. <i>А. А. Черников, А. И. Пуртов, И. В. Прокофьев</i> . Алгоритм обнаружения беспилотного летательного аппарата на неоднородном фоне.....	94
16. <i>Д. А. Утев, И. В. Борисова, В. П. Ющенко</i> . Анализ инвариантности мер близости для поиска объекта по шаблону при вращении и масштабировании изображения.....	100



17. <i>И. В. Борисова, И. С. Гибин, В. Н. Легкий</i> . Выбор фрагментов для привязки многоканальных изображений .....	107
18. <i>М. Н. Бондарь, В. Н. Легкий, И. С. Гибин</i> . Сканирующая измерительная система на основе триангуляционного лазерного дальномера .....	113

## CONTENTS

1. <i>M. I. Ananich</i> . Modern Challenges and Problems of Scientific-Technological and Innovative Development.....	3
2. <i>A. V. Shaburova, T. A. Samolyk</i> . On the Impact of Technological Innovations on the Quality of Work.....	14
3. <i>K. A. Shakalov, A. N. Matveev, A. A. Petrukha</i> . How «Regulatory Guillotine» Will Affect on Metrological Services of Production Companies? .....	18
4. <i>V. C. Krylov, A. C. Tomilov, A. C. Tolstikov</i> . Existing Approaches to Determining the Motion Parameters of Artificial Earth Satellites.....	24
5. <i>V. M. Tissen</i> . Forecast of Temperature Anomalies in Europe and Russia by their Correlation with Changes in the Earth's Rotation Speed.....	31
6. <i>A. F. Brodnikov</i> . Measuring Installation for Determining Current-Voltage Characteristics of Composite Superconductors in the Production of Cryogenic Technique .....	38
7. <i>G. V. Simonova</i> . Investigation of Measurement Accuracy in Determining the Mass of Bulk Materials .....	42
8. <i>A. V. Troeglazova</i> . Probability-Determined Design Planning for Decomposition of Silicon-Containing Samples.....	49
9. <i>S. A. Stepanova, G. V. Simonova</i> . Assessment of Changes in the Concentration of Herbicides in the Soil .....	56
10. <i>A. G. Cherevko, Y. V. Morgachev</i> . Designing a Deployable Environmental Spiral Conical Logarithmic Graphene Antenna for Satellite Communications.....	62
11. <i>V. S. Hayrapetyan, I. S. Butrimov, A. A. Toporkov</i> . Automated Method for Determining the Characteristics of Vising Systems .....	69
12. <i>V. S. Hayrapetyan, A. V. Makeev</i> . Detection and Identification of Explosives by Differential Absorption and Scattering Based on IR-OPO.....	77
13. <i>K. Ya. Aubakirov, I. V. Vershenya, A. E. Zhukova</i> . Modeling of Quadrature and Synchase-Anti-Phase Microwave Power Dividers .....	84
14. <i>K. Ya. Aubakirov, A. V. Makeev</i> . Analog Phase Shifters of the Decimeter Range for Increased Power Level .....	89
15. <i>A. A. Chernikov, A. I. Purtov, I. V. Prokofiev</i> . Algorithm for Detecting an Unmanned Aerial Vehicle on a Heterogene Background .....	94
16. <i>D. A. Utev, I. V. Borisova, V. P. Yushchenko</i> . Analysis of Rotation and Scale Invariance for Proximity Measures in Target Detection .....	100
17. <i>I. V. Borisova, I. S. Gibin, V. N. Legkiy</i> . Fragment Selection Method for Binding Multi-Channel Images.....	107
18. <i>M. N. Bondar, V. N. Legkiy, I. S. Gibin</i> . Scanning Measuring System Based on Triangular Laser Rangefinder.....	113

*Научное издание*

# **ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ**

XVI Международный научный конгресс

Сборник материалов в 8 т.

Т. 8

Национальная конференция с международным участием

**«СИБОПТИКА-2020»**

№ 2

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка: *О. И. Голиков*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 17.08.2020. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 6,24. Тираж 34 экз. Заказ 94.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ  
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ  
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.