

# Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал  
№ 11 (92)/2021 Том 1

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

• **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

• **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

• **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович  
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:  
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А  
E-mail: [info@euroasia-science.ru](mailto:info@euroasia-science.ru) ;  
[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»  
Тираж 1000 экз.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Аббасов З.М., Аскеров Э.И.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСПОРТНОЙ ПЕРЕВОЗКИ И ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АЗЕРБАЙДЖАНА .....3	<i>Маликов Р.С.</i> ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ .....23
<i>Любимов В.В.</i> КВАРЦЕВЫЕ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ ИЗМИРАН НА ПОЛЯРНЫХ ОБСЕРВАТОРИЯХ И ПУНКТАХ НАБЛЮДЕНИЙ: ОТ АНАЛОГОВЫХ К ЦИФРОВЫМ ПРИБОРАМ .....8	<i>Николаева А.И.</i> ВИМ-ТЕХНОЛОГИИ, КАК ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА .....27
<i>Любимов В.В.</i> МАГНИТОМЕТРЫ НА БАЗЕ ФЕРРОЗОНДОВЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ..19	<i>Храмов И.М., Пестов К.Н., Иванов И.Ю.</i> ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЕ НАНЕСЕНИЕ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА РЕЗЬБОВУЮ ЧАСТЬ ФУДАМЕНТНОГО БОЛТА .....31

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Нурбаев А.Р.</i> ТЕОРИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЧЕТЫРЕХМЕРНОМ ГАЛИЛЕЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ .....35	<i>Barry Tierno Souleyman, Sebeldin A.M.</i> RATIONAL GROUPS A AND B CONTAINING Z AND VERIFYING GROUP ISOMORPHISM $\text{HOM}(A, B) \cong A$ ....49
<i>Османов С.Ф.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Tb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Se}$ ..... 40	<i>Tiguntsev S.G.</i> INVESTIGATION OF THE ABSOLUTENESS OF TIME ....51
<i>Поленов В.С., Ницак Д.А.</i> О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЛН В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ПОРИСТЫХ СРЕДАХ ..... 42	

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСПОРТНОЙ ПЕРЕВОЗКИ И ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АЗЕРБАЙДЖАНА

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1505

*Аббасов З.М*

*доктор технических наук*

*Аскеров Э.И.*

*кандидат, технических наук*

*Азербайджанский Государственный*

*Аграрный Университет*

#### АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы основные перспективы транспортной перевозки и логистической системы Азербайджана, кратко описано реализация гигантских транспортных проектов в республике как экономической, так и геополитической характер, потому что производимая в стране продукция нефтяного сектора будет вывозиться на мировые рынки посредством международных транспортных маршрутов.

#### ABSTACT

The article analyzes the main prospects of transport transportation and logistics system of Azerbaijan, briefly describes the implementation of giant transport projects in the republic, both economic and geopolitical in nature, because the products produced in the country are not oil sector will be exported to world markets via international transport routes.

**Ключевые слова:** транспортной инфраструктуры, транзитных транспортных коридоров; межгосударственные глобальные логистические системы, транспортной-инфраструктуры.

**Keywords:** transport infrastructure, transit transport corridors; interstate global logistics systems, transport infrastructure.

Сегодня Азербайджан располагает мощной транспортной системой, в которую входят железнодорожный, морской, речной, автомобильный, воздушный и трубопроводный транспорт. Каждый из этих видов транспорта представляет собой совокупность средств и путей сообщения, а также различных технических устройств и сооружений, обеспечивающих нормальную и эффективную работу всех отраслей народного хозяйства. Участие Азербайджана в возрождении Шелкового пути служит одним из материальных предпосылок для процессов глобализации и модернизации.

Транспортировка нефти и газа, грузов евроазиатского континента, конечно, делает совершенно реальным восстановление Великого Шелкового пути. Мы находимся в начале этого процесса, что это является наиболее актуальной проблемой для евроазиатского континента и всего мирового сообщества. Реализация программы возрождения Шелкового пути позволит независимым государствам Средней Азии и Закавказья интегрироваться в Европейскую и Мировую экономику, науку и культуру. Большой толчок развитию транспортной системы республики дало активное использование энергетических ресурсов Каспийского моря. В этой связи появилась программа ИНОГЕЙТ Европейского Союза по созданию различных трубопроводов. Сейчас уже в Каспийском море реально большие месторождения нефти и газа – в азербайджанском секторе в казахстанском и других секторах. Уже проложены нефтепроводы Баку-Новороссийск и Баку-Сибса к Черному морю,

реализована программа сооружения нефтепровода Баку-Тбилиси-Джейхан протяженностью более чем 2 тысячи км. Азербайджан также является одним из наиболее активных участников проекта TRASECA. Причем именно в рамках этого проекта страна добилась развития своей транспортной инфраструктуры и многократного увеличения доходов от транспортных услуг. Транспортные компании и организации – одна из главных движущих сил современного международного рынка. В зависимости от стратегии и задач компании осуществляется выбор транспорта для доставки продукции. При этом учитываются размещение производства, технико-экономические особенности различных видов транспорта, определяющие сферы их рационального использования. На разработку этих задач необходимо ориентировать развитие международной кооперации, привлекаемый иностранный капитал и получаемые извне кредиты. Все это будет способствовать социально-экономическому развитию республики, ее интеграции в мировую экономическую систему. Современная геополитика, сложившаяся после распада Советского Союза, создала благоприятные условия для возрождения идеи Великого Шелкового пути, которая имеет в виду расширение транспортных связей во всех сферах жизни между народами мира, что при нынешнем уровне науки и техники значительно обогатит всех народов мира культурными достижениями, снимет напряжение и укрепит доверие в международных отношениях. Выгодное географическое положение Азербайджана позволяет ему играть важную

посредническую роль в этих проектах мирового масштаба, стать мостом в связях как между Западом и Востоком, так и между Югом и Севером.

Развитие транспортного комплекса Азербайджанской Республики в его взаимодействии с внешнеэкономическим комплексом предполагается по следующим направлениям: - рост конкурентоспособности отечественных перевозчиков на мировом транспортном рынке, в первую очередь, на рынке перевозок национальных экспортно-импортных грузов; - использование преимуществ географического и геополитического положения Азербайджана для организации транзитных транспортных коридоров; - создание прямых транспортных путей для транспортировки отечественного сырья на мировой рынок с целью уменьшения расходов на транзит и избежание других осложнений экономического и неэкономического характера. Как известно, программа развития транспортного коридора Европа-Кавказ-Азия (TRACECA) имеет стратегическое значение для стран Европы, Кавказа и Азии, так как способствует развитию экономик стран, увеличению грузоперевозок и налаживанию торговых связей между государствами. В азербайджанском секторе транспортного коридора Европа-Кавказ-Азия проведена большая работа по развитию и совершенствованию транспортной инфраструктуры. В современный период наблюдается рост объемов транспортировки нефти и нефтепродуктов по азербайджанскому сегменту коридора. В условиях глобализации мировой экономики необходимость логистики резко возрастает, ибо глобализация мировой экономики и современные межгосударственные глобальные логистические системы приводят не только к оптимизации общественного разделения труда и отраслевой структуры экономики отдельных стран, но и к сокращению производственных и сбытовых затрат на мировом уровне. От всего этого выигрывают как товаропроизводители, так и посредники с покупателями. В частности, активное экономическое сотрудничество между фирмами отдельных стран и континентов, в том числе обмен новейшими техническими достижениями и изобретениями способствует интеграции в различных областях деятельности и сближению уровней экономического развития отдельных стран. Например, известны примеры успешного формирования глобальных логистических систем в странах Европейского Союза, Юго-Восточной Азии, Северной Америки, благодаря которым страны, фирмы, а также товары из данных регионов стали более конкурентоспособными и востребованными. Опыт данных стран наглядно подтверждает естественное стремление стран к региональной интеграции. Этому способствуют сходство социально-экономических проблем, близость территорий, общность сырьевых и энергетических ресурсов, а также многих инфраструктурных коммуникаций, регулирование торговых и таможенных барьеров. Вместе с тем

поиск новых резервов роста и обострение конкуренции подталкивают многие фирмы на поиск новых рынков сбыта, дешевых источников сырья и трудовых ресурсов за пределами национальных границ своих стран. Последние открывают возможности для новых витков глобализации мировой экономики и логистических систем.

Созданию глобальных международных логистических систем способствуют крупные международные транспортно-экспедиторские фирмы, страховые и посреднические компании, современные средства информатики, в том числе и 4 телекоммуникационные технологии, использующие такие глобальные сети связи, как «Интернет» и средства фиксации мест расположения различных движущихся объектов (транспортных средств, в том числе вагонов, контейнеров и т.д.) и недвижимостей, типа Американского GPS и Российского ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система). Значительное влияние на формирование системы глобальной логистики оказывают процедуры де-регулирувания, проводимые многими странами для снятия торговых, таможенных, транспортных и финансовых барьеров на пути развития международных торговых, социально-политических и экономических взаимоотношений. Такие процедуры облегчают движение как товаров, так и информации и капитала через национальные границы различных стран, что для современной логистики и ее глобализации имеет решающее значение. В современных условиях развития экономики Азербайджанской республики требует поиска новых путей ускорения экономических реформ, позволяющих привлекать в страну самые передовые достижения науки, техники, технологии, а также организации управления производством и обращением. Одним из таких путей является формирование глобальных логистических систем в стране на макроэкономическом уровне. Государственные границы постепенно становятся все более прозрачными, дают все больше возможностей для свободы передвижения людей, товаров и капитала. Международная Динамика глобализации связывается с датами крупных международных событий, стимулирующих процесс глобализации. Создание Европейского Союза (Конференция Европейских сообществ в Люксембурге в 1985 г., которая приняла Европейский акт (вступил в силу в 1987 г.), провозгласивший четыре свободы в международном движении товаров, людей, услуг и капитала). Конференция ГАТТ в Пунтадель Эсте в 1986 г., открывшая Уругвайский раунд переговоров (главным образом о снижении тарифов и других ограничений в торговле), который продолжался восемь лет. Воссоединение Германии, ликвидация СЭВ и Варшавского пакта, окончание «холодной войны» и т.д.

Техническое развитие современных средств транспорта, информационных систем и технологий, связи и телекоммуникаций, гибких

автоматизированных производств создают невиданные прежде возможности для быстрого распространения информации, технологий, товаров, финансовых ресурсов. Общественный ослабление роли традиций, социальных связей и обычаев способствует мобильности людей в географическом, духовном и эмоциональном смысле. Либерализация де регулирование, либерализация таможенного, торгового, налогового законодательства многих стран, де регулирования транспорта усилили тенденцию к интернационализации экономической деятельности. Одним из проектов, в которых участвует Азербайджан, является международный транспортный проект, соединяющий северную Европу с Юго-Восточной Азией. Транспортный коридор Север-Юг позволит повысить транзитный потенциал республики. Проект берет начало в Индии и проходя через Иран, охватывает территорию Азербайджана и простирается до России и Финского залива. В рамках коридора Азербайджан объединит немалую часть мирового экономического потенциала. Реализация вышеупомянутого проекта позволит в 2-3 раза сократить период доставки грузов до потребителя. Для претворения в жизнь проекта Иран в 2006 году заключил соглашение с Индией. Индийская государственная компания «IRCON» выразила готовность построить 500 километров железной дороги от Джабахара до Захедана. Для строительства стальной магистрали выделяется 1,6 млрд долларов. Исключительное значение для превращения Азербайджана в региональный транспортный коридор имеет железная дорога Баку-Тбилиси-Карс. Надо отметить, что сданная в прошлом году в эксплуатацию дорога соединяет различные континенты. Этот стратегический проект стал возможен благодаря политической воле Президента Ильхама Алиева. Баку-Тбилиси-Карс является самой короткой и надежной магистралью между Азией и Европой. И эта дорога принесет нам экономические и политические дивиденды. Президент Турции Реджеп Тайип Эрдоган назвал дорогу «стальным шелковым путем», крепко связывающим три страны. Он отметил, что данный проект соединяет Центральную Азию с Китаем, Европу с Кавказом. Каждая станция на этой дороге превращается в станцию мира, дружбы и солидарности и посылает свой месседж всему миру» Кроме экономической значимости, железнодорожная магистраль внесет вклад в сохранение мира и стабильности в регионе. Этот фактор выдвинут на передний план в Распоряжении Президента Ильхама Алиева о претворении в жизнь мероприятий по строительству железной дороги Баку-Тбилиси-Карс, подписанного главой государства в 2007 году.

Для ускорения строительства, Азербайджанское Государство выделило Грузии долгосрочный без процентный кредит в размере 200 млн. долл. США. В документе указывается, что превращение Азербайджана в важного участника

программы ТРАСЕКА, преследующего цель создания обладающего широкими перспективами и осуществляемого в рамках восстановления исторического Шелкового пути транспортного коридора Европа-Кавказ-Азия, кроме экономической выгоды будет также способствовать установлению прочного мира на Кавказе. С этой точки зрения, проект железнодорожного пути Баку-Тбилиси-Карс приобретает для Азербайджана особое экономическое и политическое значение. На фоне ввода в строй вышеуказанной железной дороги решающее значение имеет открытие терминала RO-RO в Бакинском международном торговом морском порту. Все это в нынешний период становится приоритетом в снижении зависимости от продажи нефти.

Реализация гигантских транспортных проектов в Азербайджане носит как экономический, так и геополитический характер, потому что производимая в стране продукция не нефтяного сектора будет вывозиться на мировые рынки посредством международных транспортных маршрутов. Коридоры предоставят возможность азербайджанским предпринимателям более свободно и без больших затрат вывозить за пределы, страны свою продукцию.

В результате развития и модернизации железнодорожных путей в Азербайджане, повышения внимания к решению существующих проблем стальные магистрали республики превратятся в важнейший региональный транспортно-логистический центр и займут достойное место среди железных дорог передовых государств мира. К слову сказать, в глобализирующемся мире логистика и торговля воспринимаются одними из движущих сил экономического развития. В этом смысле расширение логистических возможностей служит не только развитию, но и способствует повышению авторитета страны в региональной и мировой торговле. В структуре зарубежной торговли Азербайджана превалирует продукция сельского хозяйства и в этой сфере создание логистических центров приобретает особое значение. Во многих регионах Республики созданы десятки агропарков с мощным логическим центром функционирующим в Западном регионе Азербайджана. В центре действует бактериологические и микробиологические лаборатории в которой проводятся анализы продукции. Холодильная камера итальянского производства типа 71ULO в вместимости 24 тысяч тон обеспечивает хранение фруктов и овощей от 25 до 270 дней, в зависимости от их сорта с минимальными потерями и сохранением качества. На производственном участке имеются два терминала, способные принимать одновременно 200т. урожая и отправлять 120т. готовой продукции. Возрастает объем грузов, перевозимых по транспортному коридору Европа-Кавказ-Азия через территорию Азербайджана. Это связано с вовлеченностью обладающего уникальными географическими и

геополитическими возможностями Азербайджана в процессы, происходящие в транспортном секторе мирового хозяйства. Другими словами, результатом реализации комплексных мероприятий, нацеленных на конкретные цели, стало эффективное использование стратегического положения Азербайджана для превращения страны в центр региональной торговли с развитыми транзитными и транспортными услугами, усовершенствованной транспортной инфраструктуры и дальнейшим повышением транзитного потенциала.

Открытие 13 августа 2018 года в поселке Локбатан Апшеронского логистического центра. Напомню, что суточная мощность обработки грузов на Великом Шелковом пути этого центра составляет 30.000 тонн, что равняется приблизительно 11 миллионам тонн в год. Планируется посредством центра вывозить за рубеж продукцию азербайджанского аграрного сектора. Апшеронский логистический центр предоставляет все услуги и гарантирует экономию времени и снижение расходов. На первом этапе предприятие на территории 28 га будет обеспечивать взаимосвязь железнодорожной и автомобильных путей и начнет оказывать логистические услуги. Для второго этапа разработан проект в 35 га. После завершения проекта центр внесет вклад в развитие логистики в Азербайджане и на Кавказе, а также будет способствовать экономическому, развитию страны. В Апшеронском логистическом центре будут сооружены терминал на 2400 контейнеров, крупный грузовой терминал объемом 21.000 тонн, крытый склад на участке в 8100 кв. м., открытая грузовая платформа и другая самая современная

техника. В центре создан рассчитанный на 200 автомобилей автопарк, построены железнодорожный мост и автомобильные пути. Здесь также возведен 3-х этажный таможенный контрольно-пропускной пункт, помещение для клиентов, а также объекты общественного пользования, административные здания, специальные комнаты для наблюдения за входом и выходом из объекта. В центре имеется железная дорога протяженностью в 12 км, 6 пунктов для приема составов, для погрузочно-разгрузочных операций в складских помещениях предусмотрены две линии для контейнеров и две линии для открытых грузов. На предприятии посредством терминала, способного обработать 3,5 млн. тонн грузов в год, будут проводиться импортно-экспортные операции, перевозка транзитных грузов. Этот важный инфраструктурный объект имеет сообщение с железнодорожными маршрутами Баку-Тбилиси - Карс, Иран - Астара - Баку, Россия-Ялама-Алят (рис 1.). После ввода железнодорожной магистрали Баку-Тбилиси-Карс на полную мощность центр предоставит возможность проводить импортно-экспортные операции с соседними государствами, более гибко осуществлять перевозки мульти модальных грузов через территорию, Азербайджана.

Для расширения экспорта из Азербайджана предусмотрено создание логистических центров за пределами страны. Наглядное свидетельство тому функционирование азербайджанского производственного и логистического центра в казахстанском городе Актау, это первый логистический центр Азербайджана за рубежом с 25-процентной государственной долей.



Рис. 1 Логистический транзитный маршрут Баку-Тбилиси -Карс, Иран -Астара -Баку, Россия-Ялама-Алят.

Объект создает благоприятные условия для вывоза из Азербайджана в Казахстан и в другие страны Центральной Азии промышленных товаров, сельскохозяйственной и продовольственной

продукции, а также импорта казахстанских изделий в нашу страну. Деятельность логистического центра имеет особое значение в налаживании торгово-экономических отношений между

Азербайджаном и Казахстаном, развития транспортной инфраструктуры в регионе, увеличения международных грузоперевозок. Центр реализует хранение сельскохозяйственной и продовольственной продукции и предоставляет предпринимателям и экспортерам ряд возможностей и преимуществ. Создание центра в Казахстане неслучайно. Наши страны имеют общее прошлое, отношения между Азербайджаном и Казахстаном всегда основывались на дружбе. В основе этих отношений, безусловно, стоят такие факторы, как близость народов, общие исторические корни, а также схожая стратегия будущего развития. Вышеупомянутое позволяет утверждать, что за последние 15 лет успешно выполнены все задачи по повышению транзитных возможностей Азербайджана. За прошедший период претворены в жизнь масштабные проекты и вложены крупные инвестиции для повышения транзитного потенциала республики. Важную роль в расширении зарубежных экономических связей страны имеют строительство международных аэропортов в Баку и регионах, автомобильных дорог международного значения в направлении транспортных коридоров Восток-Запад и Север-Юг, и обновление железнодорожных путей. Самое главное, все это расширяет возможности Азербайджана для участия в транзитных перевозках. С другой стороны, республика активно поддерживает создание больших экономических маршрутов на шелковом пути и является надежным гарантом эффективной перевозки транзитных грузов через свою территорию. Весьма высокий экономический потенциал международных транспортных маршрутов, проходящих через территорию Азербайджана. Работа в данном направлении в последние годы превратила страну в важный транспортно-логистический узел Евразии. «Стратегическая дорожная карта по развитию логистики и торговли в Азербайджанской Республике» подтверждает, что у страны есть конкретная политика с далеко идущими целями. Реализуемые комплексные проекты предусматривают привлечение региональных транзитных грузов в проходящие через Азербайджан транспортные коридоры. Реалии показывают, что наша страна уверенно движется к намеченным целям и скоро она станет

привлекательным международным транспортным узлом.

### **Л и т е р а т у р а**

1. Азербайджан. От кризиса к стабильному развитию. Региональные исследования Всемирного банка. Всемирный Банк. Вашингтон, Округ Колумбия, 2002.

2. Великий Шелковый Путь и Азербайджан: вчера, сегодня, завтра (Сборник статей). Баку. Изд. «Университет Азербайджана», 1998. Ч. Аббасов «Экономика Азербайджана на путях глобализации: предпосылки и последствия», Баку, 2006.

3. Закон Азербайджанской Республики «О транспорте», от 11 июня 1999 года. Бюллетень бизнесмена, 1999. .

4. Данные Госкомстата Азербайджана «Азербайджан в статистических показателях в 2000 г.», Баку, 2000. .

5. Ежедневная газета «Деловой Азербайджан», Баку, 2004, № 17.

6. Abbasov A. Qloballaşma şəraitində ölkənin aqrar-ərzaq təhlükəsizliyinin təmin edilməsi mexanizminin təkmilləşdirilməsi. Aqrar islahatların ilkin nəticələri və perspektivlər (respublika elmi-praktik konfransının materialları), Bakı-2003;

7. Axundzadə L.T., Əsədov A.Ə. Aqrar hüququ. Bakı: Qanun, 2003, 516 s.

#### **Ресурсы использованные из интернета:**

1. [www.regnum.ru/news/azeri](http://www.regnum.ru/news/azeri) - новости Азербайджана;

2. [www.azerbaijan.az](http://www.azerbaijan.az) – сайт Азербайджанской Республики, созданный Фондом Гейдара Алиева;

3. [www.azstat.org](http://www.azstat.org) - The State Statistical Committee;

4. [www.day.az](http://www.day.az) – информационный сайт Азербайджана;

5. [www.lnews.az](http://www.lnews.az) – сайт новостей Азербайджана;

6. [www.ereport.ru](http://www.ereport.ru) - обзорная информация по экономике;

7. [www.wto.org](http://www.wto.org) – официальный сайт ВТО;

8. [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org) – официальный сайт ВБ;

9. [www.legal.az](http://www.legal.az) – информационный юридический портал Азербайджана;

10. [www.bicusa.org](http://www.bicusa.org) – Bank Information Center.

11. [www.opentext.org.ge/caucas/18/18-14.htm](http://www.opentext.org.ge/caucas/18/18-14.htm)

12. [www.azstat.org](http://www.azstat.org) - The State Statistical Committee AR

---

**КВАРЦЕВЫЕ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ ИЗМИРАН  
НА ПОЛЯРНЫХ ОБСЕРВАТОРИЯХ И ПУНКТАХ НАБЛЮДЕНИЙ:  
ОТ АНАЛОГОВЫХ К ЦИФРОВЫМ ПРИБОРАМ**

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1506

*Любимов Владимир Валерьевич  
старший научный сотрудник*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова Российской академии наук,  
г. Москва*

---

**QUARTZ MAGNETIC VARIATION STATIONS IZMIRAN AT POLAR OBSERVATORIES AND  
OBSERVATION POINTS: FROM ANALOG TO DIGITAL INSTRUMENTS**

---

*Lyubimov Vladimir Valeryevich  
Senior Researcher,*

*Pushkov institute of terrestrial magnetism,  
ionosphere and radio wave propagation (IZMIRAN) of RAS,  
Moscow*

**АННОТАЦИЯ**

В работе представлен краткий обзор магнитометрических приборов, - кварцевых аналоговых и цифровых магнитовариационных станций, которые были созданы сотрудниками ИЗМИРАН за почти 50-летний период времени для проведения научных геомагнитных исследований в условиях Арктики и Антарктиды.

**ABSTRACT**

The paper presents a brief overview of magnetometric devices - quartz analog and digital magnetic variation stations, which were created by IZMIRAN employees for almost 50 years of time to conduct scientific geomagnetic research in the Arctic and Antarctica.

**Ключевые слова:** Магнитное поле, магнитные измерения, компонентные измерения, кварцевые магнитометры, магнитовариационная станция, аналоговые и цифровые приборы.

**Keywords:** Magnetic field, magnetic measurements, component measurements, quartz magnetometers, magnetovariation station, analog and digital devices.

**ВВЕДЕНИЕ**

Со дня своего основания ИЗМИРАН уделял большое внимание развитию магнитометрического приборостроения, а также созданию сети магнитных обсерваторий (МО) и пунктов вариационных наблюдений (ПН) [1-25]. Более полувека в институте проводятся научные исследования и работы по созданию кварцевых приборов, предназначенных для измерения магнитного поля Земли (МПЗ) и его вариаций, для регистрации наклонов, температуры и других геофизических явлений.

Особое место в ряду этих разработок занимают приборы, предназначенные для полярных геомагнитных исследований, когда требуется обеспечение их работоспособности в тяжелых климатических условиях Крайнего Севера (КС) и Антарктиды, особенно, если аппаратура работает круглосуточно в автономном режиме.

Ранее были созданы и поддерживались работы нескольких обсерваторий и геомагнитных полигонов на КС, среди которых следует отметить сеть ПН в Архангельской области (включая МО) [22, 23], а также ПН на Ямале (созданы в рамках реализации проекта «Геомагнитный меридиан 145°»). А в 1975 г. в условиях Антарктиды было положено начало реализации проекта под названием «Геофизический полигон в Антарктиде»

[13, 18], который успешно функционировал в течение долгих последующих лет.

В работе представлен краткий обзор магнитометрических приборов, - кварцевых аналоговых (АМВС) и цифровых магнитовариационных станций (ЦМВС), которые были созданы сотрудниками ИЗМИРАН за почти 50-летний период времени для проведения научных геомагнитных исследований в условиях КС и Антарктиды.

**МАГНИТОВАРИАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ  
ДЛЯ АНТАРКТИДЫ**

Антарктида, благодаря своему географическому положению, является одним из тех мест на Земле, где с помощью сравнительно простых средств – регистрации геомагнитных вариаций, - может быть получена ценная информация о динамике межпланетной среды, об особенностях взаимодействия солнечной плазмы с магнитосферой и о воздействии космических полей и частиц на ионосферу и нижнюю атмосферу Земли.

Однако суровые климатические условия затрудняют проведение геомагнитных исследований в Антарктиде. Организация МО там обходится дорого, а при создании автономных измерительных комплексов для Антарктиды возникают жесткие требования к надежности аппаратуры и экономичности в энергопотреблении.

Одним из первых руководителей проектов по созданию автоматических магнитовариационных станций (АМВС) для Антарктиды в ИЗМИРАН был известный полярный исследователь С.М. Мансуров [1, 24, 25]. Он сформулировал основные требования к АМВС, которые заключались в том, чтобы станции были выполнены в качестве так называемой «измерительной платформы» (ИП). Эта ИП должна была иметь возможность регистрации в аналоговой форме (на фото пленку) не только вариаций трех компонент МПЗ, но также и иметь возможность регистрации нескольких других параметров. Это - изменение нивелировки (ориентации в пространстве) станции в двух плоскостях, изменения температуры внутри магнитного измерительного преобразователя (МИП) и электронного блока (ЭБ), а также фиксировать температуру внешней окружающей среды. Кроме того, АМВС должна быть снабжена радиоприемником для обеспечения привязки получаемых данных к мировому времени по передаваемым сигналам точного времени, а также снабжена радиомаяком, предназначенным для облегчения поиска и обнаружения станции во время ее посещения обслуживающим персоналом один раз в год для замены фото пленки, на которую регистрировалась измеренная информация. В отличие от других изготовителей подобного рода приборов, в том числе и зарубежных, энергообеспечение станции осуществлялось от радиоактивного (и очень опасного) изотопного генератора (РИТЕГ). Были созданы несколько образцов кварцевых АМВС, которые затем были установлены сотрудниками ИЗМИРАН на ПН в Антарктиде [15], где они использовались для обеспечения научного эксперимента под названием «Геофизический полигон в Антарктиде».

В начале 1980 года был начат следующий этап работ по созданию опытной серии цифровой АМВС для Антарктиды. При создании и изготовлении АМВС (в дальнейшем этот проект получил название АМВС «Пингвин») было использовано много новых, пионерских на тот период времени, технических и конструкторских решений, которые были защищены авторскими свидетельствами [2]. По существу, это была первая

созданная в Советском Союзе автономная АМВС на основе кварцевых магнитных датчиков (КМД).

Функциональная схема АМВС и ее конструкция показана на *рис.1*. На этом же рисунке показаны схема установки АМВС на ПН и схема установки станций в рамках эксперимента «Геофизический полигон в Антарктиде», а также средство доставки приборов к ПН.

АМВС (см. *рис.1*) состоит из следующих основных блоков: блока КМД с фоторегистратором, электронного блока (ЭБ), управляющего работой станции, и изотропного термоэлектрогенератора (РИТЕГ). Блок КМД представляет собой светонепроницаемый короб (корпус), выполненный из немагнитного материала, в котором размещены кварцевые вариометры, осветители и наклономер. С внешней стороны с блоком вариометров прикрепляется фоторегистратор. АМВС, кроме информации о МПЗ, регистрирует дополнительно информацию о состоянии отдельных элементов станции и о режиме ее работы в течение года. Для этой цели кварцевые вариометры снабжены дополнительными отклоняющими катушками, к которым раз в сутки (или чаще, в зависимости от заданной программы работы) на короткий промежуток времени (5 минут) подключаются источники питания или термодатчики (ТД), имеющие на выходе аналоговый сигнал. В результате на фото пленке раз в сутки фиксируется кратковременный П-образный импульс, амплитуда которого пропорциональна величине измеряемого параметра,- температуры блока КМД, внутри термоконтейнера, внешней окружающей среды, а также ЭДС буферных аккумуляторов. Подобным образом могут быть зарегистрированы метеорологические и другие физические параметры внешней среды. Дискретная регистрация дополнительной информации на магнитограмме практически не перегружает носитель записи. Для этой же цели информация о состоянии нивелировки ИП с датчиками поступает с наклономеров на фоторегистратор также дискретно и один раз в сутки, где фиксируется в виде двух точек, ординаты которых несут информацию о величине наклона в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

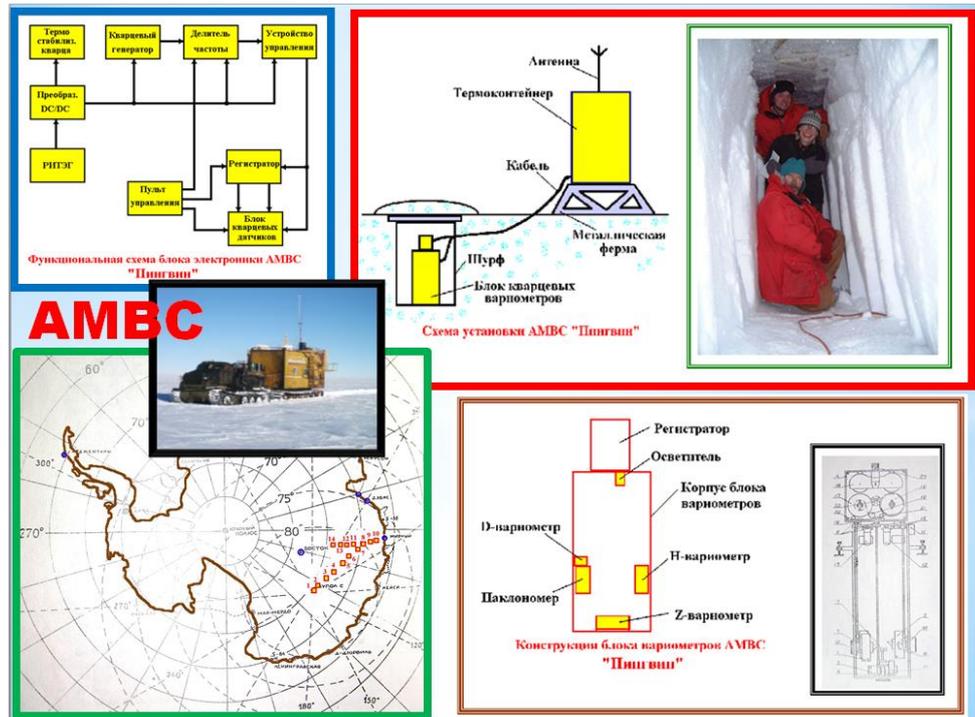


Рис.1. Аналоговая магнитовариационная станция АМВС (проект для Антарктиды).

Регистрация наклонов ИП с датчиками позволяет при последующей обработке результатов измерений вводить поправку в дрейф нуля станции за год с точностью до 1...2 нТл.

Благодаря глубоко продуманным техническим решениям и высококачественным их воплощениям АМВС ИЗМИРАН успешно проработали на геофизическом полигоне Антарктиды почти 15 лет [13, 15]. В общей сложности в экспериментах и научных исследованиях принимало участие от 5-ти (в 1975 году) до 12-ти (в 1989 году) одновременно работающих АМВС.

В соответствии с велением времени, а именно с необходимостью получения информации в цифровом виде с целью оперативной обработки данных и их передачи, ИЗМИРАН приступил к следующему этапу – созданию цифровых кварцевых магнитовариационных станций (ЦМВС).

В период с 1990 по 1993 г. творческим коллективом сотрудников ИЗМИРАН была создана новая модель ЦМВС под названием «Кварц-3» [4,

7]. Эта новая модель ЦМВС превосходила все ранее созданные кварцевые МВС по многим основным техническим характеристикам и отличалась от других моделей ЦМВС, созданных в это время в институте, запатентованной авторами оригинальной конструкцией фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) в КМД [3]. Такая конструкция ФЭП позволяла эффективно решить проблему стабильности долговременной работы КМД в меняющихся температурных условиях применения. Общий вид оборудования входящего в состав одной из созданных моделей ЦМВС «Кварц-ЗЕМ» представлен на рис.2.

Один из первых экземпляров ЦМВС под коммерческим названием «Кварц-3Е» был установлен на австралийской антарктической обсерватории «Дэвис» в 1992 г., где эта станция проработала в течение года совместно с феррозондовой станцией, принадлежащей обсерватории [5]. Фрагмент записи составляющих ВМИ в процессе работ показан на рис.2.

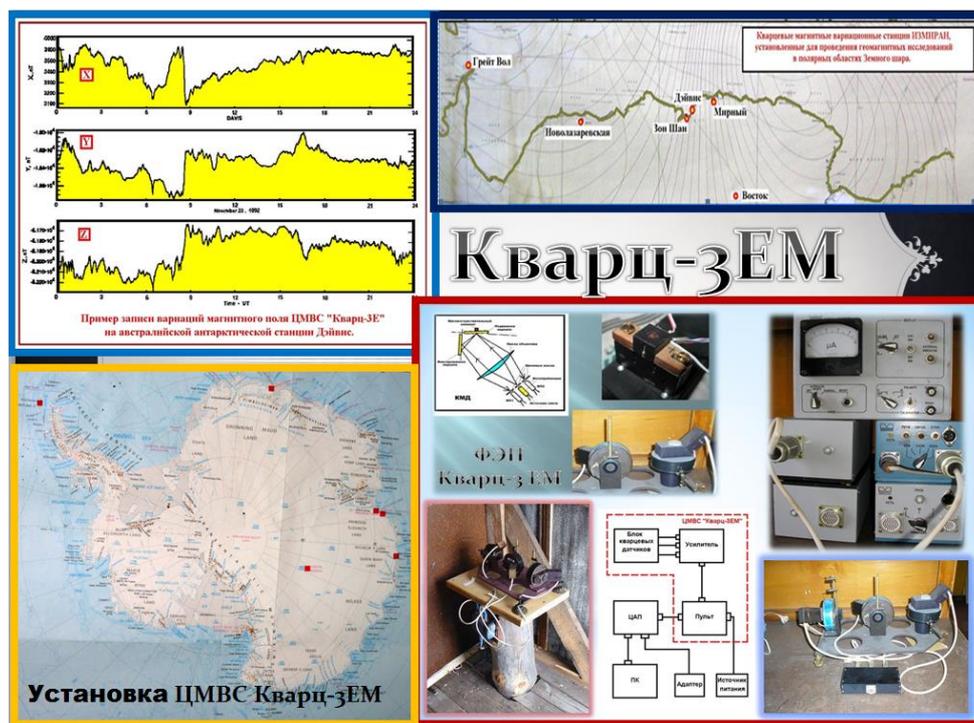


Рис.2. Цифровая магнитовариационная станция «Кварц-3EM».

ЦМВС «Кварц-3Е» была изготовлена также для Мичиганского университета США и установлена специалистами ИЗМИРАН в Антарктиде на обсерватории «Восток» [15, 17]. МИП этой станции был подключен к платформе сбора данных обсерватории «Восток», при помощи которой через американский спутник связи информация о состоянии геомагнитного поля в течение пяти лет передавалась в Мировой Центр Данных (МЦД) США в реальном времени. Данные установленных в Антарктиде ЦМВС использовались в рамках совместного проекта «Исследование высокоширотных геомагнитных явлений», осуществленного учеными ИЗМИРАН, Мичиганского университета и Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) в период с 1995 по 2000 гг.

В период с 1995 по 1998 гг. было изготовлено 5 комплектов ЦМВС «Кварц-3Е» для обсерваторий ААНИИ в Антарктиде [15, 24, 25].

На базе ЦМВС «Кварц-3Е» ИЗМИРАН совместно с Институтом геофизики АН КНР (г. Пекин) было изготовлено 5 экземпляров ЦМВС [6], два из которых были предназначены для установки и работы на китайских полярных станциях в Антарктиде – «Грейт Вол» и «Зон-Шан». Данные с этих ЦМВС в настоящее время используются учеными КНР в процессе проведения научных исследований.

На рис.2 показаны схемы установки ЦМВС «Кварц-3» для проведения научных исследований в МО и на ПН на территории Антарктиды [17].

В период с 1985 по 1990 годы под руководством В.И. Одинцова конструкторами СКБ ФП была разработана ЦМВС для Антарктиды под названием ЦМВС-6 [8, 9] и выпущена опытная

партия из 3 приборов. Однако на ПН в Антарктиде эта ЦМВС так и не была установлена.

#### ЦМВС ДЛЯ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЙ В РАЙОНЕ КС

Карта-схема сети магнитометров в районе Карского моря и полуострова Ямал, которые работали с 1972 года [13, 18] и осуществляли аналоговую запись вариаций МПЗ при помощи МВС «ИЗМИРАН-4», показана на рис.3. Кварцевые станции «ИЗМИРАН-4» [10] являлись основным инструментом для проведения в ту пору исследований, и были аналоговыми станциями с регистрацией вариаций составляющих ВМИ на фотобумагу и могли использоваться в ПН только при наличии обслуживающего персонала.

В начале 80-х годов по техническому заданию ИЗМИРАН в СКБ ФП АН СССР был осуществлён серийный выпуск 53-х ЦМВС на базе КМД под названием ЦМВС-2 [11, 12], которые при активном участии сотрудников института [13, 14, 18, 25] затем были установлены на сети МО СССР, в том числе и на ПН в районе КС (см. рис.3). В этот период времени бригада научных сотрудников ИЗМИРАН под руководством А.Н. Зайцева совместно с сотрудниками отдела геофизики ААНИИ курировала работы связанные с обеспечением работоспособности ЦМВС на ПН, проводила экспедиционные и исследовательские работы на точках наблюдений на КС [19, 20, 25]. Начиная с 1985 года часть установленных в районе КС станций ЦМВС-2 длительное время вели цифровую регистрацию данных [18, 25], в результате которой была создана и опубликована база цифровых 1-минутных данных МО и ПН (расположенных в районе КС), которые были включены в базу цифровых данных МО России за период 1984-2000 годы. [14].

В настоящее время на некоторых МО эти приборы в рабочем состоянии, однако, в большинстве обсерваторий ЦМВС-2 уже не используется, так как этот прибор морально

устарел: имеет довольно большие физические размеры и потребление энергии, а электроника не имеет прямой стыковки с современным компьютером.



Рис.3. Пункты наблюдений организованные в разные годы на КС для проведения исследований МПЗ при помощи станций ЦМВС-2 и «Кварц-3». Сеть пунктов и точек наблюдений в период с 1971 по 1991гг (схема взята из публикации А.Н. Зайцева [18]) и в период после 1992 г (схема взята из публикации Б.А. Белова и др. [15]).

Как было показано выше, в период с 1990 по 1993 гг. коллективом сотрудников ИЗМИРАН была создана новая модель ЦМВС под названием «Кварц-3». Эта новая модель ЦМВС превосходила ЦМВС-2 по многим основным техническим характеристикам. В результате ЦМВС серии «Кварц-3» (различные её модификации «Кварц-3Е», «Кварц-3ЕМ» и «Кварц-3Д»), выпущенные

общим количеством 35 приборов [18, 24], широко использовались как в России, так и в МО за рубежом. Например, на КС (в зоне полярных сияний) ЦМВС серии «Кварц-3» установлены (см. карту внизу на рис.3 и табл.1) от ПН на мысе Уэлен на востоке, - до МО «Соданкюля» (Финляндия).

Таблица 1.

ЦМВС в МО и ПН для проведения полярных геомагнитных исследований

Название пункта наблюдений	Широта	Долгота	Наименование прибора	Литературные источники
Остров Хейса	80° 37'	58° 03'	«Кварц-3»	[4, 7, 15, 17, 20, 24, 25]
Остров Визе	79° 18'	76° 59'		
Острова Известия	75° 53'	83° 06'		
Остров Уединения	75° 30'	82° 13'		
Остров Диксон	73° 33'	80° 34'		
Сопочная Карга	71° 55'	82° 42'		
Бухта Тикси	71° 35'	129° 00'		
Норильск	69° 24'	88° 06'		
Остров Преображения	74° 18'	110° 16'		
Ловозеро	68° 15'	33° 05'		
МО Соданкюля	67° 22'	26° 38'		
Уэлен	66° 10'	190° 10'		
Надым	65° 53'	72° 71'		
Сё-Яха	70° 10'	72° 30'		
Харасавэй	71° 16'	66° 83'		

Салехард	66° 53'	66° 60'		
Остров Белый	73° 15'	70° 50'	МВС	[21-25]
Карпогоры	63° 58'	44°30'		
Зон Шан	-69° 24'	76° 24'		
Мирный	-66° 33'	93° 01'		
Дейвис	-68° 35'	77° 58'	Кварц-3»	[4-7, 15, 17, 24]
Новолазаревская	-70° 46'	11° 49'		
Грейт Вол	-62° 12'	59° 00'		
Восток	-78° 27'	106° 52'		

На полярной обсерватории «Соданкюля» в Финляндии в настоящее время успешно продолжают работу две ЦМВС на основе кварцевых магнитных датчиков, одна из которых изготовлена в ИЗМИРАН («Кварц-3Е»), а другая ЦМВС изготовлена польскими специалистами на базе КМД системы **В.Н.Боброва** (ИЗМИРАН). Данные этой обсерватории используются МЦД и участвуют в системе *INTERMAGNET*.

Установленные на МО и ПН принадлежащих ААНИИ в Арктике МИП ЦМВС были подключены к системам сбора, обработки и передачи данных «Геомет» и «Георайтер».

Аналогичный эксперимент по передаче получаемых от ЦМВС данных на расстояние ИЗМИРАН осуществил в 1998 г. при участии заинтересованных организаций, в качестве которых выступили Институт космофизических исследований и аэронавтики (ИКИР) ДВНЦ и университет в г. Киото (Япония) [7, 15]. Эксперимент осуществлялся на базе полярной геофизической обсерватории (ПГО) «Тикси», принадлежащей ИКИР, где ИЗМИРАН установил ЦМВС «Кварц-3Е», а специалисты из Японии установили платформу сбора и передачи данных, к которой также был подключен протонный магнитометр. При помощи канала связи, осуществляемого через японский метеорологический спутник, данные из ПГО «Тикси» непрерывно поступали в МЦД в г. Киото. Этот канал связи существует и в настоящее время, а данные ЦМВС передаются через *Internet* и используются для вычисления индексов магнитной активности (ИМА).

Общее количество установленных на КС станций – 12. Согласно имеющейся информации из всех ЦМВС серии «Кварц-3», установленных в районе КС, работают в штатном режиме в настоящее время только 7, которые регулярно снабжают необходимой информацией магнитологов ААНИИ.

В начале 21-го века, после очевидного застоя в приборостроении в конце 90-х годов прошлого века, процесс создания новых магнитометрических приборов в ИЗМИРАН оживился. Необходимо было восстановить утерянные ранее темпы в создании новых современных МИП и магнитометров на основе современных технологий, на базе различного типа магниточувствительных датчиков (МЧД) и имеющегося многочисленного опыта в применении магнитометрической аппаратуры, в том числе и в условиях КС.

Как итог деятельности в ИЗМИРАН за последние 15 лет было создано несколько моделей различного типа и вида современных магнитометров и вариационных станций, информацию о которых можно узнать из публикаций [24, 25]. В этот период времени, на основе опыта разработок и испытаний ранее созданных различных отечественных и зарубежных ЦМВС, - была создана новая модель ЦМВС под названием «Кварц-4» [16]. Она отличалась от всех ранее созданных приборов новой конструкцией ФЭП, электронных узлов, компактностью и экономичностью МИП.

Схема построения МИП ЦМВС «Кварц-4» представляет собой функционально законченный узел, а конструктивное исполнение МИП прибора, определялось условиями его применения. Регистрация измеренных ЦМВС данных в различных вариантах её исполнения осуществлялась или на персональный компьютер (ПК), или на специально разработанные для работы в необслуживаемых или редко обслуживаемых ПН автономных накопителей цифровых данных: блоке измерения и накопления информации (БИН) или сумматоре цифровых данных (СЦД).

Особенностью ЦМВС серии «Кварц-4» в отличие от всех ранее созданных приборов такого типа являлось то, что все измерительные каналы МИП являлись взаимозаменяемыми с возможностью программной установки и отладки. При использовании прибора в условиях МО предусмотрена возможность наращивания системы путем увеличения числа измерительных каналов и накопления данных в БИН или ПК в непрерывном режиме при помощи последовательного канала связи. Таймер, управляющий работой ЦМВС, имел канал синхронизации с **GPS** и возможность коррекции хода часов реального времени. Общий вид ЦМВС «Кварц-4» и различных вариантов построения МИП, БИН и СЦД показаны на *рис. 4*. На этом же рисунке показана функциональная схема ЦМВС и фрагмент регистрации магнитной бури (МБ) на дисплее ПК.

Для района КС в период с 2007 по 2011 гг. было сделано 4 комплекта ЦМВС «Кварц-4МО» (см. *табл. 1*). Последняя модификация этой ЦМВС под названием «Кварц-4АС» [25] прошла всесторонние метрологические испытания и испытания типа во ВНИИМ и по их результатам в 2016 г. была включена в Государственный реестр средств измерений (№63306-16).



Рис.4. Цифровая магнитовариационная станция «Кварц-4МО».

В 2009-2011 гг. на базе клиники НИИ МПКС РАМН г. Надым Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) проведено открытое исследование по оценке воздействия различных типов МБ на здоровье жителей в условиях КС [19]. Был подготовлен ПН и установлен комплект ЦМВС (см. табл 1). В результате установки и использования ЦМВС "Кварц-4" на этом измерительном пункте была получена база цифровых 1-секундных данных о вариациях МПЗ за период времени в полтора года. Фрагменты записи ЦМВС, – суточные магнитограммы с зарегистрированными МБ, – представлены на рис.5.

В результате использования данных ЦМВС и проведённых исследований группой исследователей-медиков НИИ выявлено, что с увеличением значений ИМА (К-индекса) наблюдалось ухудшение общего самочувствия и умственной работоспособности обследуемых пациентов клиники. После прохождения МБ выявлены достоверные связи физической работоспособности обследуемых людей также и с перепадами атмосферного давления и влажностью воздуха.

Проведённые исследования и их анализ позволили медикам классифицировать МБ по их влиянию на здоровье людей живущих на КС.



Рис.5. Пункт наблюдений НИИМПКС РАМН в Надыме и результаты зафиксированных ЦМВС «Кварц-4» магнитных возмущений и бурь.

По двустороннему соглашению между Администрацией ЯНАО и ИЗМИРАН было принято решение о восстановлении магнитно-вариационных наблюдений в поселке Сё-Яха в центре Ямала (там ранее в 80-е годы была установлена ЦМВС-2 [19, 24]). А.Н. Зайцевым было предложено установить ЦМВС при школе-интернате в поселке Сё-Яха в качестве основы программы дополнительного образования учащихся школы по теме «Возмущения магнитного поля на Ямале как проявления космической погоды».

В результате проведённых в ИЗМИРАН работ в рамках Государственного контракта был создан и прошёл метрологические испытания в МО «Москва» комплект ЦМВС «Кварц-4» [19, 24], который был адаптирован под условия работы на КС. Этот прибор совместно с другим комплектом ЦМВС, который был предназначен для выполнения опытно-методических работ, был доставлен сотрудниками института по месту его назначения (см. *табл.1*).

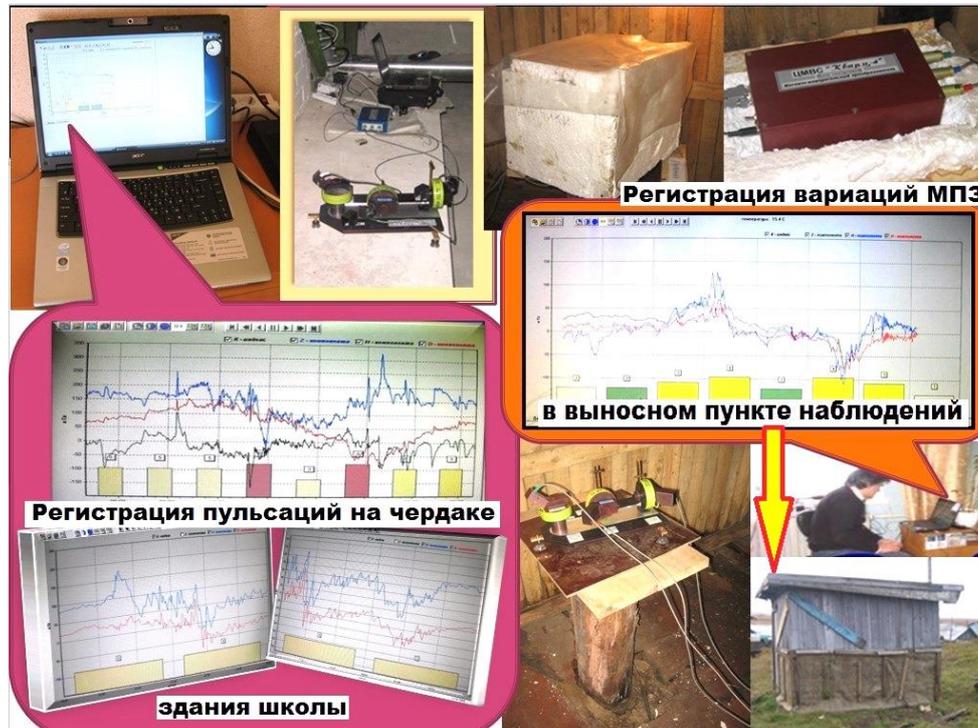


Рис.6. Пункт наблюдений в поселке Сё-Яха и фрагменты магнитограм зафиксированных при помощи ЦМВС «Кварц-4».

На *рис.6* показано фото места установки регистрирующей аппаратуры - пункта регистрации наблюдений ЦМВС, организованном на третьем этаже школы-интерната в помещении кабинета информатики. На этом же рисунке показаны первые полученные с результаты - магнитограммы записей вариаций составляющих ВМИ поля Земли на двух разнесённых ПН на территории школы-интерната посёлка Сё-Яха (в чердачном помещении) и на выносном ПН (немагнитном павильоне) расположенном вне её, на расстоянии 150 м от здания школы.

В настоящее время этот ПН временно законсервирован.

Летом 2013 года в рамках сформулированной научным сообществом программы проекта «Полярная геофизика Ямала» были осуществлены практические шаги по оснащению ПН на КС современными приборами. Модернизированная ЦМВС «Кварц-4» была установлена сотрудниками ИЗМИРАН на ПН «Харасавэй» [18, 19, 24, 25]. Регулярные данные от ЦМВС стали поступать в

режиме реального времени в ИЗМИРАН уже в июле 2013 года.

На *рис.7* показан общий вид МИП ЦМВС, установленной в павильоне (см. фото), а также представлены фрагменты полученных при испытании ЦМВС магнитограмм в ИЗМИРАН и в процессе проведения методических работ на ПН.

В настоящее время ПН «Харасавэй» оборудован и обслуживается сотрудниками предприятия «Добыча-Надым», которые и осуществляют надзор за состоянием и работоспособностью ЦМВС. Получаемые из этого ПН цифровые данные и графики вариаций составляющих ВМИ поля Земли в реальном времени можно увидеть на сайте ИЗМИРАН.

На сегодняшний день на территории ЯНАО работает 5 ЦМВС, осуществляющих передачу в реальном времени в ИЗМИРАН данных о состоянии магнитного поля Земли. Первый прибор, как показано выше, был установлен в 2013 году в пос. Харасавэй, второй и третий в 2015 году - на острове Белый и в пос. Горнокнязевск на

территории  
комплекса.

природно-этнографического

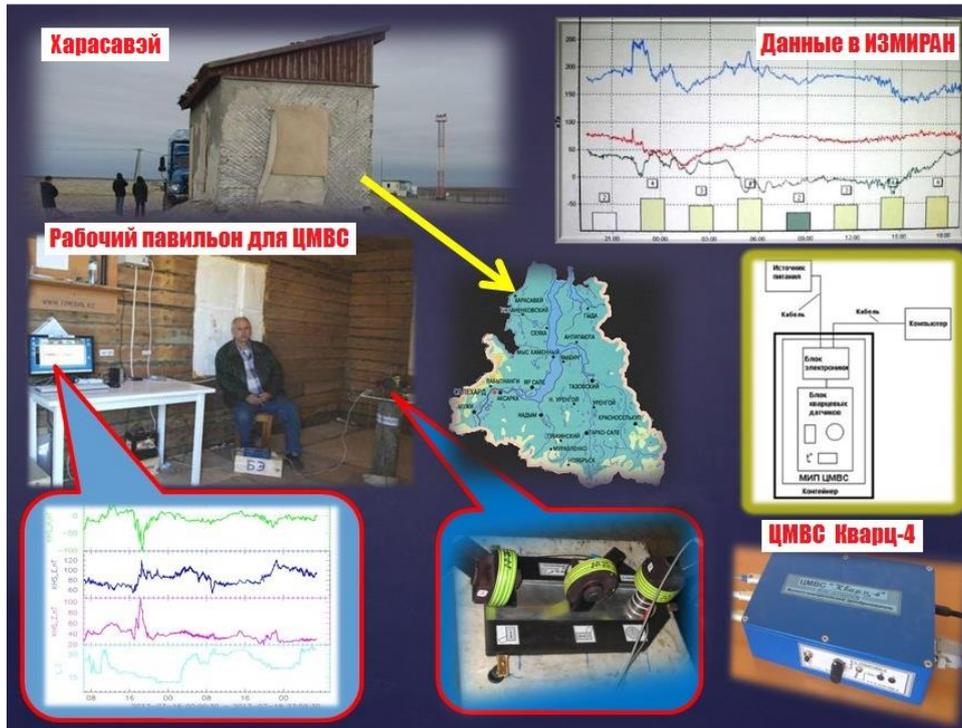


Рис.7. Пункт наблюдений Харасавэй и фрагменты записи элементов МПЗ.

В последние годы различными творческими группами сотрудников ИЗМИРАН были (на основе ранних конструкций КМД) созданы разные варианты кварцевых ЦМВС, некоторые из них в настоящее время установлены и работают на МО и ПН в районе КС [20, 24, 25].

На протяжении более десятка лет недалеко от г. Карпогоры (Архангельской области) в пос.

Ваймуша сотрудниками ИЗМИРАН был организован научный стационар для проведения постоянных обсерваторских наблюдений. Там была установлена МВС конструкции К.Х. Канониди (см. табл.1) [21-23], которая является современным цифровым обсерваторским магнитометрическим прибором с возможностью передачи измеренных данных по сети сотовой телефонной связи.

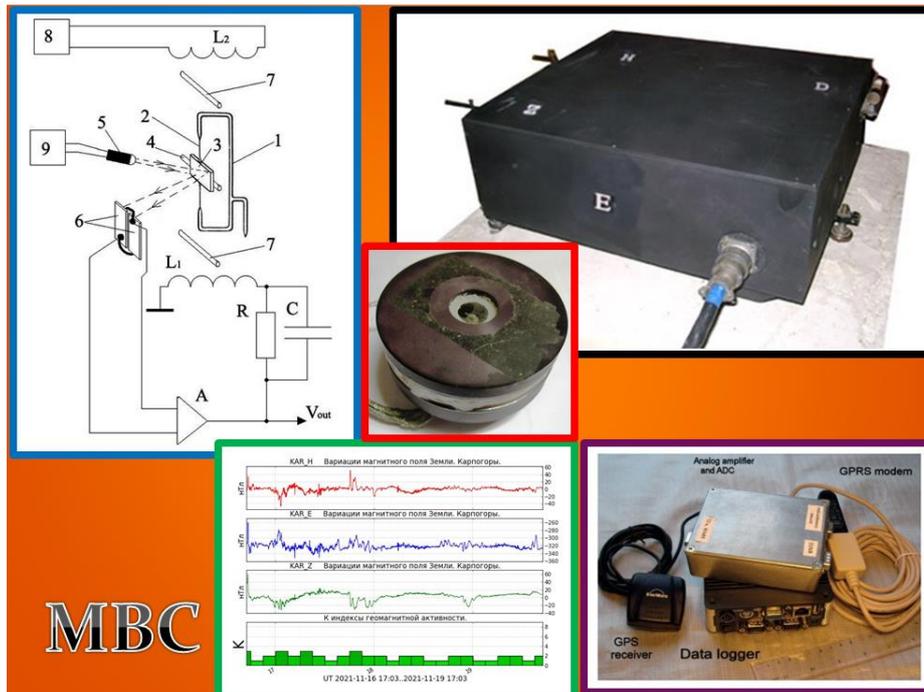


Рис.8. Цифровая МВС, установленная на некоторых ПН в районе КС и фрагмент магнитограммы, зафиксированной на ПН «Карпогоры».

Общий вид МВС показан на рис.8. На этом же рисунке показаны функциональная схема ФЭП применяемого в МВС, а также фрагмент трехсуточной записи составляющих ВМИ поля Земли и ИМА на ПН «Карпогоры». Цифровые

данные с этого ПН в настоящее время поступают в реальном времени в ИЗМИРАН.

Основные технические и эксплуатационные характеристики некоторых созданных моделей упомянутых выше ЦМВС для научных полярных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Цифровые кварцевые магнитовариационные станции

Основные технические характеристики	Цифровые кварцевые магнитовариационные станции ИЗМИРАН					
	ЦМВС-2	Кварц-ЗЕМ	ЦМВС-2/2000	Кварц-4	МВС	Кварц-4МО
Наименование ЦМВС	1982	1990-1993	2000	2005	2006	2006-2016
Год выпуска	1982	1990-1993	2000	2005	2006	2006-2016
Количество выпущенных приборов	53	30	1	2	1	20
Измеряемые компоненты	H, D, Z	H, D, Z	H, D, Z, V	H, D, Z, t	H, D, Z	H, D, Z, t
Диапазон измерений, нТл	0...1999	0...±(1000...5000)	0...±2000	0...±2000	0...±2000	0...±(2000...7000)
Разрешающая способность, нТл	0,1	0,05	0,1	0,1 (0,001)		0,1 (0,001)
Частотный диапазон, Гц	0...3	0...5 (15)		0...5		0...(5-10)
Цикл измерения, с		6	60 (осреднение)	0,01...3600 (прогр.)	1	0,01...3600 (прогр.)
Аналоговый выход (выход), В	-	0...±10	0...±2,5	0...±3,7		0...±2,5
Рабочий диапазон температур БД, °С		-30...50	-40...50 (0...50)	5...35	15...25	-20...50
Разрядность АЦП	-	-	16	16		24
Объем памяти (объем ОЗУ), Мб	0,016	1 (8)		32		16...32
Тип интерфейса		RS-232	RS-232 (р/канал)	RS-232, RS-485	RS-232	RS-232, RS-485
Способ представления результатов	-	ГМД, ПК	ПК	ПК	ПК	БИН, СЦД, ПК
Скорость вывода информации, бод	100	9600		115200		9600...115200
Тип накопителя информации	ЦД, НМЛ	ГМД, ПК	ПК	СЦД, ПК	ПК	БИН, СЦД, ПК
Питание от источника 220 В, 50 Гц	да	БП		БПС-Д 12-1		СА (=12±5 В)
Питание от источника пост. тока, В	10	5, 12		9...15	12	7...24
Потребляемая мощность от источника переменного тока, В.А	100		10			
Потребляемая мощность от источника постоянного тока, Вт	30	<3,6	3	<5	2	<2,7
Габаритные размеры БД, мм	650x280x250	400 x 300 x 200	650x280x250	600x500x250	600x300x150	375 x 160 x 80
Габаритные размеры ИБ, мм	486x502x170	152 x 83 x 50	130x140x60	240 x 165 x 86		240 x 165 x 56
Масса станции (общая), кг	50	<5 (12)		<17	10	9,1
Регистрация в Гос. Реестре СИ	-	-	-	-	№35089-07	№63306-16

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что, начиная с 70-х годов прошлого столетия, ИЗМИРАН внес огромный вклад в полярные геомагнитные исследования, создавая надежные приборы и оборудование для обеспечения этих научных исследований. Следует также отметить тот факт, что в настоящее время вариационные станции ИЗМИРАН успешно продолжают нести свою вахту в условиях сурового климата Арктики и Антарктиды.

Цифровые и визуализируемые суточные аналоговые данные некоторых из этих цифровых МВС и ЦМВС на ПН в районе КС в настоящее время можно наблюдать в реальном времени на сайте геофизических данных ИЗМИРАН по адресу: <https://forecast.izmiran.ru/index.php>.

Уже в настоящее время в институте создан ряд конструкций и опытных образцов ЦМВС на основе КМД, которые развивают эту тематику и обладают новыми более высокими техническими и эксплуатационными характеристиками [25]. При этом в разработках используются новые возможности и технологии по обмену, передаче и хранению получаемых данных.

## Литература.

1. Бурцев Ю.А., Мансуров С.М., Тимофеев Г.А. Автономная вариационная станция для геомагнитных исследований в Антарктиде // Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977. С. 60-64.
2. Бурцев Ю.А., Ушаков В.В., Майсурадзе П.А., Соколов В.П. Авторское свидетельство №409173. Бюллетень изобретений №48. 1973.
3. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Мурашов Б.П. Оптическая система фотопреобразования угловых смещений. Авторское свидетельство СССР №1021941. Опубликовано в БИ №21, 1983.
4. Высокостабильная 3-компонентная кварцевая магнитовариационная станция «Кварц-ЗЕМ». Проспект ИЗМИРАН. Троицк, 2004. – 4 с.
5. Papitashvili V.O., Belov V.A., Burtsev Yu.A. and all. Comparison of high resolution quartz and fluxgate magnetometer data recorded at Davis. Antarctica // ANARE Res. Notes 95 edited by R.J.Morris. 1996.
6. Liu Chang Fa, Zang Ping, Liu Chujie, Wagjuyi and Zhang Weix. Geomagnetic digital recording system and observation at Beijing geomagnetic observatorycenter of China // Workshop of

geomagnetic observatories data acquisition and processing. Paris. 1992.

7. Бурцев Ю.А. Магнитовариационная станция Кварц-3Е в международных исследованиях // Сборник «Материалы международной школы-семинара по компьютерной автоматизации и информатизации». М.: МГУ, 2000. С. 89-91.

8. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-6. Проспект СКБ ФП Института общей физики АН СССР, 1987. – 2 с.

9. Odintsov V.I. and Zaitzev A.N. The digital magnetic variation station CMVS-6: construction and principle of operation // IAGA Bulletin, 1989. No.53. P. 276.

10. Бобров В.Н. Трехкомпонентная полевая магнитовариационная станция “ИЗМИРАН-4” // Геомагнетизм и аэрономия. М., 1965. Т. 5, № 5. С. 892-895.

11. Колесник В.Е., Одинцов В.И. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-2 // Геомагнитные исследования. М.: Радио и связь, 1982. №30. С. 22-33.

12. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-2. Проспект СКБ ФП. М.: НТО АН СССР, 1982. – 2 с.

13. Зайцев А.Н. Исследования в Арктике и Антарктике // Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли. М.: Наука, 1989. С. 315-327.

14. Амиантов А.С., Зайцев А.Н., Одинцов В.И., Петров В.Г. Вариации магнитного поля Земли: База цифровых данных магнитных обсерваторий России за период 1984-2000 гг. (брошюра и оптический диск CD-ROM). М.: СтройАрт, 2001. – 52 с.

15. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кузнецов В.Д., Любимов В.В. Кварцевые магнитные вариационные станции ИЗМИРАН в полярных геомагнитных обсерваториях и исследованиях // Материалы Международного семинара «170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современное состояние». Екатеринбург, 17-23 июля 2006 г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. С. 24-28.

16. Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровая магнитовариационная станция «КВАРЦ-4» // Датчики и Системы / Новые приборы. М.: «ООО СенСиДат», 2006. №1. С. 45-48.

17. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кузнецов В.Д. Кварцевые вариометры ИЗМИРАН на мировой сети магнитных обсерваторий // Экономика и производство. / Технологии, оборудование, материалы / Журнал организаторов производства. М., 2008. №4. С. 55-57.

18. Зайцев А.Н., Зайцев Н.А. Исследования полярных геомагнитных возмущений – от прошлого к будущему // Материалы II школы-семинара «Гординские чтения», Москва, 21–23 ноября 2012 г. М.: ИФЗ РАН, 2013. С. 62-64.

19. Любимов В.В. К 45-летию геомагнитных исследований ИЗМИРАН на Крайнем Севере: Методические работы, организация пунктов наблюдений и научные исследования с применением цифровых магнитометрических приборов // Проблемы научной мысли / Fizika: Geofizika. Г. Днепр: ООО Каллистон, 2018. Volume 3, №12. С. 3-21.

20. Любимов В.В. К 45-летию геомагнитных исследований ИЗМИРАН на Крайнем Севере: История создания и применения цифровых магнитометров (Обзор) // Уральский научный вестник. Физика: Геофизика. г. Уральск: ТОО Уралнаучкнига, 2018. Volume 2 № 8, С. 3-14. DOI: 10.5281/zenodo.2565661

21. Трёхкомпонентная цифровая магнитовариационная станция МВС. Руководство по эксплуатации. Троицк: ИЗМИРАН, 2006. – 14 с.

22. Кузнецов В.Д., Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Ружин Ю.Я. Карпогорский научный стационар ИЗМИРАН // Материалы международной конференции «Развитие академической науки на родине М.В. Ломоносова». Архангельск, 2011. С. 109-114.

23. Канониди К.Х., Канониди Х.Д., Петров В.Г. Развитие сети геомагнитных наблюдений ИЗМИРАН // Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли. М.: ИЗМИРАН, 2015. С. 77-87.

24. Любимов В.В. К 80-летию ИЗМИРАН: цифровые кварцевые магнитовариационные станции (история их создания и применения) // Евразийское научное объединение. М., 2020 №4 (62). С. 480-493. DOI: 10.5281/zenodo.3818532

25. Любимов В.В. Кварцевые датчики магнитного поля, магнитовариационные станции и приборы на их основе (Библиография) // Евразийское научное объединение. М., 2020 №5 (63). С. 130-144. DOI: 10.5281/zenodo.3888083

**МАГНИТОМЕТРЫ НА БАЗЕ ФЕРРОЗОНДОВЫХ ДАТЧИКОВ  
ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1507

*Любимов Владимир Валерьевич**старший научный сотрудник**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн**им. Н.В. Пушкова Российской академии наук,**г. Троицк***АННОТАЦИЯ**

Работа посвящена описанию созданных в ИЗМИРАН магнитометров на базе феррозондовых датчиков магнитного поля. Эти модели приборов предназначены для проведения научно-исследовательских и специальных работ в различных условиях, в том числе и для работы в поле.

**ABSTRACT**

The work is devoted to the description of the created in IZMIRAN magnetometers based on fluxgate magnetic field sensors. These models of devices are designed for research and special work in various conditions, including work in the field.

**Ключевые слова:** Магнитное поле, магнитные измерения, компонентные измерения, феррозондовые магнитометры, феррозондовые градиентометры, феррозондовые датчики.

**Keywords:** Magnetic field, magnetic measurements, component measurements, fluxgate magnetometers, fluxgate gradientometers, fluxgate sensors.

**ВВЕДЕНИЕ**

На протяжении последних двадцати лет в условиях ИЗМИРАН приборостроителями было разработано и создано ряд моделей различных магнитометров на базе феррозондовых датчиков (ФД). Эти приборы, наряду с заданными специальными целями и параметрами, должны были обладать такими необходимыми характеристиками, как удобством применения в полевых и лабораторных условиях, надежностью, простотой в обращении и низкой стоимостью.

Созданные приборы позволили проводить изучение постоянных и переменных магнитных полей (МП), их пространственные характеристики и градиенты, а также проводить анализ и мониторинг окружающих электромагнитных полей (ЭМП).

Описанию некоторых из созданных уникальных моделей магнитометров, их применению и посвящена данная работа.

**НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРОВ И ИХ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Созданные магнитометры используют в своих схемах в качестве чувствительного элемента ФД различных типов и конструкций как отечественного, так и зарубежного производства. Приборы создавались для научных специальных исследований, но они могут быть использованы в магнитных обсерваториях (МО), а также для проведения исследований в области магнитобиологии и для поисковых работ.

**Регистратор магнитной активности (РМА) IDL-09** является компонентным магнитометром (КМ), выполненным на основе однокомпонентного ФД и предназначенным для измерения в реальном времени, регистрации, хранения, анализа и представления данных измерений вариаций одной из составляющих вектора магнитной индукции (ВМИ) поля Земли (**D, H, Z, X, Y**). РМА также может использоваться для исследования полей,

создаваемых искусственными источниками, для систем, служащих для привязки и ориентации объектов по МП.

РМА автоматически регистрирует и отслеживает текущие магнитные возмущения путем расчета и визуализации в реальном времени индекса магнитной активности (ИМА). Основное назначение РМА, - работа в процессе проведения медицинских и магнитобиологических исследований.

Прибор может использоваться на суше в помещениях любого типа и размера, в условиях обсерватории, в полевых условиях и в качестве автономной станции. Прибор может использоваться для оценки интенсивности магнитной бури (МБ) по величине склонения магнитного поля Земли (МПЗ) в любом районе Земного шара в реальном масштабе времени.

РМА может быть использован для определения величины и местонахождения "вредных" ЭМП и возмущений искусственного происхождения, оказывающих воздействие на человека на его рабочем месте.

РМА **IDL-09** выполнен в виде лабораторного прибора и состоит из двух основных блоков: блока датчика (БД), установленного на устройстве поворотном (УП) и блока измерения и накопления (БИН) информации, которые соединены между собой кабелем длиной 5 м. В приборе использован отечественный ФД разработки ЦНИИ им. Н.А. Крылова. Общий вид прибора показан на *рис.1*.

РМА **IDL-09** имеет три диапазона для измерений вариаций МПЗ:  $\pm 1$ ,  $\pm 10$  и  $\pm 100$  мкТл. Цена единицы счета младшего разряда цифрового отсчетного устройства для каждого из измерительных диапазонов при регистрации постоянного и переменного МП составляет  $\pm 1$  нТл, цикл автоматических измерений прибора лежит в пределах от 0,1 до 60 с и устанавливается программно.

Объем энергонезависимой памяти (ЭП) для регистрации измеренных данных 1 Мбайт. Такой объем ЭП позволяет РМА проводить непрерывные измерения с циклом 0,1 с и накапливать данные в течение 8 часов, а при использовании стандартного обсерваторского режима с усреднением данных на минутном измерительном интервале объема

встроенной ЭП хватает на регистрацию данных в течение более чем 200 суток.

Передача накопленных данных осуществляется в персональный компьютер (ПК) по последовательному протоколу (RS-232) со скоростью 38400 бод.

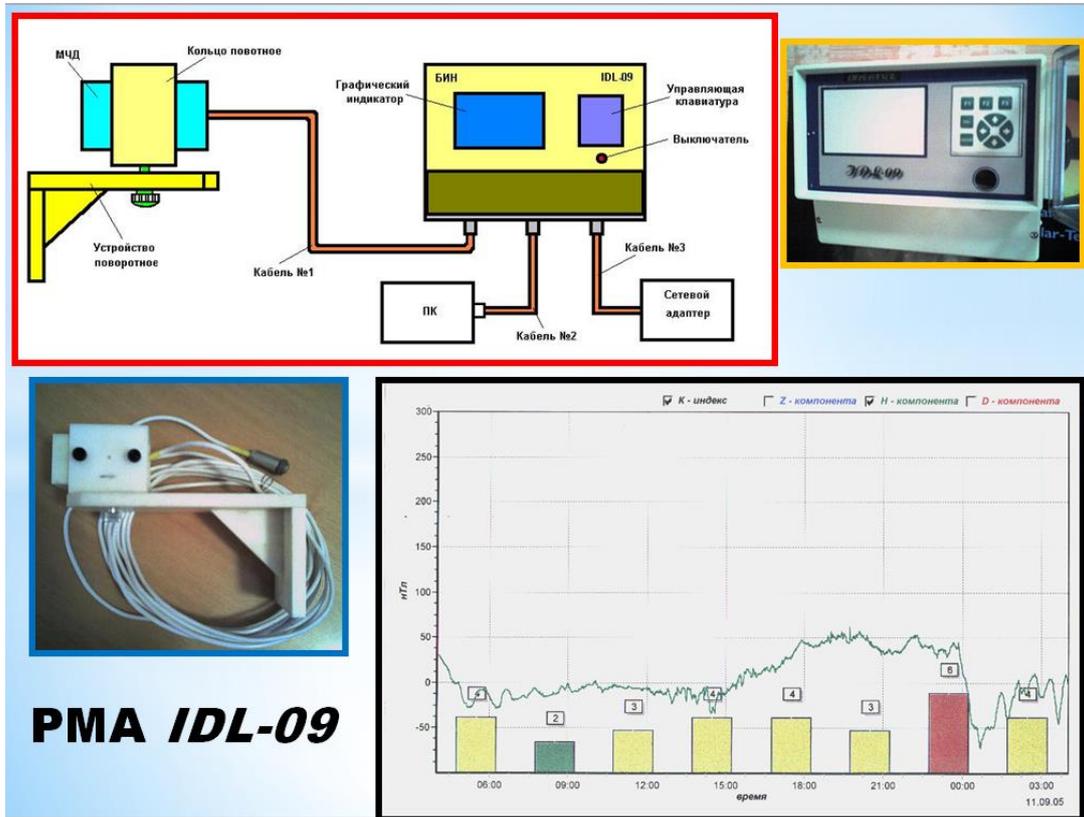


Рис. 1. Схема соединения и конструкция РМА IDL-09 и фрагмент регистрации D-составляющей ВМИ и ИМА.

Питание прибора осуществляется от источника постоянного тока (ИПТ) напряжением 9...12 В. Предусмотрена возможность питания прибора от сети переменного тока напряжением 220 В  $\pm 10\%$ , (50 Гц) при помощи стандартного сетевого адаптера (СА) стабилизированным напряжением 10 В. При этом мощность потребления от ИПТ составляет не более 1,5 Вт.

Габаритные размеры и масса РМА:

- прибора в упаковочной таре МЧД 50 x 40 x 40 мм (0,3 кг);
- блока измерения и накопления (БИН) 260 x 210 x 150 мм (1,0 кг);
- устройства поворотного (УП) 80 x 180 x 90 мм (0,6 кг);
- всего 300x400x220 мм (4,5кг).

В рабочих условиях прибор обеспечивает измерение и регистрацию МП непрерывно и круглосуточно с сохранением своих технических характеристик.

**Магнитометр феррозондовый двухканальный (МФД) IDL-12** является высокочувствительным КМ, предназначенным для одновременного измерения в реальном времени, регистрации и представления данных измерений

вариаций двух составляющей ВМИ поля Земли (D, H, Z, X, Y, T). МФД также может использоваться для исследования полей, создаваемых искусственными источниками, для систем, служащих для привязки и ориентации объектов по МП и для медико-биологических исследований.

Общий вид магнитометра IDL-12 показан на рис.2. На этом же рисунке показана функциональная схема прибора и фото применяемых ФД типа FLC 100 фирмы Stefan Mayer Instruments.

МФД IDL-12 выполнен в виде лабораторного прибора, который состоит из следующих основных блоков, - блока индикации (БИ) и двух одинаковых МИП. Эти МИП соединены с БИ при помощи кабелей длиной 1,5...2,5 м. Оба МИП (см. рис.2) выполнены на основе однокомпонентного ФД, каждый из которых имеет диапазон для измерений вариаций МПЗ - 0 ...  $\pm 100$  мкТл.

Цена единицы счета младшего разряда цифрового отсчетного устройства для каждого из измерительных каналов прибора при регистрации МП составляет  $\pm 1$  нТл.

Цикл автоматических измерений прибора лежит в пределах от 0,1 до 60 с и устанавливается при помощи ПК программно. Визуализация измеренных данных осуществляется при помощи двухстрочного цифрового индикатора (ЦИ). Передача измеренных данных осуществляется в ПК

по последовательному протоколу (RS-232) со скоростью 38400 бод.

Относительная погрешность измерения поля для каждого измерительного канала прибора составляет не более 2%. Напряжение постоянного тока на аналоговом выходе каждого из измерительных каналов прибора составляет  $\pm 2,5$  В.

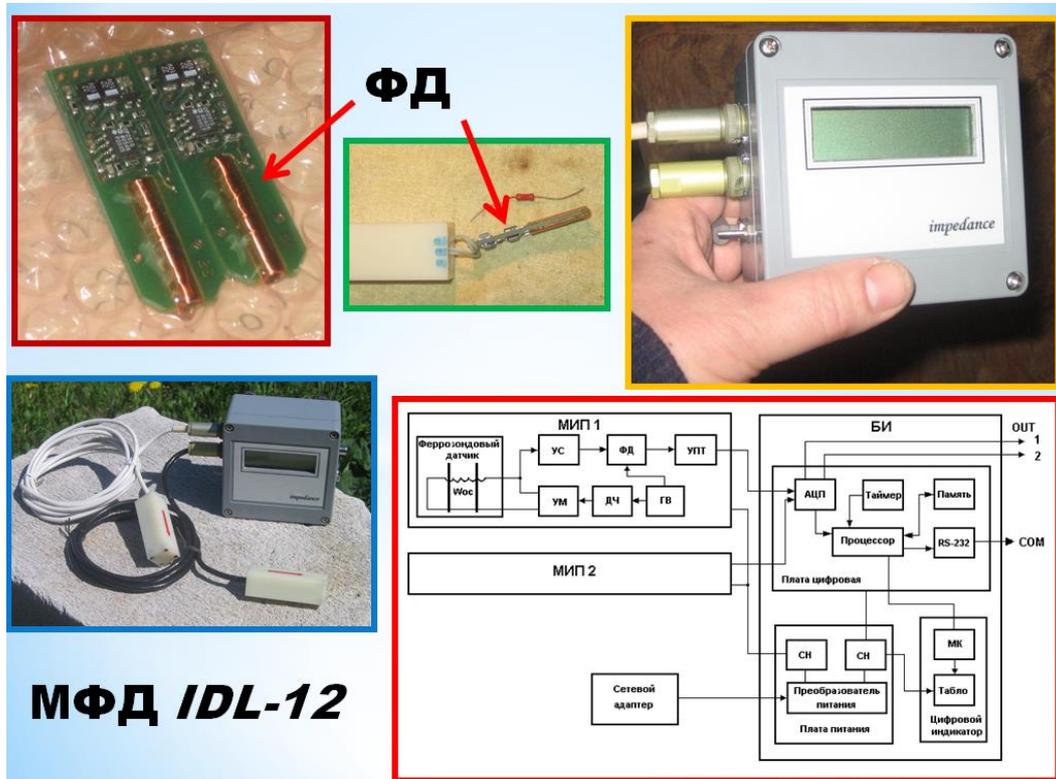


Рис.2. Общий вид магнитометра МФД IDL-12 и ФД, а также его функциональная схема.

Напряжение питания прибора от ИПТ составляет 9...12 В. Типовое напряжение питания - 10 В. Мощность потребления от ИПТ не более 1,5 Вт. Диапазон рабочих температур в пределах от 10 до 40 °С.

Габаритные размеры и масса:

- магнитоизмерительного преобразователя (МИП) 20 x 20 x 63 мм (0,1 кг);
- блока измерения (БИ) 100 x 100 x 50 мм (0,5 кг).

**Интеллектуальный магнитометр-градиентометр (ИМГ) IGF-02 "GRADIMAG"** является высокочувствительным прибором, предназначенным для измерения линейного градиента МП, его вариаций в статике, для исследования полей, создаваемых искусственными источниками, и для специальных целей. ИМГ может использоваться на суше, в полевых условиях для проведения геофизических и научных исследований и поисковых работ, использоваться в качестве автономной стационарной вариационной станции, работать в режиме «магнитных весов» для определения намагниченности различных предметов.

ИМГ выполнен в виде переносного прибора и состоит из двух основных частей: блока датчиков (БД) и БИН, соединенного с БД при помощи кабеля длиной 1,4 м. Общий вид прибора и его вариантов показан на рис.3. На этом же рисунке показаны конструкция ИМГ, фото используемого ФД и фрагмент регистрации данных в процессе поисковых работ на дисплее БИН.

БД выполнен на основе двух однокомпонентных ФД типа FGM-3 фирмы Speake&Co, центры которых отстоят друг от друга на расстоянии 1 м, а оси которых, - расположены на одной линии. Тем самым организована «жесткая измерительная база» прибора.

Режим работы ИМГ непрерывный, автономность работы определяется ресурсом источника питания. В стационарном варианте работы прибора (в режиме вариационной станции) БД ставится в горизонтальной плоскости на немагнитные подставки-пяточки и при помощи юстировочных винтов точно фиксируется горизонтально в заданном направлении «измерительной базы». В походном варианте БД используется наплечный ремень, при этом юстировочные винты могут быть сняты.

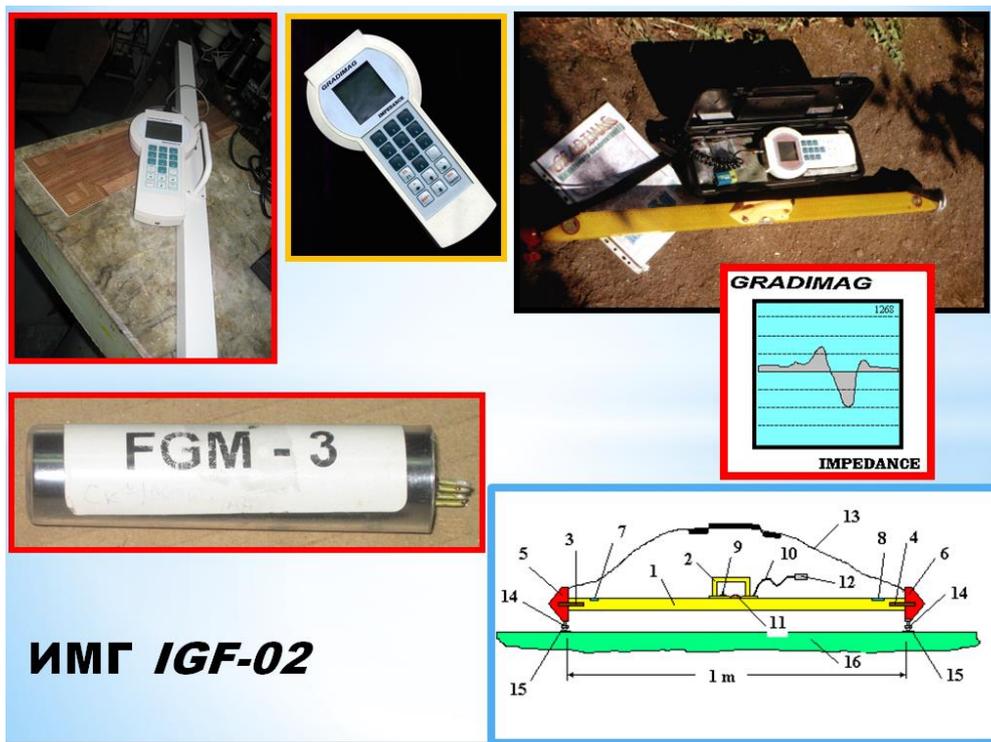


Рис.3. Общий вид конструкции ФД, БД и БИН ИМГ IGF-02, а также фрагмент регистрации градиента МП на измерительной базе ИМГ в процессе проведения поисковых работ.

Корпус БД, имеющий прямоугольную форму, выполнен из немагнитного материала. Масса БД вместе с соединительными кабелем и разъемом в походном варианте составляет не более 0,35 кг. Основой конструкции БИН является пластмассовый корпус (см. рис.3), на передней панели которого расположен графический индикатор (ГИ) и пленочная 18-ти кнопочная клавиатура. При помощи клавиатуры происходит управление работой всего прибора и установка режимов визуализации измеренных данных на ГИ, а также комментариев при фиксации измеренных данных в память прибора.

ИМГ является векторным прибором, работающим в диапазоне полей  $\pm 50$  мкТл и имеет три измерительных диапазона для измерения линейного градиента МП:  $\pm 100$ ,  $\pm 1000$  и  $\pm 8000$  нТл. При этом возможно программное масштабирование регистрации данных на ГИ в сторону увеличения разрешающей способности. Цена единицы счета младшего разряда цифрового отсчетного устройства БИН для всех измерительных диапазонов составляет  $\pm 1$  нТл. Максимальный цикл автоматических измерений **0,1** с. В приборе предусмотрена возможность изменения цикла автоматических измерений программно.

Объем ЭНП для регистрации измеренных данных 1 Мбайт. Этот объем памяти прибора позволяет проводить непрерывные измерения с циклом 0,1 с и накапливать данные в течение 8 часов. Передача накопленных данных осуществляется в ПК со скоростью 9600 бод по последовательному протоколу.

Напряжение питания прибора от ИПТ в пределах от 9 до 12 В. Предусмотрена возможность питания от сети переменного тока при помощи стандартного СА. В приборе предусмотрена возможность контроля напряжения источника питания на ГИ.

Мощность потребления прибором энергии от ИПТ не более 1,0 Вт.

Габаритные размеры и масса отдельных блоков ИМГ:

- БД 1050 x 47 x 17 мм (0,6 кг);
- БИН 228 x 115/72 x 48 мм (0,4 кг).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведения исследовательских работ было разработано и создано несколько моделей магнитометров на базе ФД, которые нашли свое применение в различных научных исследованиях. Так, например, РМА IDL-09 успешно использовался при проведении медицинских исследований в одной из клиник г. Москвы. В процессе исследований выявлялись корреляционные связи здоровья пациентов с метеорологическими и геофизическими факторами путем регистрации в условиях города и клиники МБ и ИМА в непрерывном режиме за продолжительный промежуток времени. МФД IDL-12 был создан для одного из медицинских исследовательских центров г. Новосибирска, где проводятся исследования влияния гипогомагнитных полей на живой организм, который помещался в магнитной камере (МК) с ослабленным МП. При этом один из МИП устанавливался в МК, а другой, - вне ее.

ИМГ IGF-02 использовался при проведении исследовательских работ в МО «Москва» в качестве «магнитных весов» для исследования

элементов и деталей и датчиков создаваемых новых магнитометров на «немагнитность» перед и после их механической обработки. Некоторые модели этого прибора также использовались при проведении поисковых полевых работ, связанных с обнаружением в земле и над водной поверхностью металлических объектов, кабелей и трубопроводов

#### Литература.

1. Любимов В.В. Диагностические магнитометры на основе аморфных феррозондовых датчиков: реализация и проекты // Евразийский союз учёных. (ЕСУ). М., 2018. №12 (57). 3 часть. С.31-36.

2. Любимов В.В. Обзор по магнитометрам, созданным в ИЗМИРАН. Часть 3: Приборы для медико-биологических исследований и электромагнитного мониторинга окружающей среды // Евразийское научное объединение. М., 2019. №6 (52). С.91-98.

3. Любимов В.В. Регистраторы данных для геофизики и медицины (Обзор) // Евразийское научное объединение. М., 2020 №10 (68). С.394-400.4. Любимов В.В. Феррозондовые приборы. вопросы развития. Часть 4. Естественные и искусственные магнитные микронанальные анализаторы // Проблемы науки . Днепр: ООО Каллистон, 2020. Том 5, № 12. С.94-110.

---

### ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1508

*Маликов Рафаэль Салаватович*

*Уфимский государственный авиационный технический университет  
Уфа, Россия*

#### АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются процессные модели бизнес-процессов газораспределительных станций (ГРС), которая представляла бы собой симбиоз цифровых двойников и искусственного интеллекта. Основой системы могла бы быть математическая модель станции, учитывающая параметры эксплуатации, которая способна определять реакции оборудования на различные эксплуатационные нагрузки и прогнозировать сроки безаварийной эксплуатации. Система так же могла бы предусматривать методы имитационного моделирования физических процессов для определения оптимальных режимов работы и граничных условий их эксплуатации.

Реинжиниринг заключается в том, что мы переходим к эксплуатации основного оборудования ГРС по реальному техническому состоянию, а не по наработке как происходит сейчас.

#### ABSTRACT

This article examines the process models of business processes of gas distribution stations (GDS), which would be a symbiosis of digital twins and artificial intelligence. The basis of the system could be a mathematical model of the plant, taking into account the operating parameters, which is able to determine the response of the equipment to various operating loads and predict the periods of trouble-free operation. The system could also provide for methods of simulation of physical processes to determine the optimal operating modes and boundary conditions for their operation.

Reengineering means that we are moving to the operation of the main GDS equipment according to the actual technical condition, and not according to the operating time, as is happening now.

**Ключевые слова:** интеграция газотранспортного предприятия, обнаружение знаний, интеллектуальный анализ данных, непрерывный контроль, обработка сложных событий.

**Keywords:** gas transmission enterprise integration, knowledge discovery, data mining, continuous monitoring, complex event processing.

Газораспределительная станция (ГРС) — совокупность установок и технического оборудования, измерительных и вспомогательных систем распределения газа и регулирования его давления. В состав газораспределительных станций входят основные блоки: отключающих устройств; очистки газа; предотвращения гидратообразования (при необходимости); автоматического редуцирования (регулирования давления, измерения расхода газа); автоматической одоризации газа. Газ из входного газопровода поступает в блок отключающих устройств и направляется на очистку в масляные пылеуловители или в висциновые фильтры блока очистки, затем поступает в блок автоматического регулирования давления. Далее газ направляется в выходные газопроводы низкого давления, где производятся измерение расхода, его

количественный учет и одоризация.

На сегодняшний день при эксплуатации ГРС часто возникают ситуации, при которых регуляторы давления (регуляторы давления газа - предназначены для редуцирования газа высокого давления и автоматического поддержания давления в выходном газопроводе в заданном диапазоне с необходимой точностью, независимо от отбора газа потребителем и колебания давления на входе регулятора) работают при малых значениях газопотребления. При дальнейшем падении отбора газа потребителями могут возникнуть автоколебания и пульсация клапана регулятора газа. В случае же, когда отбор газа снижается ниже предельного значения, может возникнуть полное закрытие клапана регулятора газа. Такой режим работы регулятора не рекомендуется для эксплуатации по той причине, что является

нестабильным и может привести к преждевременному износу и разрушению механических элементов регулятора давления газа. Для потребителя это чревато нарушением режима подачи газа и критическому изменению давления на выходе ГРС. В настоящее время данная проблема остается актуальной, без каких-либо путей решения.

Проанализируем работы закольцованных ГРС в летний период (а именно загруженность регуляторов давления от заявленных параметров заводом изготовителем), для этого необходимо знать максимальную фактическую пропускную способность регуляторов давления.

Предложим модель работы трех закольцованных станций в которой за счет временного выведения в резерв (режим подхвата) двух станций, оставшаяся станция брала бы нагрузку выведенных в резерв станций на себя. Это позволит нормализовать работу регуляторов давления путем перераспределения отбираемого объема газа потребителями.

Первое что необходимо определить системе это выбор приоритетной ГРС, той которая возьмет на себя нагрузку выводимых в резерв станций. Вопрос приоритетности определяем по наличию второй линии выхода (линия выхода ГРС – количество трубопроводов на потребителя), если второй(ых) линий нет, то за приоритетную ГРС выбирается станция с самым большим суточным расходом. Далее система проверяет условие, по которому суммарный мгновенный расход не должен быть больше 80% от фактической производительности приоритетной станции. Если это условие выполняется, то приоритетная станция переходит на режим подачи газа потребителям на закольцованном участке газопровода, оставшиеся станции выводятся в резерв. Условие 80%-го суммарного запаса по производительности, перепроверяется в режиме реального времени, и при не выполнении его, выведенные в резерв станции подхватывают нагрузку и режим работы приоритетной ГРС прекращается.

Сложная, изменчивая и неопределенная

бизнес-среда современного газотранспортного предприятия [1-3] оказывает на последнее сильное давление по оказанию качественных услуг, производству высококачественных компонент, сокращению времени оказания услуг, снижению стоимости транспорта газа. Вследствие этого бизнес- и производственные процессы должны быть гибкими, адаптируемыми и постоянно контролируемыми. Поэтому для адаптации предприятия необходима вертикальная и горизонтальная интеграция процессов. Для существующих бизнес-приложений планирования ресурсов предприятия, управления цепочками поставок, управления взаимоотношениями с клиентами могут быть использованы доступные на рынке системы интеграции корпоративных приложений [4]. Как и горизонтальная, вертикальная интеграция различных уровней газотранспортного предприятия является необходимым условием непрерывного контроля процессов, в том числе и инновационных [5], и создания современного предприятия реального времени [6-7]. Производственные газотранспортные предприятия можно разделить на три уровня производственных исполнительных: уровень управления предприятием, уровень управления производством и производственный уровень (рис. 1).

На уровне управления предприятием именно инновационные бизнес-процессы позволяют достигать стратегических целей, поэтому инновационные бизнес-процессы должны быть разработаны, настроены, запущены и проанализированы в соответствии с четырьмя шагами жизненного цикла управления бизнес-процессами: проектирование, конфигурирование, исполнение, диагностика (мониторинг и оптимизация). В ходе конфигурирования бизнес-процесса инноваций на уровне управления предприятием закладываются транзакционные планируемые значения производительности исходя из стратегических целей предприятия и с периодом измерений, исчисляемым неделями и месяцами [8].



Рис. 1. Уровни производственных систем газотранспортного предприятия

В производственных процессах достигаются цели и показатели, установленные на уровне управления газотранспортным предприятием с помощью автоматических устройств производственного уровня. Огромное количество данных (так называемых сенсорных) генерируется этими устройствами в реальном времени. Дополнительно к этому операторы определяют данные, относящиеся к автоматическим устройствам, такие как предопределенные причины поломки оборудования, инструкции, регламентирующие порядок подачи запасных частей, деталей во время начала выполнения операции, и т. д. В целом эти значения отражают реальную производительность на производственном уровне. MES-решения и процессные приложения позволяют создать компьютеризированную и автоматизированную вертикальную интеграцию. Однако остается нерешенной проблема взаимодействия между уровнем управления предприятием и производственным уровнем в области инноваций [9]: реализация в масштабах предприятия многоконтурного контроля внутри и через все уровни - от уровня управления газотранспортным предприятием к производственному. Недостаточная вертикальная интеграция препятствует накоплению знаний, созданию циклов обучения [10] и использованию накопленных знаний в области создания и внедрения инноваций. Во-первых, данные из различных уровней MES не интегрированы и не могут использоваться для получения новых знаний. Во-вторых, если новое знание и было получено (результат НИР или ОКР, рационализаторское предложение, изобретение или полезная модель), то оно не используется в постоянном управлении процессами газотранспортного предприятия. Как следствие, концепция RTE - чувствовать и реагировать и учиться и адаптироваться - практически не используется в производственных и управленческих циклах при организации инновационного бизнес-процесса. Для цифровой интеграции газотранспортного предприятия необходимо разработать ИТ-фреймворк, использующий объекты отслеживания вместе с RBS. Для учета временных и причинно-следственных связей между событиями, запускаемыми на разных уровнях управления инновациями газотранспортного предприятия, необходимо дополнить RBS современными CEP. В основе этого фреймворка лежит методология идентификации и использования знаний для оперативного контроля инновационных процессов предприятия, включающая компоненты анализа процессов, модели данных и диаграмм потоков данных, идентификации (выявления) знаний, а также ассимиляции (усвоения) знаний. Процессы предприятия определяются ранее созданными шаблонами рабочих процессов и поддерживаются с необходимой плановой производительностью или критериями процесса (TO-BE-значения) такими бизнес-приложениями, как ERP-система. Бизнес-

приложения или их критическая функциональность в определенном контексте (доступа плановых значений и степени интеграции инноваций в производственный процесс газотранспортного предприятия) доступны как сервисы (услуги) в рамках SOA. Для постоянного контроля инновационных процессов газотранспортного предприятия как одной из целей ИТ-фреймворка применяется механизм «публикация - подписка», используемый в управляемой событиями архитектуре (EDA - Event-Driven Architecture). EI-уровень подписывается на события, генерируемые производственными ресурсами (автоматическими устройствами) на производственном уровне. Чтобы собирать данные от этих производственных ресурсов и переправлять собранные данные всем подписчикам, используется трехуровневая архитектура физической интеграции. Полученные данные реального времени от уровня производства содержат фактическую производительность (AS-IS-значения). Плановые значения производительности уровня управления вместе с фактическими значениями производительности уровня производства объединены в соответствии с моделью данных предприятия и хранятся в реляционной базе данных в качестве исторических данных. ИТ-фреймворк цифровой интеграции расширен оперативным мониторингом и контролем процессов с использованием объектов отслеживания, представляющих собой такие объекты, как заказы, продукты и ресурсы, являющиеся сущностями соответствующего потока работы. Эти объекты изменяются в процессе деятельности предприятия со значениями различных MES-уровней. Изменения состояния объектов отслеживания анализируются в постоянном режиме (online) с помощью RBS (например, Drools Expert) [11]. Использование RBS подразумевает отсутствие учета временных и причинно-следственных связей между событиями. Следует отметить, что лишь немногие WMS поддерживают сбор и интерпретацию данных в реальном времени, следовательно, становится необходимым использование CEP (например, EsperTech) вместо RBS. CEP непрерывно анализирует объекты отслеживания и направляет управляющие данные на требуемые уровни. Модель процесса реализации цифровой интеграции состоит из четырех этапов, каждый из которых является уникальным для конкретного предприятия и которые не обязательно выполнять последовательно; более того, отдельные этапы процесса могут выполняться время от времени для улучшения процессов предприятия.

ЭТАП 1. Анализ и (пере-)проектирование процессов.

Анализ и (пере-)проектирование процессов предприятия являются частью эталонной архитектуры [12] и реинжиниринга бизнес-процессов (BPR - Business Process Reengineering) [13]. BPR можно описать с помощью четырех основных этапов: I - выявление критических процессов, II - обзор, обновление и анализ

процессов (AS-IS-анализ), III - (пере-)проектирование процессов на основе AS IS-анализа и IV - реализация (пере-)проектированных.

ЭТАП 2. Модель данных и диаграмма потока данных.

Сегодняшние бизнес-приложения и автоматические устройства являются сложными, и для определения инновационных процессов требуется много данных: в режиме реального времени автоматическими устройствами производится огромное количество данных, таких как обратная связь и др. Для оперативного мониторинга и контроля этих процессов и выявления важных параметров необходимо анализировать бизнес-приложения, автоматические устройства и соответствующие им процессы. В связи с этим моделирование данных является важным шагом и влияет на качество информации, необходимой для выполнения процессов и улучшения оперативного мониторинга и управления процессами предприятия.

ЭТАП 3. Идентификация знаний.

Знание может быть определено с разных точек зрения, в том числе как промежуточные или конечные результаты инновационной деятельности.

ЭТАП 4. Основанный на знаниях оперативный контроль процессов.

Повторные и отнимающие много времени запросы к базе данных [14] приводят к неоперативному (offline) контролю процессов предприятия. Следовательно, для контроля процессов данных реального масштаба времени должны обрабатываться в реальном времени (online) или почти в реальном времени, с использованием предварительно идентифицированных знаний, объектов отслеживания и СЕР. Упомянутые ИТ-фреймворк и соответствующая ему модель процесса цифровой интеграции и достижения оперативного контроля процессов развиваются и адаптируются для управления инновационной деятельностью газотранспортного предприятия. Построение гибкой структуры управления инновационными процессами на основе предложенной модели позволит повысить управляемость. Результаты могут применяться и в других сетевых компаниях энергетической отрасли.

#### Список литературы

- 1.Kantyukov R.R., Tahaviev M.S., Romanov S.V. Improvement Of Work With Infrastructure Facilities Of Gas Transportation And Gas Distribution Using Well Logging. *Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry*, 2015, No. 9 (727), P. 40-41. (In Russian)
- 2.Kantyukov R.R., Tahaviev M.S., Gilyaziev M.G., Shenkarenko S.V., Lebedev R.V., Varsegov V.L. Development Of A Mathematical Model Of Section Of The Gas Transportation System. *Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya = Transport And Storage Of Petroleum Products And Hydrocarbons*, 2015, No. 2, P. 3-7. (In Russian)
- 3.Grauer M., Metz D., Karadgi S.S. and Schäfer W. Identification and Assimilation of Knowledge for Real-Time Control of Enterprise Processes in Manufacturing. Proc. 2nd International Conference on Information, Process and Knowledge Management (eKNOW 2010), Feb. 2010, P. 13-16.
- 4.Linthicum D. Enterprise Application Integration. Addison-Wesley Longman, Amsterdam, 2000.
- 5.Lee J., Siau K., Hong S. Enterprise Integration with ERP and EAI. *Comm. of the ACM*, Feb. 2003, Vol. 46, No. 2, P. 54-60.
- 6.Drobik A., Raskino M., Flint D. at all. The Gartner Definition of Real-Time Enterprise, tech. report. Gartner Inc., 2002.
- 7.Karnouskos S., Guinard D., Savio D. at all. Towards the Real-Time Enterprise: Service-based Integration of Heterogeneous SOA-ready Industrial Devices with Enterprise Applications. Proc. 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM '09), June 2009, P. 2127-2132.
- 8.P. 2127-2132.
- 9.Kjaer A. The Integration of Business and Production Processes. *IEEE Control Systems Magazine*, 2003, Vol. 23, No. 6, P. 50-58.
- 10.Panetto H., Molina A. Enterprise Integration and Interoperability in Manufacturing Systems: Trends and Issues. *Computers in Industry*, Sept. 2008, Vol. 59, No. 7, P. 641-646.
- 11.Grauer M., Metz D., Karadgi S. at all. Towards an IT-Framework for Digital Enterprise Integration. Proc. 6th International Conference on Digital Enterprise Technology (DET 2009), AISC, Springer, Berlin, Dec. 2009, vol. 66, P. 1467-1482.
- 12.Grauer M., Karadgi S.S., Metz D., Schäfer W. An Approach for Real-Time Control of Enterprise Processes in Manufacturing using a Rule-Based System. Proc. Multikonferenz Wirtschaftsinformatik, Feb. 2010, P. 1511-1522.
- 13.Scheer A. Business Process Engineering. Reference Model for Industrial Enterprise, 2nd Edition, Springer, 1994.
- 14.Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. Harper Business, 1994.
- 15.Cammert M., Heinz C., Krämer J. at all. Stream Processing in Production-to-Business Software. Proc. of the IEEE Int. Conf. on Data Eng., 2006, P. 168-169.

УДК 331.45  
ГРНТИ 67.01.77

---

## ВІМ-ТЕХНОЛОГИИ, КАК ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1509

*Николаева Анастасия Ивановна*

*Бакалавр 4 курса, СПбГАСУ*

*г. Санкт-Петербург*

*Научный руководитель:*

*Горбунова Ольга Владимировна*

*Канд. биол. наук, доцент, СПбГАСУ*

*г. Санкт-Петербург*

### АННОТАЦИЯ

При проектировании и внедрении ВІМ-технологий особое значение имеет учет требований пожарной безопасности для исключения ошибок в принятии решений, а также для безопасной эксплуатации проектируемого объекта в последующем. Эта тема на сегодняшний день весьма актуальна и необходимость исполнений требований по пожарной безопасности очень высока. Для решения этих задач огромную роль могут сыграть применение современных программных продуктов отнесенных к ВІМ-технологиям, например, Autodesk Revit Architecture.

Применение таких программ позволяет значительно ускорить процесс проектирования всех систем конструируемого здания, а также детально проработать информационную модель, которая позволит объективно оценить потенциальные предпосылки для возникновения несчастных случаев и дать о них объективную информацию. Данные технологии позволяют полностью спроектировать здания и сооружения, просчитав все процессы, предоставить наиболее эффективные решения на всех этапах проекта, что позволяет снизить затраты и сократить сроки ввода объекта. В статье раскрыто понятие ВІМ-технологий, их основные преимущества, опыт применения.

### ABSTRACT

When designing and implementing BIM technologies, it is of particular importance to take into account fire safety requirements to eliminate errors in the decisions made, as well as for safe operation in the future. This topic is very relevant today and the need for compliance with fire safety requirements is very high. To solve these problems, the use of modern software products, such as Autodesk Revit, can play a huge role.

The use of such programs makes it possible to significantly speed up the design process of all systems of the building under construction, as well as to develop an information model in detail, which will allow an objective assessment of accidents and provide objective information about them. These technologies make it possible to fully design buildings and structures, having calculated all the processes, to provide the most effective solutions at all stages of the project, which reduces costs and reduces the time of commissioning of the object. The article reveals the concept of BIM technologies, their main advantages, and application experience.

**Ключевые слова:** ВІМ-технологии, 3D-моделирование, информационная модель, пожарная безопасность, проектирование.

**Keywords:** BIM technologies, 3D modeling, information model, fire safety, engineering

**Цель и задачи:** повышение эффективности работ по проектированию комплексных систем пожаротушения с применением программного обеспечения Autodesk Revit Architecture, при создании цифровой информационной модели проектируемого объекта, и разработка вопросов организации системы пожарной эвакуации, в том числе с учетом эвакуации маломобильных групп населения (МГН), оповещения, автоматического пожаротушения, дымоудаления. Обоснование выбора конструктивных элементов с учетом горючести материалов.

Для достижения поставленной цели в статье решались следующие задачи:

- Создание информационной модели на основе нормативных требований к проектированию комплексных систем обеспечения пожарной безопасности.
- Составление технической и рабочей документации.

- Разработка проекта, с возможностью корректировки на стадии проектирования объекта, а также дальнейшее сопровождение актуализации цифровой модели в процессе эксплуатации, для поддержания на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) объекта.

- Анализ перспектив применения ВІМ-моделирования для нужд поддержания и обеспечения систем безопасности в проектируемых объектах.

### Введение

Задача спасения жизней людей при ЧС является одной из приоритетных и в этом могут помочь программные комплексы, в том числе и программы поддержки принятия решений. Время спасения людей в экстремальных ситуациях исчисляется минутами и даже секундами, в зависимости от стадии конкретной чрезвычайной ситуации.

В основе выполнения таких задач может быть полезно применение BIM-технологий (Building Information Modelling – информационное моделирование зданий), представляющая собой современную методологию создания и использования единой, структурированной и взаимосвязанной информационной модели (BIM-модели) объектов защиты, процессов их ЖЦ, включая различные чрезвычайные ситуации [1].

3D-моделирование в системе ЧС — это процесс создания трехмерной модели объекта, где при угрозах и возникновении чрезвычайных ситуаций специалисты смогут быстро и оперативно предотвратить опасность, используя информационные ресурсы паспортов территорий [2].

Трёхмерная модель объекта предназначена в первую очередь для информационного обеспечения планов действий по предупреждению и ликвидации ЧС, планов повышения защищённости потенциально опасных, а также социально-значимых объектов. В 3D моделях указывается расположение объектов с привязкой к местности. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшей работе с моделью была возможность быстро и адекватно рассредоточить силы и средства, привлекаемые к ликвидации возможной ЧС на территории объекта.

Анализ статистических данных о пожарах на объектах с массовым пребыванием людей позволяет утверждать, что среднее количество погибших на таких пожарах ежегодно уменьшается, но соотношение суммарного числа погибших к числу пожаров на таких объектах является относительно неизменным [2].

На основании исследований установлено, что одной из основных причин такой ситуации является малая эффективность целевого применения автоматизированных систем оповещения и тушения, а также управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ). Также к

причинам гибели людей при возникновении пожаров на таких объектах можно отнести и отдельные отклонения технических и функциональных параметров современных СОУЭ от требований нормативных документов, основным среди которых является свод правил СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре» [3].

Данный свод правил определяет в качестве основной задачи для СОУЭ объектов, своевременное оповещение людей о пожаре или других чрезвычайных ситуациях, а также информирование о путях безопасной и максимально оперативной эвакуации с целью минимизации или предотвращения ущерба их жизни и здоровью.

Для улучшения и преобразования всех процессов главным инструментом является применение новых информационных технологий BIM-моделирования.

BIM-технологии позволяют не только создать модель здания, которая может предотвратить возникновение коллизий еще на этапе проектирования, но и позволит обеспечить управление безопасностью как в процессе строительного производства, так и после ввода объекта в эксплуатацию.

Так, при проектировании системы пожарной безопасности были исключены заведомо неэффективные пути эвакуации на основании модели зданий (трехмерные и двумерные планы знаний). Также были приняты те или иные архитектурные решения, на основании представленной информационной модели, с учетом удовлетворения требованиям пожарной безопасности. С помощью представленной модели стало возможным проработать распределение систем АУПТ с учетом синтеза конструктивных решений и действующего законодательства.



Рисунок 1. Моделирование расстояния от наиболее удаленной точки до эвакуационного выхода

### Результаты и их обсуждение

В настоящем, практическую значимость применения и обучения информационному моделированию мы можем рассмотреть на примере организации и проведения BIM-Чемпионата на базе ФГБОУ ВО «СПбГАСУ».

**BIM-чемпионат СПбГАСУ** – уникальное соревнование по информационному моделированию зданий и сооружений, в ходе которого команды из специалистов различных направлений профессиональной подготовки разрабатывают информационные модели зданий с высокой степенью детализации.

**Цель чемпионата** – вовлечение обучающихся, работодателей, проектных и IT-организаций, межвузовского сообщества в процесс освоения BIM-технологий и повышение уровня подготовки будущих специалистов.

В соревновании, в 2021 году, принимало участие 6 команд по 5 участников в составе

команды, которым необходимо было разработать цифровую 3-D модель административного здания со всеми инженерными сетями и коммуникациями в районе Северной Долины г. Санкт-Петербурга. Спроектировать здание, соответствующее всем требованиям энергоэффективности, энергосбережения, системам обеспечения безопасности людей, также создать зоны для курения и приема пищи.

Перед началом чемпионата происходило формирование команд, и одной из компетенций была – пожарная безопасность. В сферу деятельности данной компетенции входило: предусмотреть в здании установку автоматического пожаротушения (АУПТ), оборудовать эвакуационные пути и выходы, с учетом требований «доступная среда» для маломобильных групп населения.

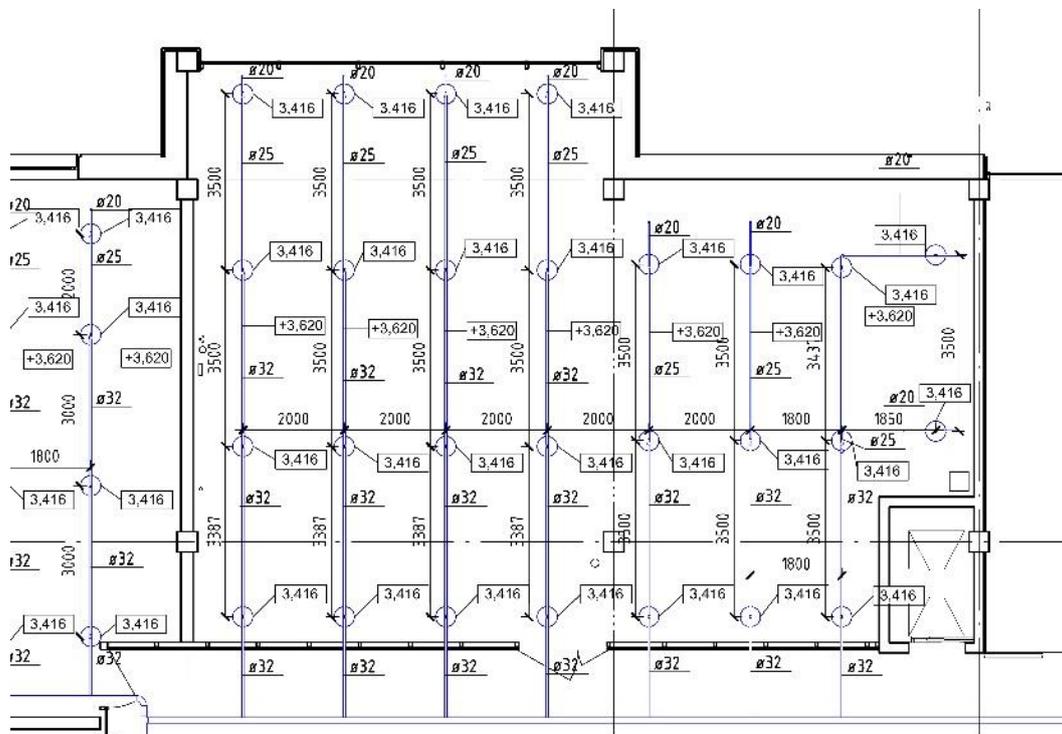


Рисунок 2. Расстановка АУПТ с учетом нормативных требований



Рисунок.3 Спринклерная система пожаротушения

На первых этапах создания модели проектируемого здания, специалистам с компетенцией пожарной безопасности, необходимо было консультировать специалистов с компетенцией архитекторов в принятии тех или иных архитектурно-планировочных решений, а именно проектирование эвакуационных путей и выходов, противопожарных отсеков и систем дымоудаления, также необходимо было осуществлять проверку правильности выполнения объемно-планировочных решений на отсутствие несоответствий требованиям нормативных документов по ПБ и ОТ. В некоторых случаях необходимо было поверить объемно-планировочные решения эвакуационных путей и выходов, геометрические характеристики конструктивных элементов путей эвакуации.

На втором этапе проектирования специалистам по пожарной безопасности необходимо смоделировать системы автоматического пожаротушения (АУПТ). Автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) – сочетание стационарных средств, которые устраняют возгорание огнетушащим веществом. Конструкция автоматической установки включает резервуары, наполненные огнетушащим веществом, устройства управления, систему трубопроводов и насадок-распылителей состава. Количество и размеры всех частей определяются точными расчетами. Существует несколько видов систем: порошковая, аэрозольная, водяная, пенная (водо-пенная), система тонкодисперсной воды, газовая автоматическая система. В нашем случае использовалась водяная система [4].

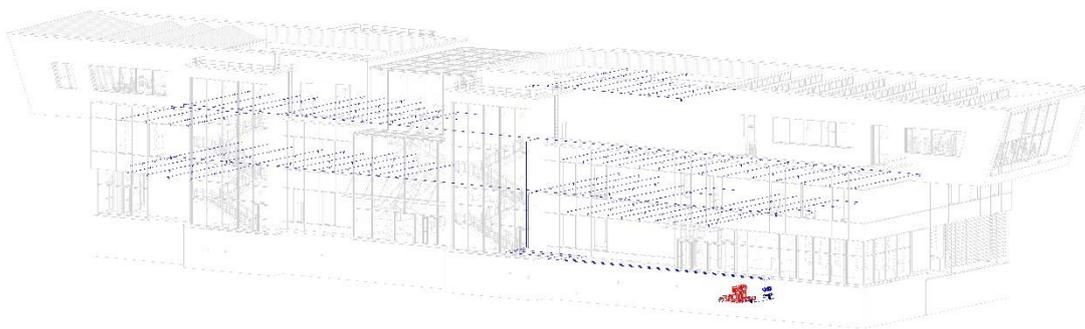


Рисунок 4. 3D модель АУПТ объекта защиты

Также хотелось бы отметить, что не менее важной была проверка принятых проектных решений на наличие коллизий, очень важно, чтобы еще на этапе проектирования были предупреждены пересечения между коммуникациями, что в последствии при надлежащем контроле соответствия строящегося здания информационной модели, снижает трудозатраты на доработку исполнительной модели.

На данный момент в строительной отрасли идет активное внедрение BIM-технологий в процесс создания объектов. Если раньше большинство строящихся объектов возводилось по двумерным чертежам, то теперь с 01.01.2022 года согласно Постановления Правительства об обязательном применении информационного моделирования BIM при проектировании всех объектов Госзаказа, это требование коснется, в том числе и муниципальных заказчиков.

На сегодняшний день некоторые строительные компании уже используют в своей работе BIM-моделирование. Так, строительная компания «Эталон» в городе Санкт-Петербурге, реализует в своих проектах плагин «BIM в эксплуатации», когда эксплуатирующая организация получает полную информацию по всему оборудованию и используемым в строительстве материалам, благодаря чему может эффективно планировать даты обслуживания и ремонта инженерных систем [5]. Так же НТЦ «Эталон» разработали плагин

«BIM – охрана труда» позволяющий проводить оценку индекса безопасности на строящихся объектах компании и осуществлять эффективное оперативное управление состоянием охраны труда [6].

Также идет активная работа по переводу в BIM процесса госэкспертизы проектов. Данная инициатива опережает текущие тренды в строительной отрасли.

На основании вышесказанного можно заключить, что применение BIM-технологий является наиболее эффективным методом обеспечения безопасности, вследствие чего значительно повышается эффективность всех этапов работ по созданию безопасного пространства, соответствующего требованиям пожарной безопасности.

При использовании моделирования объектов мы можем создать модель здания, которая может предотвратить возникновение коллизий еще на этапе проектирования, но и позволит обеспечить управление безопасностью как в процессе строительного производства, так и после ввода объекта в эксплуатацию.

Все это значительно ускоряет и упрощает работу специалистов, сокращая при этом возникновение проектных ошибок ввиду человеческого фактора и расширяя возможности контроля качества выпускаемой документации проектируемых объектов.

**Список литературы:**

1. Беляев Е.В., Головенко Е.Л., Калгатов С.С., Абдиракимов Е.С. Интеллектуальное управление эвакуацией людей при пожаре в здании на основе BIM-моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46393256>, свободный (дата обращения 12.11.2021).

2. Галич Н.М., Беседина С.В. 2D и 3D моделирование как средство поддержки принятия решений при моделировании процесса эвакуации людей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27194121>, свободный (дата обращения 12.11.2021).

3. СП 3.13130.2009 Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200071145>, свободный (дата обращения 14.11.2021).

4. Зюзин А.А., Бородин Е.С. Моделирование работы автоматической системы пожаротушения

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46335951>, свободный (дата обращения 14.11.2021).

5. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.vedomosti.ru/press\\_releases/2020/08/20/gruppa-etalon-zanyala-1-e-mesto-v-konkurse-bim-tehnologii-201920](https://www.vedomosti.ru/press_releases/2020/08/20/gruppa-etalon-zanyala-1-e-mesto-v-konkurse-bim-tehnologii-201920), свободный (дата обращения 15.11.2021).

6. В.В. Шарманов Система контроля охраны труда и техники безопасности в строительстве с применением BIM-технологии, как возможного инструмента в системе СОУТ и риск-ориентированном подходе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-kontrolya-ohrany-trudai-tehniki-bezopasnosti-v-stroitelstve-s-primeneniem-bim-tehnologii-kak-vozmozhnogo-instrumentav-sisteme>, свободный (дата обращения 15.11.2021).

621-9

---

## ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЕ НАНЕСЕНИЕ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА РЕЗЬБОВУЮ ЧАСТЬ ФУНДАМЕНТНОГО БОЛТА

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1510

*Храмов И.М.*

*Старший преподаватель каф. «ТМСИ»  
УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.  
г. Екатеринбург, Р.Ф.*

*Пестов К.Н.*

*Старший преподаватель каф. «ТМСИ»  
УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.  
г. Екатеринбург, Р.Ф.*

*Иванов И.Ю.*

*Заведующий «лаборатория резания» каф. «ТМСИ»  
УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.  
г. Екатеринбург, Р.Ф.*

**АННОТАЦИЯ**

Предложения по более рациональному нанесению цинкового покрытия на резьбовую часть фундаментного болта.

**Ключевые слова:** Цинковое покрытие, фундаментный болт, электроконтактное цинкование.

Фундаментные болты изготовленные в соответствии ГОСТ24379.0- 2012г. предназначены для крепления и фиксации строительных конструкций или оборудования.

Для продления сроков эксплуатации фундаментных болтов часто при изготовлении используется цинковое покрытие, толщина которого зависит от условий эксплуатации фундаментного болта и определяется ГОСТ9.303-84. Толщина цинкового покрытия зависит от размеров резьбы фундаментного болта и чаще всего применяется в диапазоне от 12 до 30мкм.

Суть цинкования в том, что тем или иным методом на подготовленную поверхность изделия наносится слой цинка. В зависимости от применённой методики защитный слой либо только укрывает поверхность основного материала,

либо дополнительно соединяется с ним за счёт диффузного взаимодействия.

Благодаря свойствам цинка при контакте с атмосферным кислородом на его поверхности моментально образуется оксидная плёнка. В отличие от оксида железа, она имеет высокую плотность и прочность, за счёт чего она: во-первых, не пропускает к металлу атмосферный кислород; во-вторых, не разрушается от малейшего механического воздействия.

Более того, если в результате механического воздействия оксидная плёнка повреждается, оголённый цинк тут же взаимодействует с атмосферным кислородом, образуя новый защитный слой. Благодаря этому свойству оцинковку называют самовосстанавливающейся защитой металла от коррозии.

### **Нанесение цинкового покрытия на резьбовую часть фундаментного болта вызывает некоторые проблемы.**

Рассмотрим методы нанесения цинкового покрытия применительно к фундаментным болтам.

**Холодное цинкование** — это самый простой, дешёвый и универсальный способ защитной обработки металлоконструкций. Заключается в том, что предварительно подготовленный металл окрашивается по аналогии с применением обычных полимерных красок. Единственная разница — в наносимом составе содержится определённая концентрация цинкового порошка, который после застывания основы образует защитный слой. То есть, на поверхности конструкции образуется оксид цинка, который препятствует контактированию атмосферного кислорода с металлом.

#### **Преимущества холодного цинкования:**

- дешевизна;
- простота технологического процесса;
- возможность обработки металлических изделий и конструкций любой формы и размеров;
- обрабатываемые детали не нужно демонтировать и транспортировать на предприятие для цинкования;
- при необходимости может быть нанесён слой цинкосодержащего состава любой толщины;
- внешний вид металлоконструкции можно задать финишной обычной краской, тогда как подложкой для неё будет служить цинкосодержащий грунт.

#### **Недостатки:**

- неконтролируемая равномерность толщины защитного покрытия;
- невысокая прочность удержания защитного покрытия на металле;
- слабая стойкость к повреждениям.

Во-первых, эта технология хороша тем, что её можно реализовать буквально в полевых условиях. Во-вторых, форма, вес и габариты обрабатываемых металлоконструкций не могут стать помехой для цинкования. С другой стороны, способ абсолютно не подходит для тех случаев, когда требуется долговечное и высокопрочное защитное антикоррозионное покрытие.

**Гальваническое цинкование** - это электрохимический метод антикоррозионной обработки металлических деталей. По факту является самым распространённым, хотя и не наилучшим. Распространённость гальванического цинкования связана с тем, что обработанные детали имеют презентабельный внешний вид. Они получают блестящими, яркими, и могут иметь оттенки от белого, до серебристого с голубым.

#### **Преимущества гальванического цинкования:**

- презентабельный внешний вид защитного покрытия;
- тонкий слой цинка (10-20 мкм), что позволяет обрабатывать прецизионные детали;
- равномерность оцинковки;

- сравнительно низкая себестоимость процесса;

- возможность обработки неметаллических предметов, которые не могут выдержать, например, процесса горячего цинкования;

- способность к самовосстановлению;
- достойная прочность удержания цинка на поверхности.

#### **Недостатки:**

- слишком малая толщина слоя цинка для интенсивной эксплуатации изделий в агрессивной среде (имеется в виду вне сухих помещений);
- абсолютная неустойчивость к механическим нагрузкам;
- низкая общая коррозионная устойчивость.

Гальванический метод цинкования востребован только в тех сферах, где больше требуется презентабельный внешний вид, либо временная защита от коррозии (например, на период складского хранения или транспортировки). Поэтому он считается больше декоративным, нежели защитным.

**Термодиффузионное цинкование** — это метод низкотемпературной антикоррозионной обработки, который заключается в обработке деталей в среде с порошковым цинком при температурах от 260°C до 450°C (чем выше температура, тем равномернее получается покрытие). В результате пребывания детали в такой среде атомы цинка на атомном уровне проникают в верхние слои обрабатываемого материала, образуя равномерный защитный слой толщиной 20-100 мкм. При этом есть возможность регулировать толщину наносимого покрытия путём увеличения или уменьшения времени процесса цинкования.

#### **Преимущества термодиффузионного цинкования:**

- регулируемая толщина защитного покрытия;
- высокая прочность удержания цинкового покрытия за счёт диффузии металлов;
- равномерное распределение цинка по всей обрабатываемой поверхности (включая труднодоступные места);
- высокая стойкость к повреждениям;
- способность к самовосстановлению;
- высокая общая коррозионная устойчивость (сравнимая с горячим цинкованием).

#### **Недостатки:**

- сложность технологического процесса;
- высокая себестоимость (примерно в два раза дороже, чем горячее цинкование);
- непрезентабельный внешний вид оцинкованных деталей.

В промышленности термодиффузионное цинкование востребовано в сферах, где от обработанных деталей требуется высочайшая стойкость к абразивному износу и пластичность поверхности. Обычно используется для антикоррозионной защиты металлических изделий

в нефтегазовой, энергетической, сельскохозяйственной и реже в строительной сферах.

**Газотермическое цинкование** — это метод металлизации металлических изделий путём высокоскоростного напыления на их поверхность цинкового порошка. Выполняется следующим образом. На обрабатываемую деталь направляется открытый огонь (применяются газовые горелки), и в зону наивысшего нагрева подаётся цинковый порошок, либо цинковая проволока. В результате мелкодисперсные капельки цинка с высокой скоростью налетают на обрабатываемую поверхность, где застывают, образуя защитный слой толщиной 30-50 мкм. Если необходимо получить более толстое покрытие, цинкование проводится в несколько этапов.

**Преимущества газотермического цинкования:**

- возможность осуществления цинкования вне производственных условий и без демонтажа металлоконструкций;
- сравнительная равномерность покрытия;
- регулируемая толщина цинка.
- **Недостатки:**
- нельзя обрабатывать мелкие детали;
- пористость покрытия;
- **невозможно качественно оцинковать труднодоступные места;**

**не подходит для цинкования прецизионных деталей;**

- **высокая трудоёмкость процесса;**
- **низкая производительность.**

Газотермическое цинкование востребовано там, где нужно выполнить антикоррозионную обработку без демонтажа конструкций, восстановить часть утерянного в процессе коррозии материала и так далее.

**Горячее цинкование** — это технологический процесс нанесения защитного цинкового слоя на металл путём непосредственного погружения в расплавленный цинк.

**Преимущества горячего цинкования** (с учётом мощностей нашего предприятия):

- сравнительно невысокая стоимость реализации технологического процесса;
- высокая производительность автоматизированных линий (до 30 000 тонн в год);
- возможность цинкования тяжёлых и крупногабаритных металлоконструкций (до 6 тонн и 13×2×3,1 м);
- толщина защитного покрытия 40-200 мкм. Для крупногабаритных изделий толщина может составлять более 200 мкм;
- высокая прочность удержания защитного покрытия на металле за счёт проникновения цинка в кристаллическую решётку железа;
- высокая стойкость к механическим повреждениям;
- отличная способность защитного покрытия к самовосстановлению;
- высокая коррозионная устойчивость.

**Недостатки:**

- невозможно наносить слой цинкового покрытия тоньше 45 мкм;
- неравномерность защитного покрытия;
- непрезентабельный внешний вид обработанных деталей — тёмно-серый, матовый.

Горячее цинкование является идеальной технологией для антикоррозионной обработки крупных и средних по размеру металлоконструкций, которые нуждаются в максимальной защите от коррозии, но не имеют высокоточных поверхностей, отверстий, резьбы, фасок и других прецизионных технологических решений.

Наиболее распространённым методом нанесения цинкового покрытия на фундаментные болты является горячее цинкование, со всеми его недостатками.

Из-за больших размеров фундаментных болтов нет возможности поместить их в центрифугу, чтобы сбросить лишний цинк с резьбовой части. Обдув горячим воздухом тоже не позволяет получить равномерный слой цинка на резьбовой части. (рис. 1)



Рис. 1

В результате цинкования резьбовая часть фундаментного болта покрывается толстым слоем цинка. Повторная обработка резьбовой части фундаментного болта, покрытой цинком не допустима, так как может привести к удалению части цинкового покрытия и получению не покрытых поверхностей.

Альтернативой горячему цинкованию резьбовой части фундаментного болта может стать электроконтактный метод нанесения покрытия.

При электроконтактном нанесении покрытия, одним контактом является фундаментный болт, другим – подпружиненный цинковый стержень. На контакты подается ток большой силы (1000-2000А) и малого напряжения (5 В). В месте контакта происходит интенсивный разогрев цинка, окисная

пленка разрушается, цинк начинает диффундировать в сталь. Регулируя ток и скорость вращения шпинделя, можно регулировать толщину цинкового покрытия.

Достоинства метода; 1- позволяет получить цинковое покрытие заданной толщины на резьбовой части фундаментного болта, 2- может осуществляться на универсальном токарно-винторезном станке сразу после нарезания резьбы резцом. Не резьбовая часть фундаментного болта может покрываться методом горячего цинкования.

#### **Список использованной литературы:**

В.В. Окулов. Цинкование. Техника и технология. / Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева. – М.: Глобус, 2008.-252 с.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 514.126 MSC 53A35, 53B30

## ТЕОРИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЧЕТЫРЕХМЕРНОМ ГАЛИЛЕЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1503

**Нурбаев Абдурашид Рашиданович**  
преподаватель кафедры «Математика»  
«Гулистанский государственный  
университет» Респ. Узбекистан

### АННОТАЦИЯ

С помощью специального выбора координатных линий поверхности в четырёхмерном галилеевом пространстве определена первая и вторая квадратичная форма поверхности.

Доказана, что уравнение поверхности второго порядка в трёхмерном пространстве можно привести к каноническому виду с помощью специального преобразования, которая является вращением координатных осей трёхмерного галилеева пространства. Причём матрица преобразования является элементом группы Гейзенберга не симметричным и не ортогональным.

В четырёхмерном пространстве  $R_4^1$  - введена понятия индикатрисы поверхности и определена главные кривизны поверхности.

**Ключевые слова:** Галилеево пространство, главные кривизны, поверхности второго порядка, индикатриса поверхности.

### 1. Постановка задачи

Четырёхмерная галилеева пространства, это представитель проективного пространства с вражденной метрикой. Общая теория поверхностей четырёхмерного пространства изложена в монографии «Неевклидови пространства» Б.А. Розенфельда.

Если координаты четырехмерное пространство рассмотреть как координаты пространства  $(x, y, z)$  и время  $t$ , то изучение геометрических свойства подпространства то есть кривых и поверхностей, связана с понятиями пространство подобных и временно подобных прямых. Этот связь осложняет изучению, конкретных свойств геометрических объектов.

Цель данной статьи с помощью выбора специальных координатных линий которая дает возможность следить порядок, расстояние определяемой с помощью вырожденной метрики, изучит классические характеристики поверхности в четырёхмерном галилеевом пространстве.

### 2. Галилеево пространство $R_4^1$ .

Пусть вектора  $\vec{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$  и  $\vec{Y} = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ , заданные координатами в аффинном пространстве  $A_4$ .

**Определение.** Аффинное в пространство  $A_4$  в котором скалярное произведение векторов  $\vec{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$  и  $\vec{Y} = (y_1, y_2, y_3, y_4)$  определено по формуле.

$$\begin{cases} (\vec{X}, \vec{Y})_1 = x_1 \cdot y_1 \text{ при } x_1 \cdot y_1 \neq 0; \\ (\vec{X}, \vec{Y})_2 = x_2 \cdot y_2 + x_3 \cdot y_3 + x_4 \cdot y_4 \text{ при } x_1 \cdot y_1 = 0. \end{cases}$$

называется *четырёхмерным галилеевом пространством* -  $R_4^1$ .

Норма вектора определяется как квадратный корень скалярного произведения вектора на себя, то есть

$$\|\vec{X}\| = \begin{cases} |x_1| \text{ при } x_1 \neq 0; \\ \sqrt{x_2^2 + x_3^2 + x_4^2} \text{ при } x_1 = 0. \end{cases}$$

Расстояние между двумя точками  $M(t_1, x_1, y_1, z_1)$  и  $N(t_2, x_2, y_2, z_2)$  определяется, как норма вектора  $\overline{MN}$ ,

$$|\overline{MN}| = \begin{cases} |t_2 - t_1| \text{ при } t_1 \neq t_2; \\ \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \text{ при } t_1 = t_2. \end{cases}$$

Плоскости  $t = \text{const}$  в  $R_4^1$  называется *особыми плоскостями*.

Так как  $R_4^1$  - галилеево пространство отличается от евклидова пространство  $R_4$  - только скалярным произведением векторов, основные объекты геометрии, прямая, кривая, поверхность определяется как в евклидовом пространстве. Поэтому мы не приведем определено этих понятий. Отмечительная свойства геометрических фигура галилеева пространства от их евклидовыми, связаны в основном с расстоянием.

В связи с этим больше внимание уделяем только геометрическим характеристикам кривых и поверхностей связанных с скалярным произведение и расстоянием

Пусть

$$\vec{\gamma}(t) = t\vec{e} + x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k} \quad (1)$$

векторное уравнение кривой  $\gamma$  в  $R_4^1$  где  $t \in (-\infty; \infty)$  и функции  $x(t), y(t), z(t)$  дифференцируемые, однозначные функции.

Из этих условий следует, что кривая с особыми плоскостями имеют не более одной общей точки.

По аналогии евклидову пространству определяем длину кривой в галилеевом пространстве  $R_4^1$ .

Предположим  $M(t_1, x_1, y_1, z_1)$  и  $N(t_2, x_2, y_2, z_2)$  точки принадлежащие кривой заданной уравнением (1) и  $\gamma$  - дуга кривой с концами в точках  $M_1$  и  $M_2$ . Интервал  $(t_1, t_2)$  - разделим на  $n$  - части и рассматриваем точки  $M_i (i = 2, (n - 1))$  с координатами  $\xi_i$ , причем  $\xi_i = t_2$  на кривой  $\gamma$ . Соединив точки  $M_i$  с отрезками получим ломанную  $M_1 M_2 \dots M_{n-1} N$  вписанную в  $\gamma$ .

Из особенность определении расстоянии в  $R_4^1$  следует, что длина  $L_n$  ломанной  $M_1 M_2 \dots M_{n-1} N$  не зависит от  $n$  и всегда равна  $|t_2 - t_1|$ .

Поэтому длина  $\gamma$  определяемой как предел  $L_n$  будет также равной длине интервала  $[t_1, t_2]$ .

Следовательно

$$S = |t_2 - t_1|. \quad (2)$$

Напомним, в галилеевом пространстве величина угол между двумя векторами, определяемой как дуга окружности галилеевой плоскости, измеряется параболические [3;6]. Параболический угол принимает значение  $[0, \infty]$ , и определяется только для векторов не принадлежащей особой плоскости. Угол между векторами на особой плоскости определяется как в

$$a_{11}x'^2 + a_{22}y'^2 + a_{33}z'^2 + 2a_{12}x'y' + 2a_{13}x'z' + 2a_{23}y'z' = \pm 1 \quad (4)$$

в трехмерном пространстве галилеево с координатами  $(x, y, z)$  [6].

Известно [2] вращение координатных осей в галилеевом пространстве  $R_3^1$  задается формулой

$$\begin{cases} x' = x \\ y' = h_1x + y \cos \alpha - z \sin \alpha \\ z' = h_2x + y \sin \alpha + z \cos \alpha. \end{cases} \quad (5)$$

евклидовом пространстве, так как особая плоскость евклидова. Параболический угол между векторами обозначим через  $h$ .

**Теорема.** Кривизна кривой (1) в  $R_4^1$  равна

$$k = \|\ddot{\gamma}''(t)\| = \|\ddot{r}''(t)\|.$$

**Доказательство.** По определению [1] кривизна  $k$  линии

$$k = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta h}{\Delta S} \quad (3)$$

По формуле (2)  $\Delta S = \Delta t$ . Приращения угла  $\Delta h$  определяемо как угол между касательными в соответствующих точка [2] и вычисляется по формуле

$$\Delta h = |\gamma'(t + \Delta t) - \gamma'(t)|$$

Подставляя  $\Delta h$  в формулу (3), получим

$$k = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta S} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\gamma'(t + \Delta t) - \gamma'(t)|}{\Delta t} = \|\ddot{\gamma}''(t)\|$$

что и требовалось доказать.

**3. Об одном преобразовании поверхность второго порядка в  $R_3^1$ .**

Рассмотрим свойства двумерной поверхности заданной уравнением

где  $(x', y', z')$  новые координаты точки [8]. Докажем следующую теорему.

**Теорема.** С помощью преобразования (5) уравнение поверхности (4) можно привести к каноническому виду

$$k_1x^2 + k_2y^2 + k_3z^2 = \pm 1. \quad (6)$$

Действительно, произведем преобразование

$$a_{11}x^2 + a_{22}(h_1x + y \cos \alpha - z \sin \alpha)^2 + a_{33}(h_2x + y \sin \alpha + z \cos \alpha)^2 + 2a_{12}x(h_1x + y \cos \alpha - z \sin \alpha) + 2a_{13}x(h_2x + y \sin \alpha + z \cos \alpha) + 2a_{23}(h_1x + y \cos \alpha - z \sin \alpha)(h_2x + y \sin \alpha + z \cos \alpha) = \pm 1$$

$$\begin{aligned} & a_{11}x^2 + a_{22}(h_1^2x^2 + y^2 \cos^2 \alpha + z^2 \sin^2 \alpha + 2h_1xy \cos \alpha - 2h_1xz \sin \alpha - 2yz \sin \alpha \cos \alpha) + \\ & + a_{33}(h_2^2x^2 + y^2 \sin^2 \alpha + z^2 \cos^2 \alpha + 2h_2xy \sin \alpha + 2h_2xz \cos \alpha + 2yz \sin \alpha \cos \alpha) + \\ & + 2a_{12}h_1x^2 + 2a_{12}xy \cos \alpha - 2a_{12}xz \sin \alpha + 2h_2xz \cos \alpha + 2yz \sin \alpha \cos \alpha + 2a_{12}h_1x^2 + \\ & + 2a_{12}xy \cos \alpha - 2a_{12}xz \sin \alpha + h_1xz \cos \alpha + h_2xy \cos \alpha + y^2 \sin \alpha \cos \alpha + yz \cos^2 \alpha - \\ & - h_2xz \sin \alpha - yz \sin^2 \alpha - z^2 \sin \alpha \cos \alpha = \pm 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & a_{11}x^2 + a_{22}(h_1^2x^2 + y^2 \cos^2 \alpha + z^2 \sin^2 \alpha + 2h_1xy \cos \alpha - 2h_1xz \sin \alpha - 2yz \sin \alpha \cos \alpha) + \\ & + a_{33}(h_2^2x^2 + y^2 \sin^2 \alpha + z^2 \cos^2 \alpha + 2h_2xy \sin \alpha + 2h_2xz \cos \alpha + 2yz \sin \alpha \cos \alpha) + \\ & + 2a_{12}h_1x^2 + 2a_{12}xy \cos \alpha - 2a_{12}xz \sin \alpha + 2a_{13}h_2x^2 + 2a_{13}xy \sin \alpha + 2a_{13}xz \cos \alpha + \\ & + 2a_{23}(h_1h_2x^2 + h_1xy \sin \alpha + h_1xz \cos \alpha + h_2xy \cos \alpha + y^2 \sin \alpha \cos \alpha + yz \cos^2 \alpha - \\ & - h_2xz \sin \alpha - yz \sin^2 \alpha - z^2 \sin \alpha \cos \alpha) = \pm 1 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} x^2 \Rightarrow a_{11} + a_{22}h_1^2 + a_{33}h_2^2 + 2a_{12}h_1 + 2a_{13}h_2 + 2a_{23}h_1h_2, \\ y^2 \Rightarrow a_{22} \cos^2 \alpha + a_{33} \sin^2 \alpha + 2a_{23} \sin \alpha \cos \alpha, \\ z^2 \Rightarrow a_{22} \sin^2 \alpha + a_{33} \cos^2 \alpha - 2a_{23} \sin \alpha \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{22}h_1 \cos \alpha + a_{33}h_2 \sin \alpha + a_{12} \cos \alpha + a_{13} \sin \alpha + a_{23}h_1 \sin \alpha + a_{23}h_2 \cos \alpha = \\ 0, a_{22}h_1 \sin \alpha - a_{33}h_2 \cos \alpha + a_{12} \sin \alpha - a_{13} \cos \alpha - a_{23}h_1 \cos \alpha + a_{23}h_2 \sin \alpha = \sin^2 \alpha = 0 \\ 0, a_{22} \sin \alpha \cos \alpha - a_{33} \sin \alpha \cos \alpha - a_{23} \cos^2 \alpha + a_{23} \end{cases}$$

$$\begin{cases} (a_{22} \cos \alpha + a_{23} \sin \alpha)h_1 + (a_{33} \sin \alpha + a_{23} \cos \alpha)h_2 + a_{12} \cos \alpha + a_{13} \sin \alpha = 0, \\ (a_{22} \sin \alpha - a_{23} \cos \alpha)h_1 - (a_{33} \cos \alpha - a_{23} \sin \alpha)h_2 + a_{12} \sin \alpha - a_{13} \cos \alpha = 0, (7) \\ (a_{22} - a_{33}) \sin 2\alpha - a_{23} \cos 2\alpha = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} xy \Rightarrow 2a_{22}h_1 \cos \alpha + 2a_{33}h_2 \sin \alpha + 2a_{12} \cos \alpha + 2a_{13} \sin \alpha + 2a_{23}h_1 \sin \alpha + 2a_{23}h_2 \cos \alpha = 0, \\ xz \Rightarrow -2a_{22}h_1 \sin \alpha + 2a_{33}h_2 \cos \alpha - 2a_{12} \sin \alpha + 2a_{13} \cos \alpha + 2a_{23}h_1 \cos \alpha - 2a_{23}h_2 \sin \alpha = 0, \\ \&yz \Rightarrow -2a_{22} \sin \alpha \cos \alpha + 2a_{33} \sin \alpha \cos \alpha + 2a_{23} \cos^2 \alpha - 2a_{23} \sin^2 \alpha = 0 \end{cases}$$

Решив систему (7), получаем

$$\begin{cases} \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{a_{23}}{a_{22} - a_{33}} \\ h_1 = \frac{a_{12}a_{33} - a_{23}a_{13}}{a_{23}^2 - a_{22}a_{33}}, \\ h_2 = \frac{a_{13}a_{22} - a_{12}a_{23}}{a_{23}^2 - a_{22}a_{33}}. \end{cases} \quad (8)$$

Выборая значения  $h_1, h_2$  и  $\alpha$  по формуле (8), приведем уравнению (4) к виду (6) то есть.

$$k_1x^2 + k_2y^2 + k_3z^2 = \pm 1.$$

где

$$\begin{cases} k_1 = 1 + a_{22}h_1^2 + a_{33}h_2^2 + 2a_{12}h_1 + 2a_{13}h_2 + 2a_{23}h_1h_2, \\ k_2 = a_{22} \cos^2 \alpha + a_{33} \sin^2 \alpha + 2a_{23} \sin \alpha \cos \alpha, \\ k_3 = a_{22} \sin^2 \alpha + a_{33} \cos^2 \alpha - 2a_{23} \sin \alpha \cos \alpha. \end{cases}$$

Теорема доказана.

#### 4. Теория поверхностей в $R_4^1$ .

Приведем некоторые факты из теории поверхностей в  $R_4^1$ . Особенность метрики пространства не дает возможность изучить произвольные поверхности в галилеевом пространстве  $R_4^1$ . Поэтому, чтобы отстранит особенности связанные с метрикой выберем,

специальную систему координат на поверхности.[4] Этот выбор возможен только в поверхностях не имеющие особые касательные плоскости. При этом одну из координатныхлинии выберем так, чтобы она совпало пересечением поверхности с особыми плоскостями  $t = const$ .

При таком выборе координат векторное уравнение поверхности  $F$  имеет вид:

$$\vec{r}(t, u, v) = t\vec{e} + x(t, u, v)\vec{i} + y(t, u, v)\vec{j} + z(t, u, v)\vec{k}. \quad (9)$$

По аналогии евклидова пространства, определим длину дуги кривой линии на поверхности, то есть первую квадратичную форму поверхности (9).

**Теорема 2.** Первая квадратичная форма поверхности (9) имеет вид

$$I = ds^2 = \begin{cases} dt^2 \text{ при } t \neq const; \\ Edu^2 + 2Fdudv + Gdv^2 \text{ при } t = const. \end{cases}$$

**Доказательство.** Пусть кривая  $\gamma$  на поверхности (9) задано параметрическим уравнением

$$\gamma: \begin{cases} t = t(l), \\ u = u(l), \\ v = v(l). \end{cases}$$

Тогда полный дифференциал кривой  $\gamma$

$$\frac{dr}{dl} = r_t \frac{dt}{dl} + r_u \frac{du}{dl} + r_v \frac{dv}{dl}.$$

Из уравнения поверхности (9)

$$\begin{cases} r_t = \vec{e} + x_t \vec{i} + y_t \vec{j} + z_t \vec{k}; \\ r_u = x_u \vec{i} + y_u \vec{j} + z_u \vec{k}; \\ r_v = x_v \vec{i} + y_v \vec{j} + z_v \vec{k}. \end{cases}$$

$$E = \vec{r}_u^2 = x_u^2 + y_u^2 + z_u^2, \quad G = \vec{r}_v^2 = x_v^2 + y_v^2 + z_v^2, \quad F = \vec{r}_u \vec{r}_v = x_u x_v + y_u y_v + z_u z_v$$

Получим

$$I = ds^2 = \begin{cases} dt^2 & \text{при } t \neq const; \\ Edu^2 + 2Fdudv + Gdv^2 & \text{при } t = const. \end{cases}$$

что и требовалось доказать.

Теперь в  $R_4^1$  определим вторую квадратичную форму поверхности (9).

Рассмотрим точки  $M$  на поверхности  $F$ , и через  $\pi$  - обозначим касательную плоскость. Поверхности  $F$  в этой точке, которая не является особой плоскостью. Особую плоскость проходящей через точки  $M$  обозначим  $\pi_3$ , тогда вектор  $\vec{r}_t$  - будет ортогональным вектором этой плоскости[5].

Следовательно, коэффициенты первой квадратичной формы:

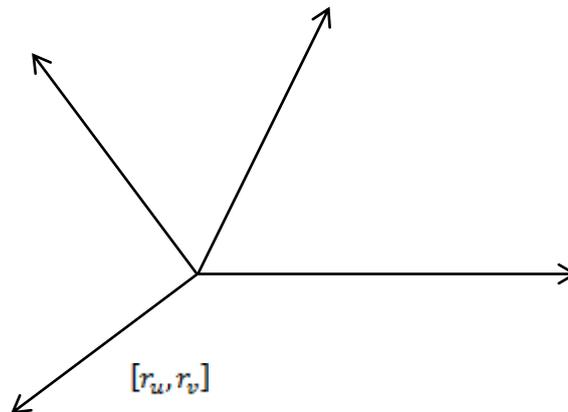
- а) Если  $t \neq const$ ,  $ds^2 = dt^2$   
 б) когда  $t \neq const$ , то  $dt = 0$  и

$$ds^2 = Edu^2 + 2Fdudv + Gdv^2$$

Здесь

Векторы  $\vec{r}_u, \vec{r}_v, \vec{r}_t$  - принадлежат касательной плоскости  $\pi$ . Причем векторы  $\vec{r}_u, \vec{r}_v$  - принадлежат особой плоскости  $\pi_3$ .

Рассмотрим векторную произведению векторов  $\vec{r}_u$  и  $\vec{r}_v$ , то есть векторную произведению в евклидовом смысле, так как  $\pi_3$  - евклидова. Тогда  $\vec{r}_u, \vec{r}_v$  и  $[\vec{r}_u, \vec{r}_v]$  образует линейно независимую базис в  $\pi_3$ .



Векторы  $\vec{r}_u, \vec{r}_v, \vec{r}_t$  и  $[\vec{r}_u, \vec{r}_v]$  составляют базис в точке  $M \in F$  пространства  $R_4^1$ . Вектор  $[\vec{r}_u, \vec{r}_v]$  в галилеевом смысле является ортогональным векторам  $\vec{r}_u, \vec{r}_v, \vec{r}_t$ . Поэтому единичный вектор направленный по вектору  $[\vec{r}_u, \vec{r}_v]$  принимаем как

нормаль касательной плоскости поверхности  $F$  в точке в  $M$  [4]. Тогда она имеет следующий вид [10]

$$\vec{n} = \frac{[\vec{r}_u, \vec{r}_v]}{\|[\vec{r}_u, \vec{r}_v]\|} = \frac{\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{vmatrix}}{\sqrt{EG - F^2}} = 0\vec{e} + \begin{vmatrix} y_u & z_u \\ y_v & z_v \end{vmatrix} \vec{i} + \begin{vmatrix} z_u & x_u \\ z_v & x_v \end{vmatrix} \vec{j} + \begin{vmatrix} x_u & y_u \\ x_v & y_v \end{vmatrix} \vec{k}.$$

По аналогии евклидову пространству определим вторую квадратичную форму поверхности.

$$d^2r = r_{tt} dt^2 + r_{uu} du^2 + r_{vv} dv^2 + 2r_{tu} dt du + 2r_{tv} dt dv + 2r_{uv} du dv + r_t d^2t + r_u d^2u + r_v d^2v.$$

Вектор  $d^2r$  скалярно умножив на вектор  $\vec{n}$  и учитывая, что

$$(\vec{n} \cdot r_t)_1 = (\vec{n} \cdot r_u) = (\vec{n} \cdot r_v) = 0, \\ (\vec{n} \cdot d^2r) = \vec{n} \cdot r_{tt}dt^2 + \vec{n} \cdot r_{uu}du^2 + \vec{n} \cdot r_{vv}dv^2 + 2\vec{n} \cdot r_{tu}dtdu + 2\vec{n} \cdot r_{tv}dtdv + 2\vec{n} \cdot r_{uv}dudv.$$

Тогда вторая квадратичная форма поверхности  $F$  имеет вид

$$\Pi = (\vec{n} \cdot d^2r) = Ldt^2 + Mdu^2 + Ndv^2 + 2Pdtdu + 2Qdtdv + 2Rdudv. \quad (10)$$

Здесь

$$L = \vec{r}_{tt}\vec{n} = \frac{\begin{vmatrix} x_{tt} & y_{tt} & z_{tt} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{vmatrix}}{\sqrt{EG - F^2}}; M = \vec{r}_{uu}\vec{n} = \frac{\begin{vmatrix} x_{uu} & y_{uu} & z_{uu} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{vmatrix}}{\sqrt{EG - F^2}}; \\ N = \vec{r}_{vv}\vec{n} = \frac{\begin{vmatrix} x_{vv} & y_{vv} & z_{vv} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{vmatrix}}{\sqrt{EG - F^2}}; P = \vec{r}_{tu}\vec{n} = \frac{\begin{vmatrix} x_{tu} & y_{tu} & z_{tu} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{vmatrix}}{\sqrt{EG - F^2}}; \\ Q = \vec{r}_{tv}\vec{n} = \frac{\begin{vmatrix} x_{tv} & y_{tv} & z_{tv} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{vmatrix}}{\sqrt{EG - F^2}}; R = \vec{r}_{uv}\vec{n} = \frac{\begin{vmatrix} x_{uv} & y_{uv} & z_{uv} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{vmatrix}}{\sqrt{EG - F^2}}.$$

За уравнение индикатрисы поверхности  $F$  в точке в  $M$  галилеевом пространстве  $R_4^1$  по принимаем поверхность заданной уравнением (10).

**5. Преобразовании индикатриса поверхности в  $R_4^1$ .**

Касательная плоскость  $\pi$  поверхности  $F \in R_4^1$  в точке  $M$  является трёхмерным пространством галилеево  $R_3^1$ . Причем векторы  $\vec{r}_u, \vec{r}_v, \vec{r}_t$  образуют базис в  $R_3^1$ . Двумерные плоскости параллельные вектором  $\vec{r}_u, \vec{r}_v$  - являются особыми плоскостями в  $\pi$  [7].

Если, за индикатрису поверхности  $F$  (10) в точке  $M$  галилеевом пространстве  $R_4^1$  принимаем, поверхность определяемой второй квадратичной формой поверхности (10), то доказанной теоремой следует возможность приведение его каноническому виду.

При этом, координатные линии систему координат на  $\pi$  считаем совпадающими направлениями векторов  $\vec{r}_u, \vec{r}_v, \vec{r}_t$ .

Тогда имеем следующую соответствие:

$$\begin{cases} k_1 = 1 + Mh_1^2 + a_{3N}h_2^2 + 2Ph_1 + 2Qh_2 + 2Rh_1h_2, \\ k_2 = M \cos^2 \alpha + N \sin^2 \alpha + 2R \sin \alpha \cos \alpha, \\ k_3 = M \sin^2 \alpha + N \cos^2 \alpha - 2R \sin \alpha \cos \alpha. \end{cases}$$

По аналогии евклидово пространства,  $k_1, k_2, k_3$  назовем главными кривизнами поверхности в точке  $M$  поверхности  $F$ .

**Литература**

1. Theodore Shifrin. Differential Geometry: Curves and Surfaces. University of Georgia. 2012.
2. А.Артыкбаев, Д.Д.Соколов. «Геометрия в целом в плоском пространстве-времени» Ташкент. «Фан» 1991.г
3. А.В.Хачатурян . «Геометрия Галилея» Издательство Московского центра непрерывного математического образования Москва • 2005
4. Розенфельд Б. А. Многомерные пространства. - М.: Наука, 1966.

5. A.R.Nurbayev. «Properties of Special Ellipsoids Family» European Academic Research. Vol VII, Issue 8/November 2018
6. И.М. Яглом. “Принцип относительности Галилея и неевклидова геометрия” М., Наука, 1969
7. А.Артыкбаев, В.М.Султанов. “ Invariants of surface indicatrix in a special linear transformation” Mathematics and statistics. 7(4) : 106-115,2019
8. Бердинский Д.А. “О минимальных поверхностях в группе Гейзенберга”, Вестник Кемеровского государственного университета, 2011, № 3-1, 34–38
9. Розенфельд Б. А. “Неевклидовы пространства”. М., 1969.
10. Погорелов А.В. “Геометрия Издательство”. Наука. Год. 1983

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Tb_xSn_{1-x}Se$

**Османов С.Ф.**

Кандидат физико-математических наук  
Азербайджанское высшее военное училище имени Гейдара Алиева,  
г. Баку, Азербайджанская Республика

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию влияния термической обработки на теплопроводность твердых растворов  $Tb_xSn_{1-x}Se$  ( $x = 0 \div 0,15$ ). Исследования теплопроводности проводились в интервале температур  $T = 77 - 400K$  до и после термической обработки. Анализ результатов измерений показал, что после термической обработки ( $T = 573K$  и  $673K$ ) теплопроводность в образцах при температуре  $T = 90K$  растет на  $(18 - 23) \%$ , а при температуре  $T = 305K$  растет на  $(9 - 12) \%$ .

**Ключевые слова:** Твердые растворы, термическая обработка, теплопроводность, вакансии, фононы.

### Введение

В последние годы возрос интерес к созданию преобразователей тепловой энергии в электрическую на основе термоэлектрических преобразователей. К полупроводниковым материалам, применяемым в подобных преобразователях, выдвигаются требования к устойчивости внешним воздействиям: коррозии, влажности, давлению, радиации и т.д. К таким материалам относятся соединения и твердые растворы на основе  $A^{IV}B^{VI}$  с участием редкоземельных металлов [1-4]. Редкоземельные металлы отличаются специфическими свойствами [5,6]. Атомы редкоземельных металлов (РЗМ) имеют на внутренних  $f$ -уровнях подвижные электроны, которые с легкостью участвуют в переходах  $f - d - s$ , их воздействие на внешние электроны приводит к изменению валентности. В результате участия РЗМ в составах меняется их физические свойства. Составы с участием РЗМ проявляют новые оптические, термоэлектрические, люминесцентные, магнитные свойства [7,8].

В работе [9] были проведены исследования термоэлектрических свойств твердых растворов  $Ce_xSn_{1-x}Se$  и  $Sm_xSn_{1-x}Se$ . Авторами было установлено, что твердые растворы этих систем обладают улучшенными термоэлектрическими свойствами. В работе [10] изучалась теплопроводность системных сплавов  $(SnSe)_{1-x} - (SmSe)_x$ . Авторы установили, что теплопроводность твердых растворов заметно уменьшается с ростом содержания РЗМ. По этой причине изучения физических свойств сложных составов с участием РЗМ вызывает большой интерес.

В работе [11] изучалась зависимость термоэ.д.с. и электропроводности от температуры и состава в кристаллах  $Tb_xSn_{1-x}Se$ . Было установлено, что с ростом содержания тербия, термоэ.д.с. и электропроводность уменьшаются. Это непосредственно связано со степенью ионизации. Аномальные изменения, наблюдаемые в кристаллах  $p - SnSe$ , ослабляются в кристаллах  $Tb_xSn_{1-x}Se$ . С учетом вышеуказанных фактов возникла необходимость исследовать теплопроводность, а также влияние термической

обработки на теплопроводность твердых растворов  $Tb_xSn_{1-x}Se$ .

### Экспериментальная часть

Исследования теплопроводности производились на серии образцов  $Tb_xSn_{1-x}Se$  (№1 -  $x_1 = 0,00$ ; №2 -  $x_2 = 0,005$ ; №3 -  $x_3 = 0,010$ ; №4 -  $x_4 = 0,015$ ) термоэ.д.с. и электропроводность которых были изучены в [11]. Проведенные рентгенофазовый анализ, дифференциально термический анализ подтвердили полное соответствие стехиометрии составов. Из кристаллов были изготовлены образцы с размерами  $(3 \times 6 \times 20) \text{мм}^3$  и помимо измеренных кинетических параметров [11] было исследовано теплопроводность в интервале температур  $T = 77 - 420K$ . Измерения проводились в стационарном режиме компенсационным методом. При измерениях использовались вольтметры марки В7-21; В7-2А, потенциометр марки Р4833, измерительные приборы марки US4312 и ТЕС41. Измерения проводились в криостате в котором был установлен вакуум порядка 0,1 Па. Погрешность измерения составил 6,5%. Значения коэффициента теплопроводности вычислялись по формуле

$$\chi = \frac{\omega - \Sigma L}{\Delta T \cdot S},$$

где  $\omega = J \cdot U$  мощность нагревателя,  $\Sigma = Q_{\text{наг}} + Q_{\text{изл}}$ ,  $Q_{\text{наг}}$  - тепловые потери, связанные с нагреванием проводов,  $Q_{\text{изл}}$  - тепловые потери связанные с излучением,  $L$  - длина образца,  $S$  - площадь поперечного сечения образца. В процессе измерения температурный градиент вдоль образца составлял  $\Delta T = 6 - 8K$ .

### Анализ результатов эксперимента

Полученные твердые растворы системы  $Tb_xSn_{1-x}Se$  являются компенсированными полупроводниками р-типа. Значение термо-э.д.с.  $S$  при комнатной температуре уменьшается пропорционально с увеличением содержания  $Tb$  в составах. В образцах  $x_4 = 0,015$  термо-э.д.с. уменьшается в  $\frac{S_0(SnSe)}{S_4} = \frac{400}{175} = 2,3$  раза, а электропроводность  $\sigma$  - уменьшается в 4 раза [11]. Опыты показали, что энергия активации

носителей заряда в образцах уменьшается с увеличением содержания  $Tb$ . В соединении  $p-SnSe \epsilon_{акт} \approx 0,62 \text{эВ}$ , а при  $x_2 = 0,005 \epsilon_{акт2} \approx 0,50 \text{эВ}$ , при  $x_3 = 0,010 \epsilon_{акт3} \approx 0,20 \text{эВ}$ ; при  $x_4 = 0,015 \epsilon_{акт4} \approx 0,08 \text{эВ}$ . Эти значения энергии активации соответствуют интервалу температур  $T = 300 - 450 \text{К}$ . С повышением температуры за счет активации более внутренних энергетических уровней повышается электропроводность исследуемых образцов ( $T > 500 \text{К}$  [11]). В данной работе, как продолжение [11] исследованы теплопроводность и влияние термической обработки на теплопроводность этих образцов. Результаты исследований приведены на рисунке 1, а также в

таблицах. Как видно из рисунка, с увеличением содержания тербия в составах уменьшается величина коэффициента теплопроводности  $\chi$ . С другой стороны с ростом температуры значение общей теплопроводности  $\chi_{общ}$  уменьшается. Темп уменьшения  $\chi$  в этих составах, в отличие от кристалла  $SnSe$ , различен. Надо отметить, что электронная доля  $\chi_{эл}$  мала: при  $T = 77 - 300 \text{К}$  имеет величина  $\chi_{эл} \approx 0,006 - 0,008\%$ . По этой причине  $\chi_{об} \approx \chi_{реш}$ . Как видно из графиков, величина коэффициента теплопроводности относительно низка, уменьшение  $\chi$  с температурой в  $3 \div 6$  раз.

В таблицах представлены данные по теплопроводности до и после термической обработки, а также указан процентный рост  $\chi$ .

До термической обработки				
Составы	$\chi \cdot 10^{-1} \frac{Bm}{m \cdot K} T=90K$		$\chi \cdot 10^{-1} \frac{Bm}{m \cdot K} T=305K$	
0,0	65		17,8	
0,005	45		13	
0,010	38		9,1	
0,015	29		7,2	
После термической обработки $T=573K; t=120$ часов				
Составы	$\chi \cdot 10^{-1} \frac{Bm}{m \cdot K} T=90K$	рост %	$\chi \cdot 10^{-1} \frac{Bm}{m \cdot K} T=305K$	рост %
0,0	71,7	10,31	19,05	12,06
0,005	49,6	10,22	14,4	10,77
0,010	42,8	12,63	9,96	9,50
0,015	32,9	13,45	7,68	6,67
После термической обработки $T=673K; t=120$ часов				
Составы	$\chi \cdot 10^{-1} \frac{Bm}{m \cdot K} T=90K$	рост %	$\chi \cdot 10^{-1} \frac{Bm}{m \cdot K} T=305K$	рост %
0,0	76,7	18	19,8	11,24
0,005	55,6	23,66	14,6	12,31
0,010	46,8	23,2	10,19	11,98
0,015	33,68	16,14	7,83	8,75

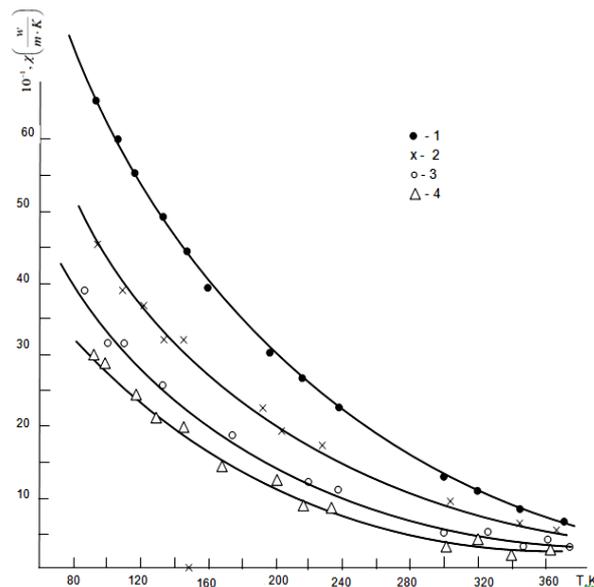


Рисунок 1. Зависимость теплопроводности кристаллов  $Tb_xSn_{1-x}Se$  от температур  
 1 -  $x = 0,00$ ; 2 -  $x = 0,005$ ; 3 -  $x = 0,010$ ; 4 -  $x = 0,015$

Полученные результаты показывают, что термическая обработка улучшает теплопроводность составов. Это обусловлено тем, что термическая обработка компенсирует часть центров вакансий, образованных из-за избытка атомов  $Se$ , и улучшает перенос теплового потока (ослабляет ангармонизм фононных процессов). Таким образом, было установлено, что исследованные твердые растворы  $Tb_xSn_{1-x}Se$  обладают  $p$ -типом проводимости в интервале температур  $T=77-400K$  имеют низкую теплопроводность. Термическая обработка очищает часть вакантных центров и одновременно увеличивает порядок атомов  $Tb$  в кристалле. И это улучшает стационарный тепловой поток в кристалле, чем объясняется в целом процентное изменение  $\chi$ .

### Список литературы

1. Под ред. Жузе В.П. «Физические свойства халькогенидов редкоземельных элементов» Наука Л. 1973, 303 с.
2. Sh.S.Ismailov, I.I.Huseynov, M.A.Musaev and Abbasov V.A., Abdurakhmanova « Effect of doping level and compensation thermal conductivity in  $Ce_xSn_{1-x}Se$  solid solutions » Low Temperature Physics /Fizika Nizkikh Temperatur. 2020, vol 46. №11, pp. 1310-1317.
3. S.Wang, S.Hui, K.Peng, T.P.Bailcy, W.Liu, Y.Yan, X.Hou, X.Tang and C.Uher. Appl. Phys. Lett 112, 142102 (2018).
4. M.R.Burton, S.Mehraban, D.Beynon, S.MeGettrick, T.Watson, N.P.Lavery and M.I.Carnie. Adv.Energy Mater. 9.1900201 (2019).
5. I.I.Huseynov, M.I.Murquzov, R.F.Mamedova and Sh.S.Ismailov «Thermal Conductivity and Termal EMF of materials for Thermal Energy Converters» In TPE-06.3rd Intern. Conf. on Tehnical and Physical Problems in Power Engineering. Ankara (2006) p.804.
6. S.R.Papuri, M.Pollet, R.Decourt, M.L.Viciu and I.W.G.Bos. Appl, Phys.Lett 110(25) 253903 (2017).
7. S.Li, Z.Tong and H.Bao, I.Appl. Phys. 126 (2) 025111 (2019).
8. V.Ə.Abdurəhmanova “ $(SnSe)_{1-x} - (SmSe)_x$  system ərintilərinin istilikkeçiriciliyi” BDU (2017) konfransı
9. Штерн Ю.Ц. «Методика исседования тепло и электрофизических свойств материалов» Ж.Заводская лаборатория: 2008-№6. Том 74 с 32-36.
10. Попов П.А., Федоров П.П., Осико В.В. «Теплопроводность монокристаллов со структурой флюорита» Физика твердого тела 2010, Том 52. В 3. С.469-472.
11. S.F.Osmanov, G.P.Paşayev , Ş.S.İsmayilov, S.T.Səfərova, M.Ə.Həsənova « $Tb_xSn_{1-x}Se$  kristallarında termo e.h.q. və elektrik keçiriciliyinin tərkib və temperatur asılılığı» Heydər Əliyev adına Azərbaycan Ali Hərbi Məktəbinin Elmi Əsərlər Məcmuəsi,2019, №2(33), səh.56-59

УДК. 539.3.534.1.

---

## О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЛН В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

---

<sup>1</sup> *Поленов В.С.*, <sup>2</sup> *Ницак Д.А.*

*1 доктор физико-математических наук. ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина  
2 кандидат технических наук ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина*

*Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 А.*

### РЕФЕРАТ

Рассматривается математическая модель распространения волн в трехкомпонентных упругих средах, насыщенных жидкостью и газом, заданных модулями упругости и коэффициентами, характеризующие пористость и сжимаемость жидкости и газа.

Трехкомпонентные среды необходимо учитывать при решении значительного числа прикладных задач, возникающих в различных областях человеческой деятельности (грунты, пористые спеченные композиционные материалы, строительные материалы, нефтедобывающая промышленность и т. п.). Однако, сложность описания эффектов взаимодействия компонент, теплообмена и других сопутствующих процессов привели к тому, что до настоящего времени общепринятые модели (упругая среда-жидкость-газ) полностью не разработаны. Поэтому представляет интерес разработка такой математической трехкомпонентной модели, которая могла бы учитывать пористость такой среды.

В данной публикации на основе теории разрывов, обобщенного закона Гука и уравнений движения среды, получены формулы для определения скорости распространения волновой поверхности (волн ускорения) в трехкомпонентных пористых средах.

### ABSTRACT

A mathematical model of wave propagation in three-component elastic media saturated with liquid and gas, given by elastic moduli and coefficients characterizing the porosity and compressibility of the liquid and gas, is considered.

Three-component media must be taken into account when solving a significant number of applied problems arising in various fields of human activity (soils, porous sintered composite materials, building materials, oil industry, etc.). However, the complexity of describing the effects of the interaction of components, heat transfer, and other related processes has led to the fact that, until now, generally accepted models (elastic medium-liquid-gas) have not been fully developed. Therefore, it is of interest to develop such a mathematical three-component model that could take into account the porosity of such a medium.

In this publication, based on the theory of discontinuities, the generalized Hooke's law, and the equations of motion of a medium, formulas are obtained for determining the propagation velocity of a wave surface (acceleration waves) in three-component porous media.

**Ключевые слова:** упругость, среда, жидкость, напряжение, деформация, перемещение, скорость.

**Keywords:** elasticity, medium, fluid, stress, deformation, displacement, velocity.

Распространению упругих волн в двухкомпонентных пористых средах посвящено ряд работ [1-4]. Среди этих работ следует отметить работы Био М.А. [1,2].

В данной работе рассматриваются волны ускорения в трехкомпонентной пористой среде, насыщенной жидкостью и газом. Взаимопроникающее движение упругой компоненты, жидкости и газа рассматривается как движение жидкости и газа в деформируемой пористой среде.

Будем предполагать, что размеры пор малы по сравнению с расстоянием, на котором существенно изменяются кинематические и динамические характеристики движения. Это позволяет считать, что все три среды сплошными и в каждой точке пространства имеется три вектора смещения.

Доказано, что в такой среде в общем случае распространяется три волны ускорения, скорости которых существенным образом зависят от направления распространения волновой поверхности и построены графики зависимости скорости ускорения от пористости среды.

Запишем систему уравнений, определяющую динамическое поведение упругой, насыщенной жидкостью и газом трехкомпонентной среды в скоростях перемещений компонент [5]: по формулам:

- продифференцированные по времени: полный тензор напряжения в упругом изотропном скелете при наличии жидкости и газа в порах и сил, действующих на жидкость и газ, отнесенные к единице площади поперечного сечения пористой среды, записанных в тензорной форме

$$\begin{aligned} \dot{T}_{ij} &= \lambda V_{k,k}^{(1)} \delta_{ij} + \mu (V_{i,j}^{(1)} + V_{j,i}^{(1)}) + \sum_{l=2}^3 A_{1l} V_{k,k}^{(l)} \delta_{ij} \\ \dot{F}_\alpha &= \sum_{m=2, n=1}^3 A_{mn} V_{k,k}^{(t)} \\ (\alpha &= 1, 2; \dot{F}_1 = \dot{N}; \dot{F}_2 = \dot{P}; i = 1, 2, 3) \end{aligned} \quad (1)$$

-уравнения движения пористой среды

$$\begin{aligned} \sum_{m=1, n=1}^3 \rho_{mn} \dot{V}_i^{(k)} &= F_{i\alpha} \quad k = 1, 2, 3; \alpha = 1, 2, 3 \\ F_{1i} &= T_{ij,j}; F_{2i} = N_i; F_{3i} = P_i \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь  $\lambda, \mu$  – коэффициенты Ламе;  $\rho_{11}, \rho_{22}, \rho_{33}$  – эффективные плотности твердой компоненты, жидкости и газа соответственно;  $\rho_{12} < 0, \rho_{13} < 0, \rho_{23} < 0$  – коэффициенты динамической связи скелета, жидкости и газа, предполагается  $\rho_{ij} = \rho_{ji}$ ;  $A_{mn} = A_{nm}$  – коэффициенты, характеризующие пористость среды и сжимаемость жидкости и газа;  $V_i^{(\alpha)}$ , ( $\alpha = 1, 2, 3$ ) – скорости перемещения компонент; в скобках цифры вверху обозначают: 1 – твердая компонента, 2 – жидкость, 3 – газ; точки над величинами означают производные по времени; индекс после запятой – производную по

соответствующей координате; латинские индексы принимают значения 1, 2, 3. По повторяющимся индексам здесь и в дальнейшем проводится суммирование от 1 до 3.

Под волной ускорения (волновая поверхность) в насыщенной жидкостью и газом трехкомпонентной пористой среде понимается изолированная поверхность, на которой напряжения, силы, действующие на жидкость и газ и скорости перемещения компонент непрерывны, а их некоторые частные производные терпят разрыв.

Запишем соотношения (1) и уравнения движения (2) на различных сторонах волновой поверхности  $\Sigma(t)$  [6-7]

$$[T_{ij}] = A'[V_{k,k}^{(1)}]\delta_{ij} + A''([V_{i,j}^{(1)}] + [V_{j,i}^{(1)}]) + \sum_{l=2}^3 A_{1l}[V_{k,k}^{(l)}]\delta_{ij}$$

$$[\dot{F}_\alpha] = \sum_{m=2;n=1}^3 A_{mn}[V_{k,k}^{(i)}] \quad (3)$$

$$(\alpha = 1, 2; \dot{F}_1 = \dot{N}; \dot{F}_2 = \dot{P}; i = 1, 2, 3)$$

$$\sum_{m=1;n=1}^3 \rho_{mn} [\dot{V}_i^{(k)}] = [F_{i\alpha}]$$

где  $A'_{11} = \lambda, A''_{11} = \mu$ , а символом  $[ ]$  обозначается разность между значениями функции на задней и передней сторонах поверхности разрыва.

К соотношениям и уравнениям движения (3) применим кинематические и геометрические условия совместности первого порядка на поверхности разрыва

$$[T_{ik,k}] = s_{ik}v_k, [\dot{T}_{ik}] = -s_{ik}G, [N_{,k}] = \eta v_k, [\dot{N}] = -\eta G$$

$$[P_{,i}] = \gamma v_i, [\dot{P}] = -\gamma G, [V_{i,k}^{(\alpha)}] = \lambda_i^{(\alpha)} v_k, [\dot{V}_i^{(\alpha)}] = -\lambda_i^{(\alpha)} G \quad (\alpha = 1, 2, 3) \quad (4)$$

Здесь  $s_{ik}, \eta, \gamma, \lambda_i^{(1)}, \lambda_i^{(2)}, \lambda_i^{(3)}$  величины, характеризующие скачки первых производных напряжений, сил, действующих на жидкость и газ и скоростей перемещения компонент;  $v_i$  — единичный вектор нормали к волновой

поверхности;  $G$  — скорость распространения волновой поверхности (волны ускорения) пористой среды.

Используя условия совместности (4), формулы (3) запишем в виде

$$A'_{11}\lambda_k^{(1)}v_k\delta_{ij} + A''_{11}(\lambda_i^{(1)}v_j + \lambda_j^{(1)}v_i) + A_{12}\lambda_k^{(2)}v_k\delta_{ij} + A_{13}\lambda_k^{(3)}v_k\delta_{ij} = -s_{ij}G$$

$$\sum_{m=2;n=1}^3 A_{mn}\lambda_k^{(i)}v_k = -\eta_i G \quad (i = 1, 2)$$

$$\sum_{m=1;n=1}^3 \rho_{mn}\lambda_i^{(k)}G = -\eta^{(\alpha)}v_i \quad (5)$$

$$\rho_{11}\lambda_i^{(1)}G + \rho_{12}\lambda_i^{(2)}G + \rho_{13}\lambda_i^{(3)}G = -s_{ij}v_j$$

$$\rho_{21}\lambda_i^{(1)}G + \rho_{22}\lambda_i^{(2)}G + \rho_{23}\lambda_i^{(3)}G = -\eta v_i$$

$$\rho_{31}\lambda_i^{(1)}G + \rho_{32}\lambda_i^{(2)}G + \rho_{33}\lambda_i^{(3)}G = -\gamma v_i$$

Исключая из (5) величины  $s_{ij}, \eta$  и  $\eta_3 = \gamma$ , получим однородную систему уравнений

относительно  $\lambda_k^{(1)}, \lambda_k^{(2)}, \lambda_k^{(3)}$

$$A'_{11}\lambda_k^{(1)}v_kv_i + A''_{11}(\lambda_i^{(1)} + \lambda_j^{(1)}v_jv_i) + A_{12}\lambda_k^{(2)}v_kv_i + A_{13}\lambda_k^{(3)}v_kv_i = \rho_{11}G^2\lambda_i^{(1)} + \rho_{12}G^2\lambda_i^{(2)} + \rho_{13}G^2\lambda_i^{(3)}$$

$$A_{21}\lambda_k^{(1)}v_kv_i + A_{22}\lambda_k^{(2)}v_kv_i + A_{23}\lambda_k^{(3)}v_kv_i = \rho_{21}G^2\lambda_i^{(1)} + \rho_{22}G^2\lambda_i^{(2)} + \rho_{23}G^2\lambda_i^{(3)}$$

$$A_{31}\lambda_k^{(1)}v_kv_i + A_{32}\lambda_k^{(2)}v_kv_i + A_{33}\lambda_k^{(3)}v_kv_i = \rho_{31}G^2\lambda_i^{(1)} + \rho_{32}G^2\lambda_i^{(2)} + \rho_{33}G^2\lambda_i^{(3)} \quad ((6))$$

Из системы (6) получим формулы для определения скоростей продольных и поперечных волн ускорения.

Рассмотрим продольные волны. Для этого положим в системе (6), что  $\lambda_k^{(\alpha)} v_k \neq 0$  на волновой

поверхности. После умножим (6) на  $v_i$  и просуммируем по повторяющемуся индексу  $i$ , получим однородную систему трех линейных уравнений относительно  $\omega_\alpha = \lambda_i^{(\alpha)} v_i$  ( $\alpha = 1,2,3$ )

$$\begin{aligned} (A_{11} - \rho_{11}G_l^2)\omega_1 + (A_{12} - \rho_{12}G_l^2)\omega_2 + (A_{13} - \rho_{13}G_l^2)\omega_3 &= 0 \\ (A_{21} - \rho_{21}G_l^2)\omega_1 + (A_{22} - \rho_{22}G_l^2)\omega_2 + (A_{23} - \rho_{23}G_l^2)\omega_3 &= 0 \\ (A_{31} - \rho_{31}G_l^2)\omega_1 + (A_{32} - \rho_{32}G_l^2)\omega_2 + (A_{33} - \rho_{33}G_l^2)\omega_3 &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

ИЛИ

$$(A_{ij} - \rho_{ij}G_l^2)\omega_i = 0$$

Запишем систему (7) в безразмерной форме. Для этого разделим по-членно все слагаемые на  $\rho H$ . После преобразования, получим

$$\begin{aligned} \left\{ \sigma_{11} \frac{H}{\rho} - \gamma_{11}G_l^2 \right\} \omega_1 + \left( \sigma_{12} \frac{H}{\rho} - \gamma_{12}G_l^2 \right) \omega_2 + \left( \sigma_{13} \frac{H}{\rho} - \gamma_{13}G_l^2 \right) \omega_3 &= 0 \\ \left( \sigma_{21} \frac{H}{\rho} - \gamma_{21}G_l^2 \right) \omega_1 + \left( \sigma_{22} \frac{H}{\rho} - \gamma_{22}G_l^2 \right) \omega_2 + \left( \sigma_{23} \frac{H}{\rho} - \gamma_{23}G_l^2 \right) \omega_3 &= 0 \\ \left( \sigma_{31} \frac{H}{\rho} - \gamma_{31}G_l^2 \right) \omega_1 + \left( \sigma_{32} \frac{H}{\rho} - \gamma_{32}G_l^2 \right) \omega_2 + \left( \sigma_{33} \frac{H}{\rho} - \gamma_{33}G_l^2 \right) \omega_3 &= 0 \end{aligned} \quad ((8(8))$$

ИЛИ

$$\left( \sigma_{ij} \frac{H}{\rho} - \gamma_{ij}G_l^2 \right) \omega_i = 0$$

где введены следующие обозначения:

$$\gamma_{ij} = \frac{\rho_{ij}}{\rho}$$

$$\rho = \rho_{11} + \rho_{22} + \rho_{33} + 2(\rho_{12} + \rho_{13} + \rho_{23})$$

$$\sigma_{11} = \frac{A_{11}}{H}, \sigma_{12} = \sigma_{21} = \frac{A_{12} - A_{21}}{H}, \sigma_{22} = \frac{A_{22}}{H}$$

$$\sigma_{13} = \sigma_{31} = \frac{A_{13} - A_{31}}{H}, \sigma_{23} = \sigma_{32} = \frac{A_{23} - A_{32}}{H}, \sigma_{33} = \frac{A_{33}}{H} \quad (9)$$

$$H = \Lambda + 2(A_{12} + A_{13} + A_{23}) + A_{22} + A_{33}, A_{11} = A'_{11} + 2A''_{11} = \lambda + 2\mu$$

$$\gamma_{11} + \gamma_{22} + \gamma_{33} + 2(\gamma_{12} + \gamma_{13} + \gamma_{23}) = 1$$

$$\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33} + 2(\sigma_{12} + \sigma_{13} + \sigma_{23}) = 1$$

Здесь  $G_l$ -скорость распространения волновой поверхности пористой среды в продольном направлении.

Запишем систему (8) в матричной форме [8]

$$\Gamma \Omega = 0 \quad (9)$$

где  $\Gamma$  – матрица, состоящая из коэффициентов при неизвестных, которая называется матрицей

системы (8);  $\Omega$  – матрица - столбец, состоящая из неизвестных;  $0$  – матрица - столбец системы, в которой все свободные члены равны нулю.

$$\Gamma = \left( \sigma_{ij} \frac{H}{\rho} - \gamma_{ij} G_l^2 \right), \Omega = \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{pmatrix}, 0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Квадратная однородная система (9), имеет нетривиальные решения относительно  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ , тогда и только тогда, когда определитель матрицы  $\mathbf{A}$ , составленный из коэффициентов при неизвестных, равен нулю

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sigma_{11} \frac{H}{\rho} - \gamma_{11} G_l^2 & \sigma_{12} \frac{H}{\rho} - \gamma_{12} G_l^2 & \sigma_{13} \frac{H}{\rho} - \gamma_{13} G_l^2 \\ \sigma_{12} \frac{H}{\rho} - \gamma_{12} G_l^2 & \sigma_{22} \frac{H}{\rho} - \gamma_{22} G_l^2 & \sigma_{23} \frac{H}{\rho} - \gamma_{23} G_l^2 \\ \sigma_{13} \frac{H}{\rho} - \gamma_{13} G_l^2 & \sigma_{23} \frac{H}{\rho} - \gamma_{23} G_l^2 & \sigma_{33} \frac{H}{\rho} - \gamma_{33} G_l^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (11)$$

ИЛИ

$$\left| \sigma_{ij} \frac{H}{\rho} - \gamma_{ij} G_l^2 \right| = 0$$

Для вычисления определителя  $\Delta$  справедлива формула разложения данного определителя по элементам  $i$ -го столбца или  $j$ -ой строки.

Раскрывая определитель (11), получим кубическое уравнение относительно продольных волн ускорения  $G_l = \sqrt{y}$

$$ay^3 + \frac{bH}{\rho}y^2 + \frac{kH^2}{\rho^2}y + \frac{fH^3}{\rho^3} = 0$$

$$a = -\gamma_{11}\gamma_{22}\gamma_{33} + \gamma_{23}^2\gamma_{11} + \gamma_{12}^2\gamma_{33} - 2\gamma_{12}\gamma_{13}\gamma_{23} + \gamma_{13}^2\gamma_{22}$$

$$b = \sigma_{11}\gamma_{22}\gamma_{33} - \sigma_{11}\gamma_{23}^2 + \sigma_{22}\gamma_{11}\gamma_{33} + \sigma_{33}\gamma_{11}\gamma_{22} - 2\sigma_{23}\gamma_{11}\gamma_{23} - \sigma_{12}\gamma_{12}\gamma_{33} + \sigma_{12}\gamma_{13}\gamma_{23} - \sigma_{12}\gamma_{12}\gamma_{33} - \sigma_{33}\gamma_{12}^2 + \sigma_{23}\gamma_{12}\gamma_{13} + \sigma_{13}\gamma_{12}\gamma_{23} + \sigma_{13}\gamma_{12}\gamma_{23} - \sigma_{13}\gamma_{13}\gamma_{22} + \sigma_{12}\gamma_{13}\gamma_{23} + \sigma_{23}\gamma_{12}\gamma_{13} - \sigma_{22}\gamma_{13}^2 - \sigma_{13}\gamma_{13}\gamma_{22} \quad (12)$$

$$k = -\sigma_{11}\sigma_{22}\gamma_{33} - \sigma_{11}\sigma_{33}\gamma_{22} + 2\sigma_{11}\sigma_{23}\gamma_{23} - \sigma_{22}\sigma_{33}\gamma_{11} + \sigma_{23}^2\gamma_{11} + \sigma_{12}^2\gamma_{33} + \sigma_{12}\sigma_{33}\gamma_{12} - \sigma_{12}\sigma_{23}\gamma_{13} - \sigma_{12}\sigma_{13}\gamma_{22} + \sigma_{12}\sigma_{33}\gamma_{12} - \sigma_{13}\sigma_{23}\gamma_{12} - \sigma_{12}\sigma_{13}\gamma_{23} - \sigma_{13}\sigma_{23}\gamma_{12} + \sigma_{13}\sigma_{22}\gamma_{13} + \sigma_{13}^2\gamma_{22} - \sigma_{12}\sigma_{23}\gamma_{13} + \sigma_{13}\sigma_{22}\gamma_{13}$$

$$f = \sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33} - \sigma_{11}\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{13}^2 - \sigma_{33}\sigma_{12}^2 + 2\sigma_{12}\sigma_{13}\sigma_{23}$$

Решение кубического уравнения (12) находим по формулам Кардана [9]. Возможны три различные действительные корни или два мнимых корня и один действительный. Поэтому в трехкомпонентной пористой среде может распространяться три продольные волны ускорения.

Таким образом, в трехкомпонентной пористой среде распространяется три продольные волны в зависимости от дискриминанта кубического уравнения.

Если связь между компонентами жидкость-газ и упругость-газ в среде отсутствует  $\rho_{13} = 0$ ,  $\rho_{23} = 0$  и  $\sigma_{13} = 0, \sigma_{23} = 0, \sigma_{33} = 0$ , то уравнение (2.12) принимает вид

$$a_1y^2 + b_1y + k_1 = 0 \quad (13)$$

$$a_1 = \rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2, b_1 = 2\sigma_{12}\gamma_{12} - \sigma_{11}\gamma_{22} - \sigma_{22}\gamma_{11}, k_1 = \sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}^2$$

Уравнение (13) совпадает с уравнением работы [3].

Рассмотрим поперечные волны ускорения. Для этого положим в системе (6),  $\lambda_k^{(\alpha)} v_i = 0$ . Получим однородную систему трех линейных уравнений

относительно поперечной волны  $G_t$ , записанную в безразмерной форме

$$\begin{aligned} (\gamma_{11}G^2 - \sigma''_{11} \frac{H}{\rho})\lambda_i^{(1)} + \gamma_{12}G^2\lambda_i^{(2)} + \gamma_{13}G^2\lambda_i^{(3)} &= 0 \\ \gamma_{21}G^2\lambda_i^{(1)} + \gamma_{22}G^2\lambda_i^{(2)} + \gamma_{23}G^2\lambda_i^{(3)} &= 0 \\ \gamma_{31}G^2\lambda_i^{(1)} + \gamma_{32}G^2\lambda_i^{(2)} + \gamma_{33}G^2\lambda_i^{(3)} &= 0, \sigma''_{11} = \frac{\mu}{H} \end{aligned} \tag{14}$$

ИЛИ

$$\begin{aligned} (\gamma_{11}G_t^2 - \sigma''_{11} \frac{H}{\rho})\lambda_i^{(1)} + \gamma_{12}G_t^2\lambda_i^{(2)} + \gamma_{13}G_t^2\lambda_i^{(3)} &= 0 \\ \gamma_{mn}\lambda_i^{(\alpha)} &= 0 \\ (m = 2,3; n = 1,2,3; \alpha = 1,2,3) \end{aligned}$$

Раскроем определитель данной системы, распространения поперечных волн в пористой среде получим формулу для определения скорости трехкомпонентной пористой среде

$$G_t = \sqrt{\frac{\sigma'_{11}(\gamma_{22}\gamma_{33} - \gamma_{23}^2) \frac{H}{\rho}}{\gamma_{11}\gamma_{22}\gamma_{33} + 2\gamma_{12}\gamma_{13}\gamma_{32} - \gamma_{11}\gamma_{23}^2 - \gamma_{22}\gamma_{13}^2 - \gamma_{33}\gamma_{12}^2}} \tag{15}$$

Если в среде между компонентами отсутствует связь ( $\gamma_{12} = \gamma_{13} = \gamma_{23} = 0$ ), то скорость распространения волны в пористой среде сводится к скорости волны чист в упругой среде, которая определяется формулой

$$G_t = \sqrt{\frac{\sigma''_{11}H}{\gamma_{11}\rho}} \tag{16}$$

В качестве примера рассмотрена трехкомпонентная пористая среда, состоящая из тяжелого бетона, воды и воздуха с классами по прочности на сжатие «В3,5» и «В60» и пусть коэффициенты, характеризующие пористость среды и сжимаемость жидкости и газа определяются зависимостями:  $A_{ij} = (1 - m)R_0^{ij}$   $i \neq j$ , ( $i = 1,2,3; j = 1,2,3$ ):  $A_{ii} = mR_{ii}^0$ , где  $m$  – пористость среды ( $0 \leq m \leq 1$ ),  $R_0^{ij}$  – модуль сжимаемости жидкости и газа.

Начальные модули упругости для бетонов классов «В3,5» и «В60» принимались равными **9,5** и, коэффициенты Пуассона – **0,15** и **0,176** соответственно. Плотности бетонов взяты для класса «В3,5» и – для «В60». Плотность воды, воздуха – . Модули сжимаемости компонент, заполненных водой  $R_0^{(2)} = 2$  ГПа, воздухом –  $R_0^{(3)} = 0,142$  МПа. По результатам расчетов строим графики.

#### СХЕМА РАСЧЕТА

Дано:  $m = 0.2; 0.4; 0.7; 0.9$

По формулам вычислим

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \\ \mu &= \frac{E}{2(1+\nu)} \\ \lambda + 2\mu &= \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \end{aligned}$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $\nu$  – коэффициент Пуассона

$$H = \lambda + 2\mu + 2(1 - m)[R_0^{(2)} + R_0^{(3)} + R_0^{(2)}R_0^{(3)}] + m(R^{(2)}R^{(2)} + R^{(3)}R^{(3)}) \text{ для каждого } m$$

$$\Lambda = \lambda + 2\mu$$

В данном случае все  $\sigma_{ij}$  и  $\gamma_{ij}$  находятся по формулам

$$\sigma_{12} = \frac{(1 - m)R_0^{(2)}}{H}$$

$$\sigma_{13} = \frac{(1 - m)R_0^{(3)}}{H}$$

$$\sigma_{23} = \frac{(1 - m)R_0^{(2)}R_0^{(3)}}{H}$$

$$\sigma_{22} = \frac{mR_0^{(2)}R_0^{(2)}}{H}$$

$$\sigma_{33} = \frac{mR_0^{(3)}R_0^{(3)}}{H}$$

$$\gamma_{11} = \frac{\rho_{11}}{\rho}, \gamma_{12} = \frac{\rho_{12}}{\rho}, \gamma_{22} = \frac{\rho_{22}}{\rho}, \gamma_{13} = \frac{\rho_{13}}{\rho}, \gamma_{23} = \frac{\rho_{23}}{\rho}$$

$$\gamma_{33} = \frac{\rho_{33}}{\rho}, \rho = \rho_{11} + 2\rho_{12} + \rho_{22} + 2\rho_{13} + 2\rho_{23} + \rho_{33}; /$$

$$m = 0.2; 0.4; 0.7; 0.9$$

$$m = 0.2 \sigma_{11} = \frac{\lambda + 2\mu}{H} = \sigma_{12} = \sigma_{21} = \frac{0.8R_0^{(2)}}{H} = \sigma_{13} = \sigma_{31} = \frac{0.8R_0^{(3)}}{H} = \text{и.д.}$$

$m = 0.4$

m	$\sigma_{11}$	$\sigma_{12}$	$\sigma_{22}$	$\sigma_{13}$	$\sigma_{23}$	$\sigma_{33}$
0.2	$\frac{\lambda + 2\mu}{H}$					
0.4						
0.7						
0.9						

Или задаем

$\gamma_{11} = 0,700$	$\gamma_{12} = 0,02$	$\gamma_{22} = 0.32$	$\gamma_{13} = -0.02$	$\gamma_{23} = -0.02$	$\gamma_{33} = 0.1$
-----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------

№	$\sigma_{11}$	$\sigma_{12}$	$\sigma_{22}$	$\sigma_{13}$	$\sigma_{33}$	$m$
$G_t$	0.400	0.029	0.350	0.028	0.080	0.2
		0.057	0.250	0.057	0.010	0.4
		0.044	0.150	0.043	0.190	0.7
		0.042	0.100	0.042	0.200	0.9

Должно выполняться условие

$$\gamma_{11} + \gamma_{22} + \gamma_{33} + 2(\gamma_{12} + \gamma_{13} + \gamma_{23}) = 1$$

$$\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33} + 2(\sigma_{12} + \sigma_{13} + \sigma_{23}) = 1$$

По формулам (12) и (14) определим скорости распространения волн в трехкомпонентной среде.

На рис. показаны графики скоростей распространения продольных и поперечных волн в пористой среде от пористости  $m$  в

трехкомпонентной среде при следующих фиксированных значениях параметра пористости:  $m = 0.2:0.4:0.7:0.9$  по данным приведенным в таблице:

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Biot M.A. Theory propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid I. Low-Frequency Range//J. Acoust. Soc. America. 1956. V. 28. № 2. pp. 168 – 178.
2. Biot M.A. Theory propagation of elastic waves in a fluid- saturated porous solid. II. Higher Frequency Range//J. Acoust. Soc. America. -1956. V.-28. № 2. pp.179 – 191.
3. Масликова Т.И., Поленов В.С. О распространении нестационарных упругих волн в однородных пористых средах//Изв. РАН. МТТ. 2005. № 1. С. 104 – 108.
4. Polenov V.S., Chigarev A.V. Mathematical modeling of shock waves in inhomogeneous viscoelastic two component media // Journal of Applied Mathematics and Physics.-2018. - 6. (5). - P. 997-1005.

5. Поленов В.С. Основные уравнения динамического деформирования трехкомпонентных сред//Современные тенденции развития естествознания и технических наук: Сборник научных трудов по материалам МНПК. Белгород. 2018. С. 31-34.
6. Поленов В.С. Ницак Д.А. Математическое моделирование акустической эмиссии в насыщенных жидкостью двухкомпонентных средах //Наука России: цели и задачи. Сб. научных трудов по материалам XI МНК, Екатеринбург. ч. 2 2018. С. 52-58.
7. Томас Т. Пластическое течение и разрушение в твердых телах//М.: Мир, 1964. 308 с.
8. Быковцев Г.И., Вервейко Н.Д. О распространении волн в упруго-вязкопластической среде// Механика твердого тела. 1966. № 4 С. 111-123.
9. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Линейная алгебра//М.: 1984. 204 с.
10. Бронштейн И.Н. Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ//М.: 1964. 608 с.

---

**RATIONAL GROUPS A AND B CONTAINING Z AND VERIFYING GROUP ISOMORPHISM  $Hom(A, B) \cong A$**

---

**Barry Tierno Souleyman**  
*Candidate of phys-mat science Professor University Gamal Abdel Nasser, Conakry*  
**Sebeldin Anatolij Mikhailovitch**  
*Doctor of phys-mat science Professor University Gamal Abdel Nasser, Conakry*

**SUMMARY**

We want to find rational groups  $A$  and  $B$ , that contain  $Z$ , such that the group isomorphism  $Hom(A, B) \cong A$  is satisfied.

**Key words:** rational group containing  $Z$ , characteristic, equivalency of two characteristics, type of a rational group containing  $Z$ , groups homomorphism, free torsion abelian group with rank 1.

**Theorem 1.** Let  $A, B$  be two rational groups containing  $Z$  such that  $\tau(A) \leq \tau(B)$ . Then, the groups  $Hom(A, B)$  and  $A$  are isomorphic if, and only if, there exists  $b \in B$  such that  $h^B(b) = 2h^A(1)$ .

**Proof.** The condition is necessary. Indeed, if  $Hom(A, B) \cong A$ , then we have  $\tau(Hom(A, B)) = \tau(A)$  [1]. Moreover, it is known that  $\tau(B) = \tau(Hom(A, B)) + \tau(A)$  [2], so we have  $\tau(B) = \tau(A) + \tau(A)$ . It follows that there are characteristics  $\alpha, \gamma \in \tau(A)$  and  $\beta \in \tau(B)$  such that  $\alpha + \gamma = \beta$ . We have the equivalencies  $\alpha \approx \gamma$  and  $\alpha \approx h^A(1)$ , so we also have  $\gamma \approx h^A(1)$  and  $\beta \approx h^B(1)$ . Let  $\alpha' = h^A(1)$  and  $\beta' = h^B(1)$ . Thus, we have  $2\alpha' \approx \beta'$ . Let  $B'$  be the rational group containing  $Z$  such that  $h^{B'}(1) = \beta'$  and  $\beta'' = 2\alpha'$ . Hence, we have  $\beta'' = 2h^A(1)$  that is  $h^{B'}(1) = 2h^A(1)$ .

As we have  $\beta'' \approx \beta'$ , let consider the set of primes  $P'(\beta'', \beta') = \{p \in P' \mid \beta'' \not\equiv \beta' \pmod{p}\}$ . We notice that for any  $p \in P'(\beta'', \beta')$ , we have  $\beta'' \not\equiv \beta' \pmod{p}$  and  $\beta'' \equiv \beta' \pmod{p}$  and  $P'(\beta'', \beta')$  is a finite set. In addition, we have  $\beta'' \equiv \beta' \pmod{p}$ , that is  $\beta'' \equiv \beta' \pmod{p}$ , for any  $p \notin P'(\beta'', \beta')$ .

Hence, we have  $h_p^{B'}(1) = 2h_p^A(1)$  for any  $p \notin P'(\beta'', \beta')$ . If  $p \in P'(\beta'', \beta')$ , we consider  $\beta''_p = \begin{cases} \beta''_p + m_p, & \text{si } \beta''_p < \beta'_p \\ \beta''_p - n_p, & \text{si } \beta''_p > \beta'_p \end{cases}$

It follows that  $\beta''_p = \begin{cases} \beta''_p - m_p, & \text{si } \beta''_p < \beta'_p \\ \beta''_p + n_p, & \text{si } \beta''_p > \beta'_p \end{cases}$ ,  $m_p$  and  $n_p$  being natural numbers that are not null, whose existence comes from  $\beta''_p \neq \beta'_p$ .

We define  $b \in B$  as following  $b = \begin{cases} 1, & \text{si } p \notin P'(\beta'', \beta') \\ \frac{1}{p^{m_p}}, & \text{si } \beta''_p < \beta'_p \\ p^{n_p}, & \text{si } \beta''_p > \beta'_p \end{cases}$

It remains to observe that we have  $h_p^B(b) = \beta_p^n$  for any  $p \in P$ . Indeed, if  $p \notin P'$  ( $\beta'', \beta'$ ), we have  $h_p^B(b) = h_p^B(1) = \beta_p^n$ . If  $p \in P'$  ( $\beta'', \beta'$ ), we consider the following two situations:  $\beta_p^n < \beta'_p$ ,

In this case, we have  $h_p^B(b) \leq \beta'_p - m_p$  because if we had  $h_p^B(b) > \beta'_p - m_p$ , it would exist a natural number not null  $d_p$  such that  $h_p^B(b) = \beta'_p - m_p + d_p$ . Hence, we would have  $\frac{b}{p^{\beta'_p - m_p + d_p}} \in B$  that is  $\frac{1}{p^{\beta'_p + d_p}} \in B$  which is impossible because  $\beta'_p + d_p > \beta'_p = h_p^B(1)$ . It follows that for any natural number  $n_0 > \beta'_p - m_p$ , we have  $\frac{b}{p^{n_0}} \notin B$ . As  $\frac{b}{p^{\beta'_p - m_p}} \in B$ , it follows that we have the result  $h_p^B(b) = \beta'_p - m_p = \beta_p^n$ . Hence, we have established the relation  $h_p^B(b) = 2 h_p^A(1)$ , in this case as well.

•  $\beta_p^n > \beta'_p$

We show in the same way as in the preceding case that we have  $h_p^B(b) = \beta_p^n$ . Indeed, we have  $h_p^B(b) \leq \beta'_p + n_p$  because if we had  $h_p^B(b) > \beta'_p + n_p$ , it would exist a natural number not null  $d'_p$  such that  $h_p^B(b) = \beta'_p + n_p + d'_p$ . Hence, we would have  $\frac{b}{p^{\beta'_p + n_p + d'_p}} \in B$  that is  $\frac{1}{p^{\beta'_p + d'_p}} \in B$  which is impossible because  $\beta'_p + d'_p > \beta'_p = h_p^B(1)$ . It follows that for any natural number  $n'_0 > \beta'_p + n_p$ , we have  $\frac{b}{p^{n'_0}} \notin B$ . As  $\frac{b}{p^{\beta'_p + n_p}} \in B$ , it follows that we have the result  $h_p^B(b) = \beta'_p + n_p = \beta_p^n$ . Hence, we have established the relation  $h_p^B(b) = 2 h_p^A(1)$ , in this situation also.

In conclusion, we have  $h_p^B(b) = 2 h_p^A(1)$ , for any  $p \in P$ .

The condition is sufficient. Indeed, we have  $\tau(B) = \tau(A) + \tau(\text{Hom}(A, B))$  and  $P(B) = P(\text{Hom}(A, B))$  [2]. Thus, there exist  $\alpha \in \tau(A)$ ,  $\beta \in \tau(B)$  and  $\gamma \in \tau(\text{Hom}(A, B))$  such that  $\beta = \gamma + \alpha$ . We have  $h^B(b) = 2h^A(1)$ , and we deduce that  $2h^A(1) \approx \gamma + h^A(1)$ .

Thus, we consider the set of prime numbers  $P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1)) = \{p \in P' \mid 2h_p^A(1) \neq \gamma_p + h_p^A(1)\}$ . We notice that for any  $p \in P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1))$ , we have  $2h_p^A(1) \neq \infty$  and  $\gamma_p + h_p^A(1) \neq \infty$  and  $P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1))$  is a finite set. In addition, for any  $p \notin P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1))$  we have  $2h_p^A(1) = \gamma_p + h_p^A(1)$ .

Then, we observe that on the one hand, over  $P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1))$ , we have  $h_p^A(1) \neq \gamma_p$  and on the other hand, out of  $P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1))$ , inside  $P$ , we have  $h_p^A(1) = \gamma_p$ . Indeed, if there was  $p \in P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1))$  such that  $h_p^A(1) = \gamma_p$ , we would have  $2h_p^A(1) \neq h_p^A(1) + h_p^A(1) = 2h_p^A(1)$ , contradiction. On the other hand, let  $p \notin P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1))$ . We consider the two following cases:

•  $h_p^A(1)$  is finite.

Then, from the fact that we have the equality  $2h_p^A(1) = \gamma_p + h_p^A(1)$ , we deduce that  $\gamma_p = h_p^A(1)$ .

•  $h_p^A(1)$  is not finite.

Then, from the fact that we have the relations  $h_p^B(1) \approx h_p^B(b) = 2 h_p^A(1)$ , it follows that we have  $h_p^B(1)$  is not finite. It results that  $\gamma_p$  is not finite because we have  $P(B) = P(\text{Hom}(A, B))$ .

Hence, we have established that if  $p \notin P'(2h^A(1), \gamma + h^A(1))$ , then  $\gamma_p = h_p^A(1)$ .

In conclusion, the characteristics  $\gamma$  and  $h^A(1)$  are equivalent, so we have  $\tau(A) = \tau(\text{Hom}(A, B))$ , and from Baire theorem [1], we deduce that  $\text{Hom}(A, B)$  and  $A$  are isomorphic.  $\square$

**Corollary 1.** Let  $A, B$  be two rational groups containing  $Z$  such that  $\tau(A) \leq \tau(B)$ . If the groups  $\text{Hom}(A, B)$  and  $A$  are isomorphic, then we have the equivalency  $h^B(1) \approx 2h^A(1)$ .

**Proof.** Indeed, there exists  $b \in B$  such that  $h^B(b) = 2h^A(1)$ , so we have  $h^B(b) \approx 2h^A(1)$ . As we also have  $h^B(1) \approx h^B(b)$ , it follows that we have the equivalency  $h^B(1) \approx 2h^A(1)$ .  $\square$

**Proposition 1.** Let  $A$  be a rational group containing  $Z$ . Then  $A = Z$  if, and only if, for any  $p \in P$ , we have  $h_p^A(1) = 0$ .

**Proof.** The necessity is obvious. Conversely, if for any  $p \in P$ , we have  $h_p^A(1) = 0$ , then we have the equivalency  $h^A(1) \approx h^Z(1)$ , so we have  $\tau(A) = \tau(Z)$ , from which it comes the isomorphism  $A \cong Z$ . Hence, there exists  $\rho = \frac{r}{s} \in \mathcal{Q}^*$  [1] such that  $A = \rho Z$ . However, this equality is impossible if  $|\rho| \neq 1$ . Indeed, if  $r \neq 1$ , then  $A$  would not contain  $Z$ . If  $s \neq 1$ , there would exist  $p \in P(s)$ ,  $P(s)$  being the set of prime factors from the factorization of  $s$ , such that we have  $v(p, s) \geq 1$ ,  $v(p, s)$  being the exponent of  $p$  in the factorization of  $s$  in prime factors.

Let  $s^{-1} = \prod_{p \in P(s)} p^{-v(p, s)}$ . Multiplying this element with the naturel number  $\prod_{q \in P(s) \setminus \{p\}} q^{v(q, s)}$ , we find the element

$p^{-v(p, s)}$ , and we deduce that  $p^{-v(p, s)} \in A$  because we have  $s^{-1} \in A$ . As we have  $h_p^A(1) \geq v(p, s)$ , it follows that  $h_p^A(1) \geq 1$ , contradiction with the condition  $h_p^A(1) = 0$ , for any  $p \in P$ .  $\square$

**Corollary 2.** Let  $A$  be a rational group containing  $Z$ . If the groups  $\text{Hom}(Z, A)$  and  $Z$  are isomorphic, then there exists a finite set of prime natural numbers  $P'$  such that for any prime  $p \notin P'$ , we have  $h_p^A(1) = 0$ .

**Proof.** Indeed, we know from the preceding proposition that

$h_p^Z(1) = 0$ , for any  $p \in P$ . As from corollary 1, we have  $h^A(1) \approx 2h^Z(1)$ , it follows that there is a finite set of prime numbers  $P'$  such that  $h_p^A(1)$  is finite and not null over  $P'$  and for any  $p \notin P'$ , we have the equality  $h_p^A(1) = 2h_p^Z(1) = 0$ .  $\square$

**Corollary 3.** Let  $A, B$  be two rational groups containing  $Z$  such that  $\tau(A) \leq \tau(B)$ . If the groups  $Hom(A, B)$  and  $A$  are isomorphic, then there is  $b \in B$  such that for any prime numbers  $p, q$ , relatively prime, there is  $c(p, q) \in A$  and we have the equality  $b = c(p, q) p^{\lambda(p, 1)} q^{\mu(q, 1)}$ , where we denote  $\lambda(p, 1) = 2h_p^A(1)$  and  $\mu(q, 1) = 2h_q^A(1)$ .

**Proof.** With the isomorphism  $Hom(A, B) \cong A$ , it results from the theorem 1 that there is  $b \in B$  such that  $h^B(b) = 2h^A(1)$ . By Bézout classical relation, we establish that  $\frac{b}{p^{\lambda(p, 1)} q^{\mu(q, 1)}} \in B$ . Indeed, as  $p^{\lambda(p, 1)}$  and  $q^{\mu(q, 1)}$  are relatively prime, from Bézout relation, there are natural numbers  $u$  and  $v$  such that  $up^{\lambda(p, 1)} + vq^{\mu(q, 1)} = 1$ . We deduce that  $\frac{u}{q^{\lambda(q, 1)}} + \frac{v}{p^{\lambda(p, 1)}} = \frac{1}{p^{\lambda(p, 1)} q^{\lambda(q, 1)}}$ , and we have  $\frac{b}{p^{\lambda(p, 1)} q^{\lambda(q, 1)}} = u \frac{b}{q^{\lambda(q, 1)}} + v \frac{b}{p^{\lambda(p, 1)}}$  belongs to  $B$  because we know that  $\lambda(p, 1) = 2h_p^A(1) = h_p^B(b)$  and  $\lambda(q, 1) = 2h_q^A(1) = h_q^B(b)$ . It follows that there is  $c(p, q) \in B$ , and we have  $b = c(p, q) p^{\lambda(p, 1)} q^{\mu(q, 1)}$ . □

**Notice.** The corollary 3 can be generalized to an arbitrary finite number of primes such that any two of them are relatively prime.

S. L. Fofana, A. L. Sylla, A. M. Sebeldine. Groupes des homomorphismes des groupes abéliens // Edition Universitaire, Conakry, 2005, 33p

T.S.Barry, A.M.Sebeldin, B.M.Toure. Group Hom(A,B) for Rational Groups A and B Containing Z // Science Almanac, 2021 N 4-2(78) p.159-161.

**Bibliography**

T. S. Barry. Thèse de Doctorat. Université Gamal Abdel Nasser de Conakry. 2011.

---

**INVESTIGATION OF THE ABSOLUTENESS OF TIME**

---

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1504

*Tiguntsev Stepan Georgievich*

*INRTU, Irkutsk National Research Technical University, Russia*

**ABSTRACT**

In classical physics, time is considered absolute. It is believed that all processes, regardless of their complexity, do not affect the flow of time

The theory of relativity determines that the flow of time for bodies depends both on the speed of movement of bodies and on the magnitude of the gravitational potential. It is believed that time in space orbit passes slower due to the high speed of the spacecraft, and faster due to the lower gravitational potential than on the surface of the Earth. Currently, the dependence of time on the magnitude of the gravitational potential and velocity (relativistic effect) is taken into account in global positioning systems.

However, studying the relativistic effect, scientists have made a wrong interpretation of the difference between the clock frequency of an orbiting satellite and the clock frequency on the Earth's surface. All further studies to explain the relativistic effect were carried out according to a similar scenario, that is, only the difference in clock frequencies under conditions of different gravitational potentials was investigated.

While conducting theoretical research, I found that the frequency of the signal changes along the way from the satellite to the receiver due to the influence of Earth's gravity. It was found that

the readings of two high-precision clocks located at different heights will not differ after any period of time, that is, it is shown that the flow of time does not depend on the gravitational potential. It is proposed to conduct full-scale experiments, during which some high-precision clocks are sent aboard the space station, while others remain in the laboratory on the surface of the earth. It is expected that the readings of the satellite clock will be absolutely identical to the readings of the clock in the Earth laboratory.

**Keywords:** time flow, relativistic effect, frequency generator, gravitational potential.

**Introduction**

For the first time, the magnitude of the relativistic effect was experimentally determined in the USA in experiments on the NTS-2 space satellite [1]. The idea of using a spacecraft to navigate mobile objects in the United States began to develop after the launch of the first artificial Earth satellite in the USSR in 1957. In 1964, the first-generation Transit satellite radio navigation system (SRNS) was created to provide navigation support for launching Polaris ballistic missiles from submarines [2]. For commercial use, this system was introduced in 1967. The coordinates of the consumer were calculated based on the reception and extraction of the Doppler frequency change of the transmitter of one of the 7 spacecraft.

With the development of atomic clocks in 1960, it became possible to use a network of precisely

synchronized transmitters transmitting coded messages for navigation purposes. The measurement of the corresponding time delays by the receiver made it possible to calculate the coordinates of the receiver. For the first time this principle was implemented on the US Navy satellite TIMANTION-I (05/31/1967). Work in this direction was continued and marked by the launch of the TIMANTION-II-82B satellite (30.09.1969). Both satellites were initially equipped with onboard time and frequency standards based on a quartz oscillator to develop common principles [3].

In 1973, the navigation programs of the US Air Force and Navy were combined into a common navigation technology program, which later turned into the NAVSTAR-GPS program. The TIMANTION-III satellite was converted into a general spacecraft NTS-

1, launched on July 14, 1974 with a frequency standard based on quartz and rubidium generators.

This was followed by the creation of NTS-2 and NTS-3 devices, respectively, with caesium and hydrogen standards. During this period, the synchronization accuracy increased from  $10^{-11}$  to  $10^{-12}$ ... $10^{-13}$  and higher. The height of the satellites' orbits increased (from 925 km to 13,000 km, and then 20,000 km), the carrier frequency of the transmitters changed (from 400 MHz to 1227 and 1575 MHz).

On the eve of the launch of NTS-2, there were numerous discussions among the developers of the NAVSTAR-GPS system about the limits of which values the relativistic effect would be observed. It was decided to measure the accumulated error over a long time relative to terrestrial standards.

200 days after the launch of the two standards on the satellite, the comparison showed that the clock on the satellite "went ahead" by 0.0076 seconds. Consequently, the time on the clock of the NTS-2 satellite increased by 38 microseconds during the day compared to the Earth clock.

Therefore, NTS-2 is considered as the first NAVSTAR-GPS SRNS satellite.

The results of the analysis of the NTS-2 laid an exhaustive foundation for further efforts aimed at creating SRNS NAVSTAR-GPS. Thanks to NTS-2, there was no need to manufacture and launch NTS-3 and NTS-4 satellites. The success of the launch of the NTS-2 satellite brought the era of SRNS NAVSTAR-GPS closer [4]

### Results

In [4], it is reported about the difference between the readings of the satellite clock and the ground clock for the day and for the time period under study, however, I clarify that the readings of the satellite clock were obtained by calculating on the ground based on the received signals.

The NRL report [5, 6] emphasized the paramount importance of NTS-2 in solving the problem of relativistic effects when creating GPS. It seems that everything is precisely and unambiguously defined – the flow of time in space orbit is different from the flow of time on the surface of the earth. At the same time, they reported a difference in the readings of the clocks in space orbit compared to the readings of the clocks on the surface of the earth, however, provided that the readings of the orbital clocks were calculated in a laboratory on the surface of the earth.

The source [7] reports that if two identical molecular generators are synchronized, and then one of them is placed on an artificial satellite of the Earth, and the other is left on Earth, then the frequency of the first of them, measured on the satellite, will be equal to the frequency of the second, measured on Earth. However, the frequency of the molecular generator placed on the satellite, measured by an observer on Earth, will be changed due to the Doppler effect of the 1st and 2nd orders and the effect of gravitational frequency shift.

Therefore, to measure the gravitational frequency shift, it is necessary to exclude, first of all, the influence of the Doppler effect of the 1st order.

In the source [8], for this purpose, a method is proposed for accurately measuring large periods of time on the Earth's surface and on a satellite, followed by comparing them with each other using radio communication. The essence of the method is as follows. The satellite has a highly stable generator of the set frequency (for example, a molecular generator), which produces short electrical pulses following one after another through a strictly defined number of oscillation periods of the generator. These pulses are transmitted to Earth and recorded simultaneously with the same pulses of a similar installation available on Earth. It is shown that with long-term fixation of pulses (not necessarily continuous), it is possible to notice a difference in the duration of large periods of time elapsed on Earth and on the satellite between two pairs of corresponding pulses received from the Earth's surface and from the satellite. According to the theory of relativity, this time difference is caused by the gravitational field and the 2nd order Doppler effect.

In general, the article [8] is devoted to an overview of all existing at that time and, accordingly, used in practice, including in the USA, methods for comparing the frequencies of two time variables of periodic signals spaced in space. And first of all, comparing the signals coming from the satellite to the earth with the signals emitted by the ground device. Considering that the devices are synchronized in frequency.

The latest materials on measuring the frequency difference with a small difference in the height of the clock are shown in [9 and 10].

In a new study [9], physicist Jun Ye of JILA in Boulder, Colorado, and his colleagues used a clock consisting of approximately 100,000 ultracold strontium atoms. These atoms were arranged in a lattice pattern, which meant that the atoms were positioned at different heights, as if they were standing on the steps of a ladder. Displaying how the frequency changed at these heights revealed a shift. After adjusting for non-gravitational effects that can change the frequency, the clock frequency changed by about one hundredth of a quadrillionth of a percent per millimeter, just the amount expected according to general relativity.

In the source [10], Shimon Kolkovits from the University of Wisconsin-Madison and his colleagues measured the relative ticking speed of two clocks separated by about six millimeters, with an accuracy of 8.9 millionth of a trillion percent. Thanks to this sensitivity, scientists were able to detect the difference between two clocks that tick at a speed so slightly different that they will diverge by just one second in about 300 billion years.

### Discussion

In all experiments, in all theoretical studies shown above, the relative ticking speed of two clocks separated by height in a gravitational field is compared.

At the same time, the difference in frequencies is indeed detected. Because of this difference, it is concluded that the oscillation frequency of the clocks located above is greater than the oscillation frequency of the clocks located below. Therefore, in order to align the frequency of the orbital clock with the frequency of the ground clock, it is proposed to reduce the frequency

of the orbital clock. In the course of further operation, GPS and GLONASS really began to delay the orbital clocks before launching satellites into orbit.

Neither in the experimental results nor in theoretical studies could I find a physical comparison of the readings of the satellite's onboard clock with the readings of the ground-based laboratory clock. For example, we will ask an astronaut on the radio what the clock on his atomic clock shows, and we will see that the Earth clock shows the same time. Or we send the clock into orbit, and after a certain period we remove the clock from orbit. We compare the readings of the orbital clock and the readings of the Earth clock. We will see that the readings of the ground and orbital clocks will be identical.

This means that since the experiments on NTS-2, the readings of the orbital clocks have never been compared with the readings of the ground clocks. This means that no one has ever compared the readings of clocks spaced by height in a gravitational field.

However, what about the Hefele-Keating experiment (1971) [11], which is considered as a test of relativity theory? According to the authors, this experiment directly shows the reality of the time delay of moving objects predicted by the theory of relativity. It should be noted that some publications indicate the fallacy of the Hefele-Keating experiment due to the discrepancy between the accuracy of measuring instruments and the measured parameter.

It follows from the article [12] that the frequency of the clock on the satellite differs from the frequency of the Earth clock, and, accordingly, the readings of the clock, which will not slow down before launching into space orbit, will be increased compared to the readings of the Earth clock. If you reduce the speed of the satellite clock (in fact, this is done in GPS and GLONASS), then the numerical values of the satellite clock and the clock on earth will coincide.

Similar conclusions are also made in the article [13], where it is stated that in the case of atomic clocks, when they rise in a gravitational field, the distance between the energy levels of an electron in an atom increases, and in the case of nuclear clocks, the distance between the energy levels of the nucleus increases. With an increase in the energy difference between the levels in the atom (nucleus), the frequency of radiation increases, and the oscillation period decreases. This means that such atomic (nuclear) clocks will go faster.

Thus, assuming that the last two articles [12, 13] were released after (1999 and 2012) in relation to article [7] (1961), we can say that today it is recognized in science that the readings of satellite clocks will differ after a certain period from the readings of terrestrial clocks (naturally, the clocks must be synchronized before sending a satellite into space orbit).

I believe that in order to verify the correctness of the current conclusions of science, it is necessary to check the correspondence of the readings of the satellite clock and the readings of the Earth clock, which should be done with the help of the space station.

I will also say a forecast - the readings of the space station clock and the ground clock will absolutely coincide at any time.

I claim that the passage of time does not depend on either the gravitational potential or the speed of motion of bodies. In this case, the difference in the frequency of the received signal from the frequency of the satellite transmitter occurs due to an increase in the speed of the signal on the way from the satellite to the ground receiver.

#### Methods

We will consider how the flow of time changes under conditions of different gravitational potential, assuming that the speed of photons changes under the influence of a gravitational field.

Consider, for example, the GLONASS satellite ( $H = 19,100$  km), which constantly sends radio signals to receivers on earth.

By calculation, it was determined that the radio signal on the way from orbit receives a velocity increment of  $0.16$  m/s in the gravitational field of the Earth.

The signal from the GLONASS satellite is sent with a frequency of  $f_0 = 1609$  MHz, received in a receiver on earth with a frequency of  $f' = f_0 / (1 + z) = 1\,609.00000084$  MHz. At the same time, there is a shift in the signal spectrum to the purple side:

$$z = (f_0 - f') / f' = (C - C') / C' = (299792458 - 299792458.16) / 299792458.16 = -5.25 \cdot 10^{-10}$$

$$\text{Where: } C = 299,792,458 \text{ m/s, } C' = 299,792,458.16 \text{ m/s.}$$

It should be noted that to compensate for presumably relativistic effects, the frequency generated by the onboard frequency generator from the point of view of the observer located on the GLONASS satellite changes when the satellite is launched into orbit relative to the base frequency by the amount:

$$\Delta f / f_0 = -4.36 \cdot 10^{-10} \text{ (almost coincides with } -5.25 \cdot 10^{-10}),$$

Next, we will look at the difference between the expected arrival time of a signal from orbit to Earth and its actual arrival time (relative to the travel time from orbit to Earth). The signal arrives on earth from the GLONASS satellite after a while:

$$t_1 = 19100000 / 299792458.16 = 0.0673710742149 \text{ s.}$$

An observer on the Ground calculated that the signal should arrive within time

$$t_2 = 19100000 / 299792458 = 0.0673710742183 \text{ s.}$$

The relative difference in signal travel time is:

$$(t_1 - t_2) / t_2 = -5.25 \cdot 10^{-10} \text{ times.}$$

Thus, the estimated difference in the passage of time in space orbit due to the difference in gravitational potentials is exactly equal to the difference between the expected arrival time of a signal from orbit to Earth and its actual arrival time relative to the time spent on the path. In this case, it is important for the observer not to change the time of arrival of the radio signal, but to change the frequency of the radio signal at the receiver in comparison with the frequency of the satellite radio signal in accordance with the expression  $f' = f_0 / (1 + z)$ .

#### Conclusions

Proper consideration of the relationship between the speed and frequency of the radio signal wave allows

us to talk about the independence of the flow of time from the gravitational potential.

Given that the speed of a photon changes in a gravitational field, there is no room in further reasoning for the difference in the flow of time in regions of space with different gravitational potentials.

#### List of literature

1. Komarovskiy Yu And The first satellite navigation systems. - Vladivostok: Far Eastern Institute of Communications, 2014. - 280 p.
2. Johannesen R Interference: Sources and Symptoms, GPS World, Nov. 1997.
3. Shebshaevich V S, Dmitriev P P, Ivantsev N. V., etc. Network satellite radio navigation systems / edited by V. S. Shebshaevich. - 2nd ed., reprint. and additional - M.: Radio and Communications, 1993.
4. Bulletin of the Maritime State University, Series History of Marine Science, Technology and Education, Vladivostok, Issue 56/2012, p.96].
5. Buisson J.A, Easton R L, Mc. Caskill T B Initial results of the NAVSTAR GPS NTS-2 satellite, U.S. Naval Research Laboratory (NRL) Washington, D.C. p.180
6. Internet Resource, [www.leapsecond.com/history/1978-PTTI-v9-NTS-2.pdf](http://www.leapsecond.com/history/1978-PTTI-v9-NTS-2.pdf)
7. Basov N G, Krokhin O N, A N Oraevsky, Strahov G M, Chikhachev B M, About the possibility of the study of relativistic effects by means of molecular and atomic frequency standards UFN September 1961. Str.25
8. Singer S F Phys. Rev. 104, 11 (1956)
9. KS. Zheng etc. Comparison of the high accuracy of a distinctive clock with a multiplexed clock on an optical array. arXiv: 2109.12237. I arrived on September 24, 2021.
10. T. Bothwell et al. Resolution of the gravitational red change in a millimeter atomic sample. arXiv: 2109.12238. I arrived on September 24, 2021.
11. Hafele J; Keating P (July 14, 1972). Worldwide atomic clocks: the predicted relativistic profit of time. Nauka 177 (4044): 166-168.
12. Okun L, Selivanov K, Telegdi V Gravity, Photons, Clocks, UFN vol. 169, No. 10,
13. Aleshkevich V A On Teaching Special Relativity theory based on modern experimental data UFN, 2012, volume 18

# Евразийский Союз Ученых.

## Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал  
№ 11 (92)/2021 Том 1

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

**Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

**Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

**Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

**Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович  
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:  
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А  
E-mail: [info@euroasia-science.ru](mailto:info@euroasia-science.ru) ;  
[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»  
Тираж 1000 экз.