



Научно-технический
журнал по вопросам
разработки и
производства
инновационной
продукции

Лицензионный договор
№ 285-1/2021 (НЭБ)

Журнал выходит
4 раза в год

Электронная версия
доступна по адресу
nsc.goz.ru/magazine



Адрес редакции:
192012,
г. Санкт-Петербург,
вн.тер.г. муниципальный
округ Рыбацкое,
пр-кт Обуховской
Обороны, д. 120.

E-mail:
nsc.mv@goz.ru
Тлф:
8 (812) 207-56-20

РАДИОНАВИГАЦИЯ
И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА
ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»
№ 18 (26) – 2025

АО «НПО Обуховский завод»

Редакционный совет:

Подвязников Михаил Львович, д.т.н., доц.
Волокитина Ирина Николаевна, к.э.н.
Долбенков Владимир Григорьевич, к.т.н.
Брагин Алексей Юрьевич, к.э.н., доц.
Король Виктор Михайлович, к.т.н.

Главный редактор

Баушев Сергей Валентинович, д.в.н., проф.
Заместитель главного редактора
Сайбель Алексей Геннадиевич, д.т.н., доц.
Технический редактор
Васильева Людмила Николаевна

Редакционная коллегия:

Гаврилов Роман Сергеевич, к.т.н.
Геворкян Арвид Грайрович, д.т.н., проф.
Завгородний Александр Федорович, д.и.н., проф.
Зозуля Виктор Михайлович, к.т.н.
Королев Андрей Валерьевич, к.т.н.
Криворучко Юрий Тимофеевич, д.т.н.
Макавеев Александр Тимофеевич, к.т.н.
Марченко Борис Иванович, д.т.н., проф.
Раскин Александр Владимирович, д.в.н.
Синицын Евгений Александрович, д.т.н., проф.
Федоров Дмитрий Александрович, к.т.н.
Фридман Леонид Борисович, д.т.н.
Шатраков Юрий Григорьевич, д.т.н., проф.
Щеглов Дмитрий Константинович, к.т.н., доц.
Яковлев Андрей Вячеславович, д.т.н.
Яковлев Виктор Тимофеевич, д.т.н.

Санкт-Петербург

РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ» №17 (25) – 2025: ТРУДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ». – СПб.: Балтийская печать, 2025. – 120 с. – ил.

Научно-технический журнал **РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»** публикует результаты научных исследований, разработок и производства инновационной продукции в областях организации производства, вооружения и военной техники, радиофизики, организации воздушного движения, радионавигации, радиолокации.

К участию приглашаются сотрудники предприятий оборонного промышленного комплекса, научных и образовательных учреждений Российской Федерации.

Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов. Ответственность за достоверность материалов лежит на авторах публикаций.

Отсутствие в статьях сведений, содержащих государственную тайну, подтверждается наличием соответствующих Заключений о возможности опубликования с предприятий.

Журнал рассчитан на широкий круг специалистов.

© АО «Обуховский завод», 2025



Уважаемый читатель!

Очередной номер нашего журнала открывает концептуальная статья «Направления развития координатно-временного обеспечения Северного морского пути как составной части трансарктического транспортного коридора», подготовленная учеными АО «НПО «Обуховский завод» кандидатом военных наук доцентом Власовым О.В., кандидатом экономических наук Волокитиной И.Н., доктором технических наук Писаревым С.Б. и кандидатом технических наук Филатченковым С.В. по материалам их научно-практической деятельности. Авторы излагают собственную концепцию «системы систем» координатно-временного обеспечения в Арктике, основанную на комплексировании совместимых и взаимодополняющих навигационных систем и средств, построенных на различных технологических принципах, а также систем широкополосной связи и синхронизации. В основе уверенности в целесообразности и возможности создания подобной системы лежат результаты опытно-конструкторской работы «Альтернатива-Н», выполненной по заказу Минпромторга России.

Постоянный автор нашего журнала кандидат технических наук Гузевич С.Н. в статье «Принцип парности в строении и описании полей Земли» продолжает тему физико-математической сущности пространства и времени, результаты исследования которой автор публикует в различных журналах России. Одна из главных идей развиваемого взгляда на природу состоит в том, что именно законы взаимодействия полей определяют законы взаимодействия вещественных объектов, а не наоборот, как это принято считать в настоящее время, то есть причина и инструмент взаимодействия меняются местами.

Следующий блок статей представляет собой материалы Третьего ежегодного экспертного межведомственного семинара соискателей ученых степеней, проводимого в Научно-образовательном центре АО «НПО «Обуховский завод» с целью апробации результатов научных исследований, который прошел 10 июля 2025 года. Как уже отмечалось в предыдущем выпуске нашего издания, в этот раз своих соискателей помимо предприятия-организатора семинара представили Санкт-Петербургский государственный университет авиа-космического приборостроения и акционерные общества Концерна: «Корпорация «Комета», «Всероссийский научно-исследовательский

институт радиотехники», «ЦНИРТИ им. академика А.И.Берга», «НИИ приборостроения имени В.В.Тихомирова». Редакция уже в предыдущем 17-м номере опубликовала часть докладов, а в текущем выпуске печатает выступления остальных участников.



«Вопрос, конечно, интересный»

Два доклада сотрудников Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения были подготовлены под руководством и в соавторстве с кандидатом технических наук доцентом *Соленым С.В.*:

- «Экспериментальное исследование и определение ключевых статистических зависимостей для построения оперативной характеристики поверки электрических контрольно-измерительных приборов» (аспиранты *Бобрышов А.П.* и *Кузьменко В.П.*) – рассматриваются организационно-технические аспекты функционирования роботизированных линий производственного комплекса в условиях отклонений от верхних допустимых границ параметров качества электрической энергии, таких как фазное напряжение, тангенс угла фазного сдвига, коэффициент общей гармонической составляющей тока и коэффициент мощности. Выявлено влияние отклонений на устойчивость и согласованность работы исполнительных механизмов роботизированной линии, в результате чего разработана модель интегральной оценки устойчивости производственного цикла с учётом весовой значимости изменений параметров показателей качества электрической энергии в электросети исследуемого производственного комплекса;

- «Исследования показателей качества электрической энергии и их влияния на качество функционирования роботизированного производственного комплекса» (*Квас Е.С.*, *Кузьменко В.П.*) – проведено исследование статистической природы отклонений электрических измерений и её связь с построением оперативной характеристики поверки для электрических контрольно-измерительных приборов с целью установления функциональной зависимости между среднеквадратическим отклонением и приведённой точностью электрического прибора. Предложенная зависимость описывает более реалистичную картину действительности и может применяться для уточнения поверочных процедур, мониторинга качества и прогнозирования поведения контрольно-измерительных приборов.

Доклад «Программно-аппаратный комплекс имитационного моделирования бортовой аппаратуры космического аппарата» представил специалист АО «Корпорация «Комета» *Сорокин Д.С.*, в котором автор рассматривает опыт применения ком-

пьютерных моделей, не вполне удачно называя их имитационными, бортовых систем космических аппаратов для повышения качественных характеристик бортового программного обеспечения и технологического программного обеспечения оценки тактико-технических характеристик.

Применение в радиолокационной станции кругового обзора с конической активной фазированной антенной решеткой в одно- и многолучевых режимах электронного сканирования при обзоре пространства и сопровождении целей рассмотрено в докладе «Анализ возможных режимов обзора пространства и сопровождения целей РЛС с конической АФАР» соискателями из АО «ВНИИРТ» (г.Москва) *Скуратовым В.А., Жулиным Р.С. и Черновым Г.М.* Приведено интересное сравнение характеристик такой антенны с описанной и вписанной в ее габариты пирамидальной активной фазированной антенной решеткой, продемонстрированы ее преимущества по ряду параметров, в том числе, по гибкости построения режимов обзора и сопровождения.

Группа статей-докладов по естественным причинам принадлежит авторам, работающим в АО «НПО «Обуховский завод»:

- *Терегулова А.А.* «Обеспечение качества термически обработанных деталей. Системный подход» - предложено в интересах комплексного изучения причин дефектов, возникающих в деталях после термической обработки, формировать базу данных по разновидностям дефектов, включая отклонения механических свойств от нормативной документации после термической обработки; сопутствующие факторы-причины, принятые на предприятии способы парирования дефектов, а также предлагается подход к конструктивной классификации причин возникновения дефектов и несоответствий механических свойств;

- в соавторстве и под руководством *доктора технических наук профессора Яковлева В.Т.* аспиранты *Нестерович А.В. и Мурсалов Д.Л.* выступили с докладом «Методика определения погрешности местоположения летательного аппарата при отсутствии спутниковых данных полета самолета-лаборатории», в котором обосновали последовательность действий при оценивании качества значений измеряемых радиочастотных параметров наземного радиосредства в условиях отсутствия надежных данных о пространственных координатах самолета-лаборатории, традиционно получаемых с помощью ГНСС. Авторы вводят понятие условной погрешности и попутно решают задачу выявления аномальных измерений для условий своей постановки задачи;

- аспирант *Кунаев Н.А.* в докладе «Организация процесса технического обслуживания организационно-технических систем с учетом временного фактора» представил подход к назначению межрегламентного периода технического обслуживания с учетом того факта, что сама по себе процедура технического обслуживания занимает определенное время, в течение которого вооружение является небоеготовым. Используется математическое ожидание времени готовности техники к использованию по назначению с учетом ее надежности.

Завершает выпуск комплексная статья представителей трех организаций: АО «НПО «Обуховский завод», НОЦ ВКО «Алмаз – Антей» им. акад. В.П. Ефремова и БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, в которой рассматриваются прикладные аспекты актуального вопроса подготовки квалифицированных кадров для предприятий ОПК в современных условиях.

Доктор военных наук, профессор
С.В.Баушев

Содержание

Власов О.В., Волокитина И.Н. Писарев С.Б., Филатченков С.В.

Развитие наземного сегмента координатно-временного обеспечения северного морского пути как составной части трансарктического транспортного коридора с точки зрения межведомственного взаимодействия

7

Гузевич С.Н.

Принцип парности в строении и описании полей Земли

26

Материалы Третьего ежегодного экспертного межведомственного семинара

Квас Е.С., Кузьменко В.П., Солёный С.В.

Исследования показателей качества электрической энергии и их влияния на качество функционирования роботизированного производственного комплекса

42

Бобрышов А.П., Кузьменко В.П., Солёный С.В.

Экспериментальное исследование и определение ключевых статистических зависимостей для построения оперативной характеристики поверки электрических контрольно-измерительных приборов

56

Сорокин Д.С.

Программно-аппаратный комплекс имитационного моделирования бортовой аппаратуры космического аппарата

69

Скуратов В.А., Жулин Р.С., Чернов Г.М.

Анализ возможных режимов обзора пространства и сопровождения целей РЛС с конической АФАР

76

Терегулова А.А.

Обеспечение качества термически обработанных деталей. Системный подход

86

Нестерович А.В., Мурсалов Д.Л., Яковлев В.Т.

Методика определения погрешности местоположения летательного аппарата при отсутствии спутниковых данных полета самолета-лаборатории

92

Кунаев Н.А.

Организация процесса технического обслуживания организационно-технических систем с учетом временного фактора

100

Дискуссионная трибуна

Ерошин С.Е., Савельев С.К., Сайбель А.Г., Фёдоров Д.А., Щеглов Д.К.

105

Проблемные вопросы и пути совершенствования подготовки инженерных кадров для промышленных предприятий

УДК 338.47(985)/338.24

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ КАК СОСТАВНОЙ ЧАСТИ ТРАНСАРКТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА

Власов О.В., Волокитина И.Н. Писарев С.Б., Филатченков С.В.

На основе актуальных тенденций развития навигационного обеспечения, обусловленных постоянно растущими требованиями потребителей к характеристикам координатно-временных определений и кардинальным ростом угроз достоверным бесшовным определениям по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, приведены основные организационно-технические принципы создания комплексных радионавигационных систем, предлагаемых для развертывания в Арктической зоне РФ. Анализируются функции ключевых ведомств и высших коллегиальных органов Российской Федерации в области регулирования навигационного обеспечения Северного морского пути как составной части Трансарктического транспортного коридора, с акцентом на проблематику развития радионавигационных систем средств. Особое внимание уделено механизмам межведомственной координации развития навигационного обеспечения органами государственного управления.

Ключевые слова: Арктическая зона; Северный морской путь; Трансарктический транспортный коридор; радионавигационные системы; координатно-временное обеспечение; межведомственное взаимодействие; нормативно-правовое регулирование.

Введение

Освоение Арктики невозможно без решения одной из ключевых технологических задач – обеспечения надёжного и устойчивого навигационного покрытия.

В современных условиях Арктика становится не только зоной стратегических интересов ряда государств, но и ареной для разработки и внедрения прорывных технологий, включая навигационные. Значительное преимущество в освоении этого стратегически важного макрорегиона получают те государства, которые обеспечат наиболее эффективные навигационные решения.

Радионавигационные системы, космического и наземного базирования, являются стратегическим средством, относящимся к особо важной государственной инфраструктуре, обеспечивающей национальную безопасность и экономическое развитие страны.

В последние десятилетия во всем мире, в том числе и в Российской Федерации, наблюдалось расширение применения навигационных решений, основанных на глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) в инфраструктуре, связанной с безопасностью и экономической деятельностью. Причиной этого являлись высокотехнологичность глобальных решений, отсутствие оплаты за предоставляемые услуги и существовавший до недавнего времени высокий уровень доверия к информации

ГНСС.

Для Северного морского пути (СМП) и Трансарктического транспортного коридора (ТТК) в целом ГЛОНАСС и другие ГНСС являются основным радионавигационным средством определения координатно-временных и навигационных параметров (КВНП). Параметры определяются в стандартном режиме, а в рабочих зонах дифференциальных средневолновых морских радиомаяков – и в дифференциальном режиме.

КВНП используются в судовом навигационном оборудовании – электронной картографической навигационно-информационной системе, а также в других системах – системах управления движением судов, регистраторах данных рейса, автоматических идентификационных системах, глобальной морской системе связи при бедствии и для обеспечения безопасности и др.

Кроме того, КВНП также используются в пилотажно-навигационных комплексах и другом оборудовании летательных аппаратов, навигационном оборудовании наземных транспортных средств.

Системы синхронизации телекоммуникационных систем, компонентов топливно-энергетического комплекса, транспортного комплекса, систем управления и ряда других в своем большинстве основаны на использовании сигналов ГЛОНАСС.

Вместе с тем, во всем мире одновременно с развитием ГНСС развиваются и технологии, позволяющие негативно воздействовать на маломощные и открытые для атак сигналы ГЛОНАСС и других ГНСС, что в свою очередь вызывает рост обоснованных опасений, связанных с возможными ограничениями доступности, целостности и непрерывности сервисов, основанных на ГНСС. Отсутствие аутентификации сигналов ГНСС может являться причиной нарушения «локальной целостности» сигналов в зоне воздействия имитационных помех, несмотря на оптимистичные данные глобальных систем функциональных дополнений ГНСС таких как СДКМ и *SBAS*.

По мнению ведущих международных организаций в области организации движения и транспортной безопасности (*ICAO, IMO, IALA, IHO, ITU*) использование исключительно сигналов ГНСС для критических применений неприемлемо. Для условий СМП и ТТК в целом ситуация в части использования сигналов ГНСС дополнительно осложняется угловыми параметрами орбит созвездий спутников и условиями приема сигналов в приполярных областях. В тех же районах, ближе к Северному полюсу, снижается точность инерциальных навигационных систем, что дополнительно усложняет ситуацию с навигационным обеспечением в акватории СМП и ТТК в целом.

Другие доступные потребителям в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) наземные радионавигационные системы (РНС) – фазовая сверхдлинноволновая система «Альфа» и импульсно-фазовая длинноволновая система (ИФРНС) «Чайка» обладают высокими характеристиками доступности, помехозащищенности, непрерывности и целостности, их функционирование фактически инвариантно к широте расположения потребителя, но они не соответствуют современным требованиям по точности, в первую очередь из-за отсутствия ассистирующих средств функциональных дополнений. Рабочая зона цепочки системы «Чайка» в настоящее время охватывает лишь западную часть АЗРФ, рабочая зона системы «Альфа» – всю АЗРФ. При этом сигналы системы «Альфа» могут приниматься и подо льдом.

Существующая проблемная ситуация может быть коренным образом решена при создании и внедрении в АЗРФ перспективных комплексных систем и методов определения КВНП на основе интеграции ряда радионавигационных и широкополосных связных технологий, что позволит обеспечить комплексной системе новые свойства, не присущие каждой из компонент по отдельности и удовлетворить требованиям морских, воздушных и наземных потребителей по критериям, как минимум, точности, доступности, целостности, непрерывности в фиксированной рабочей зоне. Эти требования определены Радионавигационным планом Российской Федерации, директивными и другими документами международных и отечественных организаций в сферах транспортной безопасности и синхронизации. При проектировании систем необходимо учитывать, что требования к характеристикам определений КВНП непрерывно повышаются, что находит отражение в новых редакциях соответствующих документов, и будут расти в дальнейшем.

Для СМП и ТТК в целом этот рост требований в первую очередь связан с ростом интенсивности движения в сложной ледовой и погодной обстановке, ростом габаритов судов (в первую очередь танкеров и контейнеровозов), появлением новых портов и маршрутов к ним, появлением в акваториях искусственных сооружений. Существенную роль играют в повышении требований играет и экономика судоходства – поиск и прокладка маршрутов в быстроменяющейся ледовой обстановке при максимальной экономии топлива, что также приводит к сокращению выбросов в атмосферу.

Вместе с тем, анализ текущего состояния навигационного обеспечения в акватории СМП и ТТК в целом выявляет и ряд системных организационных проблем, связанных с ведомственной принадлежностью радионавигационных средств. Например, контрольно-корректирующие станции (ККС) дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS, обслуживающие акваторию СМП, принадлежат разным ведомствам (ГК «Росатом», Минтранс России), а их рабочие зоны имеют значительные пробелы.

Схема фактического размещения ККС и зон их действия, приведенная в [1], наглядно демонстрирует данную проблему (рисунок 1).

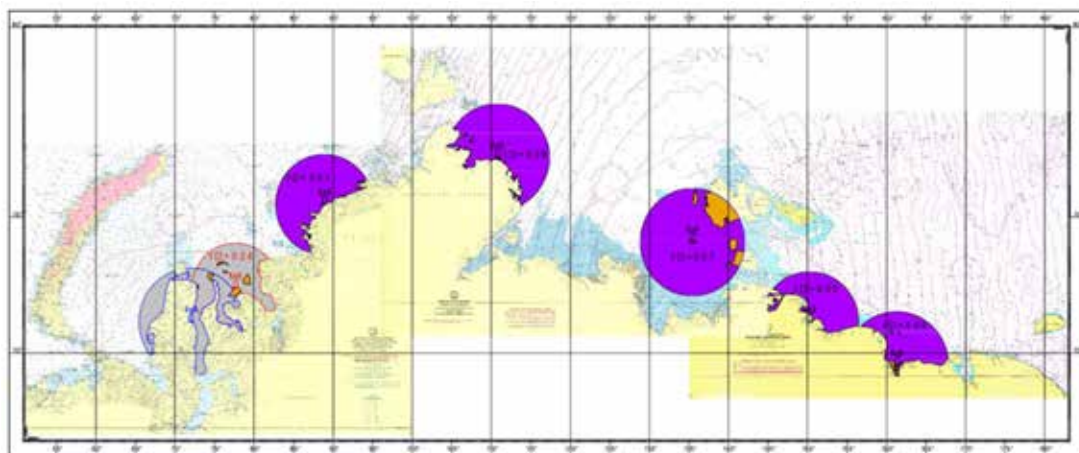


Рисунок 1 – Схема фактической расстановки ККС ДПС

Системы «Альфа» и «Чайка» находятся в ведении Минобороны России (ВМФ и ВКС, соответственно), работают по планам Минобороны, что в общем случае не может быть приемлемо для коммерческого судоходства и полетов. Радионавигационные системы ближней навигации, эксплуатируемые в интересах воздушных потребителей структурами Минобороны и Минтранса России, развиваются по собственным планам.

Таким образом, имеется противоречие между возрастающими требованиями к точности, помехоустойчивости, целостности и доступности навигационного обеспечения с одной стороны, и отсутствием технологий эффективного комплексирования информации от разнородных, разном ведомственных технических средств и единой системы управления ими с другой. Выявленное противоречие ставит под угрозу не только безопасность мореплавания и полетов, но и реализацию федеральных проектов, связанных с развитием беспилотных и робототехнических комплексов в Арктической зоне.

Для устранения указанного противоречия требуется решение комплекса взаимосвязанных задач, в том числе развертывание унифицированной наземной радиотехнической инфраструктуры, формирующей безразрывное радионавигационное поле с заданными характеристиками точности, доступности, непрерывности и целостности КВНП, и внедрение комплексированной аппаратуры потребителей.

Учитывая, что в АЗРФ присутствуют все классы потребителей, развитие радионавигационных систем и сервисов должно максимально учитывать требования каждого из классов.

Вопросы состояния и перспективы развития существующих систем и комплексов координатно-временного обеспечения (КВО) уже являлись предметом исследований. Так, в работе [2] предложена архитектура единой системы КВО (ЕС КВО) как сложной информационной системы, обеспечивающей предоставление навигационных государственных услуг, а также рассмотрены средства доставки потребителям параметров шкал времени и систем координат посредством системы ГЛОНАСС и наземных средств формирования искусственных радионавигационных полей.

Однако, по нашему мнению, развертывание новых средств формирования искусственных радионавигационных полей для СМП и ТТК в целом потребует объединить ресурсы не только государства, но и регионов, бизнеса и финансового сектора для привлечения инвестиций в арктическую инфраструктуру, что может повлиять на предложенную в [2] структуру управления ЕС КВО. Необходима также разработка модели предоставления навигационных услуг в акватории СМП и ТТК в целом, выработка новых нормативно-правовых, технических, организационно-штатных и экономических решений. Решение этих задач должно проводиться по единому замыслу и быть обеспеченным соответствующей нормативно-правовой базой, включая государственные и отраслевые стандарты.

Для определения подходов к реализации столь масштабного проекта организации КВО СМП и ТТК в целом целесообразно проанализировать:

- возможные направления развития навигационно-временных сервисов;
- функционал и полномочия федеральных органов власти, государственных корпораций и высших коллегиальных органов государственного управления в части, касающейся их влияния на совершенствование нормативно-правового регулирования КВО.

В современных условиях, когда стратегическая значимость КВО выходит за рамки исключительно оборонных задач, проблема эффективной координации деятельности всех ветвей власти и бизнеса, представляется особенно актуальной.

1 Основные направления развития навигационно-временных сервисов для Северного морского пути и Трансарктического транспортного коридора в целом

Исходя из целей формирования безразрывного радионавигационного поля с требуемыми потребителями специфицированными характеристиками точности, доступности, непрерывности и целостности КВНП, навигационно-временные сервисы для СМП и ТТК в целом предлагается развивать по технологии "Система систем" для создания в пределах всей территории национальной транспортной артерии экосистемы позиционирования и синхронизации на единой платформе цифровых информационных сервисов трансарктических систем связи, наземной инфраструктуры радионавигационных систем различных видов и баз данных, отвечающей требованиям основных классов потребителей транспортной отрасли (в том числе беспилотных и безэкипажных средств), строительства, добычи полезных ископаемых, энергетики.

При этом под технологией «Системы систем» подразумевается создание совокупности совместимых и взаимодополняемых навигационных систем и средств на различных технологических базисах, а также систем широкополосной связи и синхронизации, объединяющих свои ресурсы и возможности для большей функциональности и производительности, чем просто сумма компонентов систем. Одновременно, учитывая кардинальный рост угроз для КВНП, предполагается обеспечение в рабочих зонах аутентификации навигационных сигналов систем и аутентификации санкционированных потребителей.

Такой подход является ответом на современные вызовы в области координатно-временного обеспечения и позволяет минимизировать ресурсы, необходимые для выполнения требований всех основных категорий потребителей к определению КВНП на всем ТТК и на прилегающих сухопутных территориях Арктической зоны. Он также будет способствовать созданию новых и развитию существующих систем и средств определений КВНП в тесной координации с развитием средств связи для обеспечения функционирования всего ТТК, обеспечению их привлекательности для реализации любых инвестиционных инфраструктурных и других проектов, внедрению инновационных технологий в интересах специальных и гражданских потребителей с предоставлением услуг с гарантированными на государственном уровне системными характеристиками.

В систему КВО для обеспечения СМП и ТТК в целом предлагается внедрение следующих системных принципов.

1) Каждая компонента системы сохраняет свою эксплуатационную, операционную и управленческую независимость. ГНСС, космические системы функциональных дополнений ГНСС, космические системы связи, наземные РНС и наземные системы функциональных дополнений ГНСС, находящиеся под управлением Минобороны России, ГК «Росатом», Минтранса России входят в систему функционально.

2) Центральный орган управления, координирует деятельность всех территориально и организационно распределенных навигационно-временных сервисов и обеспечивает соблюдение заранее установленных стандартов регулирования, обслуживания

ния и взаимодействия между ними, а также оперативное внесение изменений в каждую систему.

3) Организационная структура является динамической, адаптивной или самоорганизующейся с использованием элементов искусственного интеллекта, способной автоматически адекватно реагировать на возникающие по разным причинам изменения, в т.ч. на изменения поставленных целей и задач. Основное взаимодействие компонент и их составляющих организуется по концепции «Интернета вещей» (*IoT*).

4) Эволюционное развитие всей системы КВО, направленное на повышение ее ключевых характеристик на основе:

- оптимизации взаимодействия входящих систем и средств;
- сокращения эксплуатационных затрат;
- гармонизации с развитием телекоммуникационной и иной инфраструктуры АЗРФ;
- решения новых задач, в частности, внедрение новых технологий КВО, создание иерархической системы синхронизации клиентов в АЗРФ различных уровней.

Проектирование системы КВО для обеспечения СМП и ТТК в целом предлагается осуществлять с учетом:

- максимально возможной интеграции компонентов системы в целях достижения поставленной целевой функции и реализации эффективного комплексирования измерений в аппаратуре потребителей;
- открытой архитектуры системы КВО для соответствия требованиям стратегии е-Навигации [20, 21] с возможностью расширения функционала в соответствии с новыми потребностями потребителей и адаптации к новым условиям.

Представляется также целесообразным создание информационно-аналитического центра навигационно-временных сервисов для организации КВО СМП и ТТК в целом и осуществляющего:

- определение топологии и требуемых характеристик компонентов системы навигационно-временных сервисов на основе требований потребителей на стадии ее создания и развития с учетом актуальных и перспективных транспортных маршрутов, крупных инфраструктурных проектов, а также планов развития телекоммуникационной инфраструктуры в интересах развития СМП и ТТК в целом;
- координацию и робастное управление компонентами системы навигационно-временных сервисов, взаимодействие со структурами федеральных органов исполнительной власти, государственных корпораций, в чьем ведении находятся другие компоненты системы;
- сбор данных о зональных задержках сигналов наземных РНС и распространение потребителям каталогов задержек для каждой из станций наземных РНС в рабочей зоне данной станции;
- взаимодействие с операторами, предоставляющими каналы связи (в том числе космические и волоконно-оптические);
- внедрение и применение программно-аппаратных средств в составе комплексной системы защиты информации;
- эксплуатацию системы и аутсорсинг эксплуатации элементов системы;
- мероприятия по аутентификации потребителей навигационно-временных сервисов;

- сопровождение интерфейсного контрольного документа системы навигационно-временных сервисов;

- удовлетворение заявок потребителей на предоставления навигационно-временных услуг с характеристиками, превышающими специфицированные.

Отработка технических и организационных решений, направленных на создание экосистемы позиционирования и синхронизации, отвечающей требованиям основных классов потребителей применительно к СМП и ТТК в целом, может производиться в рамках реализации пилотного проекта с введением экспериментально-правового режима, определяющего создание и опытную эксплуатацию рабочей зоны комплексной радионавигационной системы (КРС), элементы которой созданы в ОКР «Альтернатива-Н» по заказу Минпромторга России.

Технические решения, используемые в КРС, позволяют производить конфигурирование отдельных системных параметров и радиointерфейсов для оптимизации характеристик и структуры создаваемых систем. Принцип использованных в ОКР «Альтернатива-Н» навигационных технологий на различных технических базисах позволяет при организации КВО эффективно противостоять шумовым и имитационным помехам сигналам ГНСС, а также потенциальным проблемам с ГНСС-измерениями в высоких широтах.

Разработанные в ОКР «Альтернатива-Н» компоненты и концепция их функциональной интеграции в комплексную радионавигационную систему позволяют конструировать рабочие зоны КВО с требуемыми априори специфицированными параметрами точности, целостности, непрерывности и доступности для широкого класса потребителей и выполняемых ими маневров и операций, а также являться базовыми компонентами единого информационного пространства для создания перспективных сервисов системы е-Навигации на СМП и ТТК в целом. Общая инфраструктура перспективной системы для предполагаемых операций потребителей в пилотной рабочей зоне будет определена по результатам динамического моделирования и оптимизации взаимозависимых общесистемных характеристик и характеристик предоставляемого радионавигационной системой сервиса в пилотной зоне.

Система КВО пилотной рабочей зоны с отработанными при опытной эксплуатации организационно-техническими решениями и с учетом возможностей ее эволюционного развития может рассматриваться как прообраз навигационной «Системы систем» для гражданских и военных потребителей РФ, а также перспективной системы синхронизации шкал времени РФ.

Для организации предоставления навигационных услуг потребителям, эксплуатации системы в сложных условиях АЗРФ, уполномоченными федеральными органами исполнительной власти Российской Федерации должен быть определен оператор системы с функциями:

- организации строительства,
- осуществления эксплуатации и технического обслуживания всех наземных компонентов системы;
- выпуска Интерфейсного контрольного документа (ИКД) пилотной рабочей зоны и гаранта всех характеристик КВО в соответствии с ИКД;
- предоставления услуг по КВО в границах пилотной рабочей зоны государственным и иным потребителям с различными уровнями сервиса в соответствии с

ИКД;

- коммуникатора с операторами телекоммуникационных систем и сервисов, доступных в пилотной рабочей зоне;

- коммуникатора с потребителями в целях доведения ассистирующей информации, необходимой для обеспечения требуемых параметров КВО (в т.ч. в интересах авторизованных потребителей – криптозащиту и аутентификацию информации отдельных компонент).

В процессе эксплуатации пилотной зоны оператором совместно с заинтересованными организациями предполагается отработать и подготовить рекомендации по:

- стандартизации технологического управления и совместимости навигационно-информационных систем;

- стандартизации требований к навигационной аппаратуре потребителей различных классов;

- форматам и сценариям распространения передаваемой информации;

- форматам документируемой информации;

- стандартизации процедуры и регламента взаимодействия потребителей и поставщиков услуг в сфере навигационной деятельности.

Разрабатываемые рекомендации должны учитывать требования международных организаций в сфере транспортной безопасности и навигации, а также международный опыт.

В целях создания модели предоставления навигационных услуг в пилотном районе и последующего ее распространение на весь СМП и ТТК в целом, в том числе на прилегающих сухопутных территориях Арктической зоны, помимо технических задач необходимо решить правовые, организационно-штатные и экономические задачи. Определить район реализации пилотного проекта, границы которого должны соответствовать определенным требованиям (геополитическим, экономическим, оборонным и другим) и отвечать интересам федеральных органов исполнительной власти и основных хозяйствующих субъектов, ведущих операционную и инвестиционную деятельность в этом районе.

С учетом расположения района пилотного проекта в административных границах нескольких субъектов Арктической зоны, принадлежности наземной радиотехнической инфраструктуры различным ведомствам и наличия крупных потребителей навигационных услуг в Арктической зоне, вопросы реализации пилотного проекта целесообразно рассмотреть с точки зрения функционала и полномочий федеральных органов исполнительной власти, государственных корпораций и высших коллегиальных органов государственного управления в части, касающейся их влияния на нормативно-правовое регулирование совершенствования навигационного обеспечения.

2 Компетенции и полномочия федеральных структур, в контексте их влияния на формирование и реализацию политики в области КВО для СМП и ТТК в целом

Повышение эффективности навигационного обеспечения на трассах СМП напрямую зависит от слаженности межведомственного взаимодействия. Отсутствие единого подхода к развитию навигационной инфраструктуры и фрагментация ответственности между различными ведомствами являются системными проблемами, тре-

бующими решения на уровне высших государственных органов. Проведем анализ компетенций и полномочий федеральных структур, осуществляющих управление развитием АЗРФ, в контексте их влияния на формирование и реализацию политики в области КВО.

Основной функционал ФОИФ, в части касающейся государственной политики развития навигационного обеспечения, представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 Функционал в ФОИВ, в части касающейся государственной политики развития навигационного обеспечения

Формирование государственной политики и нормативно-правовое регулирование в области радионавигационного обеспечения транспортного комплекса Российской Федерации возложено на Министерство транспорта [4]. В компетенцию ведомства входит выработка совместно с Госкорпорацией «Роскосмос» и другими заинтересованными органами государственной политики по использованию системы ГЛОНАСС, её функциональных дополнений и аппаратуры спутниковой навигации. Минтранс России также разрабатывает нормативные акты для навигационного обеспечения транспорта, утверждает требования к навигационным средствам [5].

Полномочия Минтранса России реализуются в том числе через подведомственные федеральные агентства и службы. Так, в зоне ответственности Федерального агентства морского и речного транспорта (Росморречфлот) находится создание и развитие подсистем функциональных дополнений для морского и речного транспорта, а также разработка отраслевых нормативных актов по внедрению технологий ГЛОНАСС [5]. Следует отметить, что Росморречфлот обеспечивает навигационно-гидрографическое сопровождение на морских путях и в акваториях портов за пределами акватории СМП [6]. В таком распределении функций Росморречфлот определя-

ет стратегию и стандарты, в то время как подведомственное ФГУП «Росморпорт» обеспечивает их практическую реализацию, развёртывая и эксплуатируя СУДС.

Компетенции Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиация) включают разработку отраслевых НПА, которые регламентируют порядок применения системы ГЛОНАСС и её функциональных дополнений в интересах аэронавигационного обслуживания пользователей воздушного пространства РФ [5]. Росавиация также является профильным регулятором и участвует в нормативно-правовой деятельности по навигационному обеспечению в рамках Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД) [7].

Функции контроля и надзора за соблюдением транспортного законодательства, включая требования к навигационному оснащению, возложены на Федеральную службу по надзору в сфере транспорта (Ространснадзор) [8]. В области навигации деятельность службы включает разработку нормативных актов, определяющих порядок внедрения и использования спутниковых технологий для обеспечения федерального государственного транспортного надзора и контроля в сфере транспортной безопасности [5].

Отдельно следует выделить роль Российского морского регистра судоходства, который устанавливает специальные требования к составу и характеристикам навигационного оборудования для судов, эксплуатирующихся в арктических условиях.

Ключевой задачей Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций (Минцифры России) является управление использованием радиочастотного спектра, реализуемое через Государственную комиссию по радиочастотам (ГКРЧ) [9]. Комиссия осуществляет распределение полос частот для различных радионавигационных систем, включая системы дифференциальной коррекции. В контексте арктического региона особую актуальность приобретает координация использования радиочастот с приарктическими государствами в рамках Регламента радиосвязи Международного союза электросвязи. Кроме того, Минцифры России совместно с ГК «Роскосмос» и Минобороны России обеспечивает международную правовую защиту частотных присвоений системы ГЛОНАСС [5].

Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) выступает в качестве органа, ответственного за государственную политику в области разработки и производства радионавигационных средств и электронной компонентной базы (ЭКБ). В его функции входит выработка совместно с ГК «Роскосмос» и другими ведомствами государственной политики по организации серийного выпуска аппаратуры спутниковой навигации, а также создание и развитие наземных радионавигационных систем, совместимых с системой ГЛОНАСС [5].

Стратегическим документом, консолидирующим усилия указанных ведомств, является Радионавигационный план Российской Федерации. Он определяет направления создания и развития единого радионавигационного поля страны, интеграцию ГНСС с наземными и морскими системами, а также обеспечение их совместимости с международными стандартами. Отметим, что документ выпущен в 2019 году и нуждается в обновлении.

Министерство обороны Российской Федерации реализует государственную политику в области навигации через Военно-топографическое управление Генерального штаба Вооруженных Сил РФ [10]. В задачи данных структур входит планирование и

организация мероприятий по совершенствованию топогеодезического и навигационного обеспечения Вооруженных Сил, а также обеспечение применения ГЛОНАСС в интересах обороны.

Существенную роль играет Управление навигации и океанографии, которое, в частности, отвечает за картографическое обеспечение в северных широтах.

Согласно нормативным документам, Минобороны России осуществляет [5]:

- координацию работ по созданию, развитию и использованию системы ГЛОНАСС и её функциональных дополнений для обеспечения обороны и безопасности, а также, совместно с ГК «Роскосмос», в интересах гражданских потребителей;
- подготовку и реализацию государственной политики в области поддержания и использования системы ГЛОНАСС для нужд обороны;
- определение условий и порядка предоставления сигналов системы ГЛОНАСС;
- разработку и реализацию программ и проектов развития ГЛОНАСС в части мероприятий по обеспечению обороны и безопасности.

Кроме того, Минобороны в Арктике определяет порядок применения наземных РНС «Альфа» и «Чайка».

Ключевую роль в нормативно-правовом регулировании навигации на СМП выполняет Государственная корпорация «Росатом», которая является инфраструктурным оператором и координатором судоходства в данной акватории [11, 12].

Через подведомственные структуры, ФГУП «Главное управление Северного морского пути» и ФГУП «Гидрографическое предприятие», корпорация координирует движение судов, а также эксплуатирует береговые средства навигационного оборудования и сеть контрольно-корректирующих станций дифференциальных подсистем ГНСС.

В рамках плана развития СМП до 2035 года ГК «Росатом» ведёт работу по созданию единой платформы цифровых сервисов для повышения эффективности навигации, которая агрегирует данные для планирования проводок судов.

Корпорация выступила одним из инициаторов разработки резервной по отношению к ГНСС технологии навигации в отдельных районах акватории СМП.

В развитии навигационного обеспечения также участвуют другие федеральные органы исполнительной власти, включая Федеральную службу безопасности, Министерство внутренних дел, МЧС России, Минздрав России, Росреестр, Росстандарт и Росрыболовство. Их деятельность включает разработку отраслевых нормативных актов, проведение научно-исследовательских работ, а также сертификацию навигационной аппаратуры в своих сферах ответственности. При этом ФСБ России координирует деятельность по защите информации, а Росстандарт – работы в области стандартизации системы ГЛОНАСС.

Особую роль играют министерства, отвечающие за стратегическое развитие территорий и экономики. Министерство РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики (Минвостокразвития России) координирует реализацию государственной политики в Арктической зоне РФ. Министерство формирует консолидированный запрос на навигационные технологии, необходимые для решения задач макрорегиона: обеспечение устойчивой навигации на СМП, создание каналов связи для удаленных территорий и цифровизация управления. Деятельность министерства базируется на ключевых стратегических документах, таких как «Стратегия развития Арктической зоны

РФ до 2035 года» и «Основы государственной политики РФ в Арктике до 2035 года».

В свою очередь, Министерство экономического развития Российской Федерации (Минэкономразвития России) формирует макроэкономическую и регуляторную среду, способствующую развитию высокотехнологичных отраслей. Его функции включают стратегическое планирование, разработку мер по улучшению инвестиционного климата и проведение оценки регулирующего воздействия нормативных актов. Таким образом, Минэкономразвития России выступает системным интегратором, увязывающим отраслевые инициативы с общей стратегией экономического роста страны.

Важным научно-консультативным органом является Научный совет Российской академии наук (РАН) по проблеме «Координатно-временное и навигационное обеспечение». Созданный в 2005 году при президиуме РАН, Совет содействует организации, координации и проведению фундаментальных и прикладных научных исследований в области координатно-временного и навигационного обеспечения, а также их практической реализации.

3 Координация межведомственного взаимодействия при развитии навигационно-временных сервисов АЗРФ

Координацию межведомственного взаимодействия осуществляют коллегиальные органы государственного управления (рисунок 3).

Ключевым органом, определяющим государственную политику в сфере технологий военного и двойного назначения, является Военно-промышленная комиссия Российской Федерации (ВПК), созданная в 2014 г. [13]. Координацию деятельности федеральных органов исполнительной власти по вопросам развития науки и технологий в интересах обороны и безопасности осуществляет Коллегия ВПК, решения которой, принятые в пределах ее компетенции, являются обязательными для исполнения.

Для аналитического и экспертного обеспечения деятельности ВПК функционирует Научно-технический совет, который в рамках своей деятельности системно рассматривает вопросы КВО и выносит их на обсуждение Комиссии, что подчеркивает стратегический статус данного направления.

Роль других органов по развитию КВО для СМП и ТТК в целом не так очевидна на первый взгляд. Однако рассмотрим их функционал и полномочия. Особое внимание стоит обратить на статус принимаемых решений и курируемые документы развития АЗРФ в целом.

На уровне стратегического планирования развития арктического региона центральным координационным органом выступает Государственная комиссия по вопросам развития Арктики, образованная в 2015 г. [14].

Целями деятельности Государственной комиссии является защита национальных интересов Российской Федерации в Арктике и решение стратегических задач, определенных Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике, а также кардинальное повышение эффективности государственного управления в Арктической зоне Российской Федерации.

Среди основных задач Государственной комиссии отметим координацию деятельности федеральных органов исполнительной власти, исполнительных органов субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, иных органов и

организаций для:

- укрепления позиций Российской Федерации в Арктике с учетом геополитических, военно-технических, экономических и иных факторов;
- развития и повышения конкурентоспособности арктической транспортной инфраструктуры, в том числе СМП, поддержки гидрометеорологической, навигационно-гидрографической и поисково-спасательной систем, обеспечивающих функционирование СМП;
- эффективного использования СМП в качестве национальной единой транспортной коммуникации Российской Федерации в Арктике;
- разработки и реализации приоритетных инвестиционных проектов и программ, обеспечивающих развитие Арктической зоны Российской Федерации;
- формирования единого информационного пространства Российской Федерации в ее арктической зоне с учетом природных особенностей.



Рисунок 3 – Коллегиальные органы государственного управления

Важным практическим механизмом является право Президиума Госкомиссии присваивать инвестиционным проектам статус приоритетных для последующего финансирования, что открывает возможности для реализации капиталоемких проектов по развитию наземной навигационной инфраструктуры [15].

Решения Государственной комиссии являются обязательными для всех федеральных органов исполнительной власти.

Специализированным коллегиальным органом, обеспечивающим реализацию национальной морской политики, является Морская коллегия Российской Федерации, учрежденная в 2024 г. [16]. Среди ее основных задач определены развитие СМП и обеспечение безопасности мореплавания. Коллегия осуществляет функции по развитию систем навигационно-гидрографического, гидрометеорологического и поисково-

спасательного обеспечения морской деятельности. Особого внимания заслуживает наличие в структуре Научно-экспертного совета Коллегии профильной секции № 5 «Связь и навигационное обеспечение морской деятельности», что свидетельствует о предметной проработке вопросов радионавигации на высоком экспертном уровне.

Решения Морской коллегии, ее президиума оформляются протоколом и направляются в федеральные органы государственной власти, органы государственной власти субъектов Российской Федерации и организации. Предложения Морской коллегии, ее президиума по вопросам, требующим решения Президента Российской Федерации или Правительства Российской Федерации, оформляются в виде проектов решений Президента Российской Федерации или Правительства Российской Федерации, которые вносятся в установленном порядке.

Председатель Морской коллегии ежегодно представляет Президенту Российской Федерации доклад о комплексной оценке состояния национальной безопасности Российской Федерации в сфере морской деятельности и предложения по ее обеспечению.

Структура Коллегии включает три совета: по стратегическому развитию ВМФ, по защите национальных интересов России в Арктике и по развитию и обеспечению морской деятельности Российской Федерации.

В июле 2024 года в составе Госсовета создана комиссия «Северный морской путь и Арктика» [17] в целях организации работы и для обеспечения согласованных действий федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, иных государственных органов, органов местного самоуправления, организаций и объединений при решении задач в части устойчивого развития СМП и Арктической зоны.

К сфере компетенций комиссии относится совершенствование государственной политики по вопросам устойчивого развития СМП и АЗРФ, включая социально-экономическое, транспортно-логистическое и инфраструктурное развитие.

Основная функция Комиссии носит научно-методический и экспертно-аналитический характер и заключается в подготовке предложений для рассмотрения на заседаниях Госсовета по совершенствованию государственной политики и корректировке национальных проектов и федеральных программ в части, касающейся устойчивого развития СМП и АЗРФ.

Сравнивая функции и решаемые задачи перечисленных высших коллегиальных государственных органов, можно отметить как зоны пересечения их полномочий, так и существенные различия в их функционале. По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

Система государственного управления реорганизована с учетом вызовов, связанных с развитием Арктической зоны и обеспечением национальной безопасности. ГК «Росатом» получила расширенные полномочия в области инфраструктурного оператора СМП, утвержден новый состав и расширены полномочия Государственной комиссии по вопросам развития Арктики, Минвостокразвития России наделено полномочиями по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере развития АЗРФ, принято решение о расширении компетенции институтов развития Дальнего Востока на Арктическую зону, в 2024 году образованы Морская коллегия Российской Федерации и Комиссия Государственного Совета по

направлению «Северный морской путь и Арктика».

Развертывание наземного сегмента системы КВО должно происходить при непосредственном участии ГК «Росатом», коллегиальных органов государственного управления, институтов развития, хозяйствующих субъектов и организаций науки и промышленности, обладающих научно-техническим заделом в рассматриваемой области.

Заключение

Система КВО пилотной рабочей зоны с отработанными при опытной эксплуатации техническими, организационно-штатными, экономическими и правовыми решениями, с учетом возможностей ее эволюционного развития, может рассматриваться как прообраз навигационной «Системы систем» для гражданских и военных потребителей всей Российской Федерации в будущем.

Для внедрения таких решений необходима консолидация усилий всех ветвей власти, предприятий промышленности и науки, бизнеса. А также необходима дальнейшая конкретизация механизмов взаимодействия указанных субъектов и определение единого центра ответственности за реализацию утвержденных планов.

В этом контексте целесообразно рассмотреть проведение (по поручению одного из коллегиальных органов государственного управления) программно-целевой сессии по подготовке пилотного проекта предоставления навигационных услуг.

К проведению мероприятия пригласить федеральные органы исполнительной власти, государственные корпорации, институты развития и основные хозяйствующие субъекты, ведущие операционную и инвестиционную деятельность в АЗРФ.

Результатом сессии должна стать консолидированная позиция участников по механизму реализации пилотного проекта.

Материалы сессии могут стать основой для рассмотрения коллегиальным органом государственного управления и принятия соответствующих решений по развитию координатно-временного обеспечения Северного морского пути как составной части Трансарктического транспортного коридора.

Литература

1 Чубаров Р.В. Перспективное развитие и построение контрольно-корректирующих станций морской дифференциальной подсистемы на Северном морском пути для создания глобальной рабочей зоны морской дифференциальной подсистемы спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС как дополнение широкозонной системы дифференциальной коррекции Российской Федерации // Навигация и гидрография. 2022. № 68. С. 16.

2 Тюлин А.Е. Технологии координатно-временного обеспечения – неотъемлемая часть цифровой экономики России / А.Е.Тюлин, В.В.Шпак, Ю.М.Михайлов, С.Н.Карутин, С.И.Донченко, В.В.Дворкин, В.Н.Климов // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2024. № 3. С.5-13.

3 Распоряжение Правительства РФ от 01.08.2022 № 2115-р (ред. от 28.04.2023) «Об утверждении Плана развития Северного морского пути на период до 2035 года» // Официальный интернет-портал правовой информации. 4.08.2022. № 0001202208040008.

4 Постановление Правительства Российской Федерации от 30.07.2004 № 395 (ред. от 09.10.2025) «Об утверждении Положения о Министерстве транспорта Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2004. № 32. Ст. 3342.

5 Постановление Правительства РФ от 30.04.2008 № 323 (ред. от 19.01.2021) «Об утверждении Положения о полномочиях Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» и федеральных органов исполнительной власти по поддержанию, развитию и использованию глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах обеспечения обороны и безопасности государства, социально-экономического развития Российской Федерации и расширения международного сотрудничества, а также в научных целях» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2008. № 19. Ст. 2178.

6 Постановление Правительства Российской Федерации от 23.07.2004 № 371 (ред. от 31.07.2025) «Об утверждении Положения о Федеральном агентстве морского и речного транспорта» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2004. № 31. Ст. 3261.

7 Постановление Правительства Российской Федерации от 30.07.2004 № 396 (ред. от 31.07.2025) «Об утверждении Положения о Федеральном агентстве воздушного транспорта» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2004. № 32. Ст. 3343.

8 Постановление Правительства Российской Федерации от 30.07.2004 № 398 «Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере транспорта» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2004. № 32. Ст. 3345.

9 Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ «О связи» (в редакции от 08.08.2024) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2003. № 28. Ст. 2895.

10 Министерство обороны Российской Федерации: офиц. сайт. URL:<https://mil.ru/ministry/structure/structuremorf/3e82359c-d081-4724-9879-8c07eb6bf0ce> (дата обращения: 22.10.2025).

11 Федеральный закон «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»» от 1 декабря 2007 г. № 317-ФЗ (ред. от 23.07.2025) (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.12.2025) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2007. № 50. Ст. 6246.

12 Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части вопросов развития Дальнего Востока» от 28 июля 2012 г. № 132-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2012. № 31. Ст. 4328.

13 Указ Президента Российской Федерации «О Военно-промышленной комиссии Российской Федерации» от 10 сентября 2014 г. № 627 (ред. от 11.06.2024) (вместе с «Положением о Военно-промышленной комиссии Российской Федерации») // Собрание законодательства Российской Федерации. 2014. № 37. Ст. 4964.

14 Указ Президента Российской Федерации «О Государственной комиссии по вопросам развития Арктики» от 3 февраля 2015 г. № 50 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2015. № 6. Ст. 852.

15 Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении По-

ложения о Государственной комиссии по вопросам развития Арктики» от 14 марта 2015 г. № 228 (ред. от 14.06.2023) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2015. № 12. Ст. 1629.

16 Указ Президента Российской Федерации «О Морской коллегии Российской Федерации» от 13 августа 2024 г. № 691 (ред. от 10 марта 2025) (вместе с «Положением о Морской коллегии Российской Федерации») // Собрание законодательства Российской Федерации. 2024. № 34. Ст. 5918.

17 Указ Президента Российской Федерации «О комиссиях Государственного Совета Российской Федерации по направлениям социально-экономического развития Российской Федерации и их председателях» от 22 июля 2024 г. № 613 (ред. от 2 апреля 2025) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2024. № 31. Ст. 5918.

18 Указ Президента Российской Федерации «Об утверждении состава Военно-промышленной комиссии Российской Федерации и состава коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации» от 10 сентября 2014 г. № 628 (ред. от 17.07.2025) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2014. № 37. Ст. 4939.

19 Распоряжение Правительства Российской Федерации «Об утверждении состава Государственной комиссии по вопросам развития Арктики» от 11 декабря 2018 г. № 2742-р (ред. от 18 августа 2025) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2018. № 51. Ст. 8078.

20 Циркуляр IMO MSC.1/Circ.1595. E-Navigation Strategy Implementation Plan – Update 1-25 May 2018.

21 Циркуляр IMO MSC.1/Circ.1610 – Initial Descriptions Of Maritime Services In The Context Of E-Navigation -14 June 2019.

Власов Олег Викторович – кандидат военных наук, доцент, советник, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: Государственное управление и стратегическое планирование развития АЗРФ, механизмы межведомственной координации и взаимодействия органов власти с бизнес-структурами (GR), проблемы и перспективы развития СМП, включая вопросы навигационного обеспечения.

E-mail: vlsss@yandex.ru

Волокитина Ирина Николаевна – кандидат экономических наук, первый заместитель генерального директора – исполнительный директор, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: организация производства.

E-mail: volokitina_in@yandex.ru

Писарев Сергей Борисович – доктор технических наук, советник заместителя генерального директора, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург

Область научных интересов: системы радионавигации и точного времени.

E-mail: s_pisarev@mail.ru

Филатченков Сергей Викторович – кандидат технических наук, главный научный сотрудник, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург

Область научных интересов: системы радионавигации и точного времени.

E-mail: s.filatchenkov@goz.ru

Почтовый адрес: 192012, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Рыбацкое, пр.Обуховской Обороны, д.120, стр.19, помещ. 1-Н №708.

DEVELOPMENT DIRECTIONS FOR COORDINATE-TIME SUPPORT FOR THE NORTHERN SEA ROUTE AS A COMPONENT OF THE TRANS-ARCTIC TRANSPORT CORRIDOR

Based on current trends in the development of navigation support, driven by the ever-increasing demands of consumers for the characteristics of coordinate-time determinations and the dramatic increase in threats to reliable seamless determinations based on signals from global navigation satellite systems, this article presents the main organizational and technical principles for the development of integrated radio navigation systems proposed for deployment in the Arctic zone of the Russian Federation. The functions of key agencies and supreme collegial bodies of the Russian Federation in regulating navigation support for the Northern Sea Route as an integral part of the Trans-Arctic Transport Corridor are analyzed, with an emphasis on the development of radio navigation systems. Particular attention is given to mechanisms for interdepartmental coordination of navigation support development by government agencies.

Keywords: Arctic zone; Northern Sea Route; Transarctic Transport Corridor; radio navigation systems; coordinate and time support; interdepartmental cooperation; regulatory framework.

Vlasov Oleg Viktorovich– PhD in Military Sciences, Associate Professor, Advisor, JSC NPO Obukhovsky Zavod, St. Petersburg.

Advanced research interests: Public administration and strategic planning for the development of the Arctic Zone of the Russian Federation, mechanisms for interdepartmental coordination and interaction between government agencies and businesses (GR), problems and prospects for the development of the Northern Sea Route, including navigation support issues.

Volokitina Irina Nikolaevna – PhD in Economics, First Deputy General Director – Executive Director, JSC NPO Obukhovsky Zavod, St. Petersburg.

Advanced research interests: Production management.

Pisarev Sergey Borisovich – Doctor of Engineering Sciences, Advisor to the Deputy General Director, JSC NPO Obukhovsky Zavod, St. Petersburg

Advanced research interests: Radio navigation and precision time systems.

Filatchenkov Sergey Viktorovich – PhD in Engineering, Chief Researcher, JSC NPO Obukhovsky Zavod, St. Petersburg

Research interests: radio navigation and precision time systems.

УДК 513.0; 514.8

ПРИНЦИП ПАРНОСТИ В СТРОЕНИИ И ОПИСАНИИ ПОЛЕЙ ЗЕМЛИ

Гузевич С.Н.

В работе рассмотрен принцип парности взаимодействия полей объектов, который раскрывает физическо-математическую сущность понятий пространства и времени, на котором построены природные системы координат полей Земли и природная форма полей. Он формирует основные функциональные параметры вектора физических полей Земли, опирающиеся на постоянство модуля вектора шарового поля Земли, сформированное полем Солнца и его деление на радиус и амплитуду в шаровых проекциях вектора. Измерение в природных системах координат построены на парности одновременно сравниваемых линейных параметров полей, обеспечивая всем биологическим объектам возможность пространственной ориентации на основе сравнения и линейной оценке размеров объекта, заключенных в поле.

Ключевые слова: парность; пространство; время; достоверность измерений; шаровое поле; параллактические углы; электрическое и магнитное поле; плоскость; ортогональность; образ объекта; сравнение; синхронизация; синфазирование.

Введение

За всю историю науки фундаментальные основы физики постоянно пересматривались. Обсуждение этих проблем всегда было основным источником прогресса в науке, наравне с эмпирическими знаниями и математикой. Например, дискуссии: О природе пространства и времени с участием Ньютона, а затем и Эйнштейна; О природе тепла и энергии; О необратимости и вероятности; О характере материи и значении измерений; О значении нормировки, многое поменяли в наших представлениях об основах физики.

Размышление о фундаментальных основах структуры мироздания, используемых нами для понимания физического мира, имеет особое значение, учитывая нерешенные проблемы, которые, вероятно, потребуют еще не раз изменения грамматики научного описания физического мира. Характер строения вселенной, свойства гравитации и ее связь с полями инерции, характер измерений в квантовой механике, причина необратимости процессов, роль достоверности информации в физике – все это примеры вопросов, на которые наука все еще не может дать однозначных ответов. Их решение может потребовать пересмотра математических принципов описания физических процессов и выполнения новых экспериментов.

XXI век добавил к этим важным вопросам еще более важные, и главное неотложные вопросы, связанные с природными – температурными и сейсмическими условиями существования жизни на Земле. Эти вопросы связаны не только с условиями излучения, но и с условиями обмена – баланса энергетической информации между Солнцем и Землей, которые, из-за отсутствия постоянной опоры в обмене информации, рассматриваются физикой приближенными методами. Без решения этих вопро-

сов в физике никакие экологические вопросы решены быть не могут.

Одним из направлений, определяющих использование ряда из этих понятий в физике, является концепция и постулаты Евклида, основанные на принципе парности, связывающего противоположности вещественной и полевой материи единой математико-физической основой времени и пространства, заключенной в шаровую форму [1-2]. Она построена на создании парных условий сравнения в сечениях шара, для их разделения или объединения, которые используют в настоящее время только частично. Попытаемся рассмотреть их с позиций энергетического обмена между Солнцем и Землей и полями объектов на ее поверхности и полями Земли, которые из-за отсутствия «устойчивой» опоры рассматриваются в физике с помощью допущений математическими методами.

Опорой модельного строения Земли не может быть пространство, так как оно заполнено материальными объектами двух видов: шаровыми полями и вещественными плоскостными объектами, которые описываются разными зависимостями. Основой модельного строения Земли не может быть время, так как этот параметр связывает объекты различных размеров; основой не могут понятия линейной и угловой скорости, так как они связаны с двумя параметрами, имеющими разные меры. Основой может быть только свойство, которое является независимым от параметров и их свойств, которым является форма поля в виде шара.

Основой модельного строения Земли может являться шаровая форма, построенная на симметрии – парности, связывающей общности и отличия понятий времени и пространства.

1 Достоверность измерений и ее основные условия

Познание природы и ее законов начинается с правил, обеспечивающих достоверную передачу информации и ее измерение. Окружающее пространство заполнено полями, которые и выполняют передачу информации между вещественными объектами. Стационарные поля Земли являются шаровыми образованиями, форма которых невидима при использовании моно систем координат ни зрительными, ни техническими средствами. Это практически исключило шар из модельных описаний структуры полей. Практика человечества построена на измерении вещественных объектов, и законы метрологии построены на основе измерений вещественных объектов и их образов. При этом методология построена на использование системы координат, в которой человечество стремится отобразить все особенности объекта, то есть построить образ объекта. Если построение образов выполняется параллельным проектированием, то размеры вещественных объектов в пространстве оценивают на основе прямых измерений, что и служит условием их достоверности. Но в основном передача информации выполняется центральным проектированием, тогда размеры вещественных объектов в сферическом пространстве оценивают на основе линейной пропорциональности полученных образов, что и служит условием их достоверности. Однако в процессе измерений на расстоянии, когда информация передается с помощью полей, эти условия выполнить невозможно, так как центры полей источника и измерителя не связаны, что ведет к потере достоверности получаемой информации и неопределенности их описания. А об условиях достоверности измерения полей, которые окружают вещественное пространство [2], мы даже не говорим, а именно только их мы изме-

ряем. Парность строения материи – это свойство, которое необходимо обязательно учитывать при ее измерении, описании и использовании, которое далеко не всегда выполняется. Отсутствие однозначной связи центров систем координат взаимодействующих полей (измерителя и источника) вносит погрешность – неопределенность, задаваемую параметрами полей (в моно системах координат связь просто отсутствует). Именно отсутствие связи центров систем координат взаимодействующих полей и является источником неопределенности большинства выполняемых на расстоянии измерений, которые выполняются вектором.

Вектор в шаровом пространстве описывается двумя линейными ортогональными параметрами проекций радиуса и амплитуды. Абсолютным пространственным параметром вектора шарового поля является радиус, с которым связана амплитуда поля коэффициентом плотности. Угол задает направление между двумя проекциями вектора и является относительным понятием, оцениваемым отношением радиуса и хорды, где радиус – постоянная величина, а хорда – нет. Угол задает в пространственной ориентации направление распространения, а во времени задает фазу амплитудного значения «собственного времени» вращения поля.

В настоящее время принято пространство-время описывать как прямое произведение в теории множеств, основанное на теориях относительности, топологических пространствах и графов, например изложенных в работах [1-4].

Это представление физической природы времени используется для построения шкалы всемирного координатного времени на Земле при отображении пространства в системе координат Декарта. Недостатком математической формы описания природы времени является отсутствие ее наглядности, сложность слияния с физическими параметрами. Но это и процессы лингвистической трактовки слов, которые логике не починяются. Это сложное понятие, но явно не математическое, но которое зрительно реализовано на Земле ее инерциальными полями простым сравнением.

Все измерения в физической и биологической природе выполняются сравнением образов полей, полученных парными измерителями. Они обеспечивают связь между центрами шаровых полей объектов, с помощью которой устанавливается когерентная связь фаз шаровых полей объектов. Кроме того, Время соединяет последовательность действий в локальных процессах, соединяя их замкнутостью в одном процессе и синхронизируя действия в параллельных процессах в (интегральном) пространстве.

Решение задачи достоверного измерения полей требует использования двух эталонов, с помощью систем координат, связывающих центры полей и создающих опорную плоскость в ортогональных границах пространства:

- эталона измерений прямой линии в пространстве, «обеспечиваемой» только на плоскости (аксиома метрологии),
- эталона измерений шарового пространства – радиус, диаметр которого также должен синфазироваться с полем измерителя и контролироваться эталоном линейных измерений, что возможно только при «соединении» центров сферических пространств на плоскости и описания времени параметрами пространства.

В настоящее время, в качестве эталона сферического пространства Земли выбрана поверхность геоида, который является модельным отображением водной поверхности Земли на плоскости ее сечения. Линейные параметры геоида изменяются,

как от вращения Земли, так и приливов, которые могут иметь локальные изменения во времени до 100 м. Для оценки изменений положения геоида в пространстве используют шкалу вращения Земли, оцениваемую по шкалам всемирного и эфемероидного времени. Они заменены в настоящее время атомными стандартами, погрешность которых значительно меньше погрешности шкал всемирного и эфемероидного времени. Но «соединение» центров сферического пространства плоскостью гарантируется только для шаров.

Международная служба вращения Земли (МСВЗ) по рекомендации Международного астрономического союза (МАС) и Международного бюро мер и весов (МБМВ) установила, что опорные системы координат являются четырехмерными системами координат. Эти системы координат рекомендованы для использования в метрологии.

Эти выводы получены из условий выполнения измерений проективным способом в моно системе координат, когда образ шарового поля Земли в пространстве не может быть воспроизведен из-за его замкнутости. К ним относятся и трехмерная система координат Декарта. Географическая система координат является парной системой по построению, так как эллипс и геоид имеют два центра. Географическая система координат в настоящее время – это сферическая или эллипсоидальная система координат для измерения и передачи координат непосредственно на Земле в виде широты и долготы. Географическая система координат – самая простая, старейшая и наиболее широко используемая из тысяч используемых систем пространственной привязки, которая лежит в основе большинства других. Чаще всего на территории РФ используются эллипсоиды WGS 84 и Красовского. Но это не единственная географическая система координат, на рубеже эпох была географическая система координат Евклида, в основе которой лежал шар. К сожалению, парность измерителей в технике в настоящее время не является обязательным условием, что ведет в принципе к исключению достоверности измерений полей в пространстве, построенного на сравнении – равновесии, реализуемого в шаре. Такая четырехмерная система координат может быть реализована в шаровом пространстве, обладающим свойствами парности, свойства которого описаны Евклидом.

2 Четырехмерная система координат Евклида

С задачей модельного описания строения материи блестяще справился Евклид, но его постулаты парности строения материи исключали монизм религиозного строения Земли. Отсутствие у современников Евклида знаний о физических полях Земли, их форме, свойствах и характере распространения, затруднили понимание его постулатов и аксиом, так как единственными наблюдаемыми сферическими объектами были планеты. Возможность описания поверхности Земли при религиозном монизме строения мира обеспечила теорема Пифагора, создавшая ее точное описание на локальных участках поверхности Земли. Религиозный монизм строения пространства исключил парность строения материи и шаровой формы ее строения. Это создало неопределенность измерений в пространстве, как объектов, так и физических параметров, в которых параметр времени оказался искусственным, а отсутствие направления отсчета времени привело к исключению связи времени с пространством, хотя угол характеризует направление сжатия информации. Физические поля Земли (электриче-

ское, магнитное, гравитационное) являются сферическими образованиями и характеризуются двумя взаимно ортогональными параметрами, как в пространстве, так и во времени. Поэтому представление физических полей Земли в виде шаров является реальной формой их существования. И доказательством этого является замкнутость каждого из физических полей, то есть сумма каждого из параметров физических полей по замкнутому контуру равна нулю. Это свидетельствует также о том, что время и пространство характеризуют две парные формы существования пространства, которые должны описываться разными параметрами и разными системами координат.

Совместное существование двух форм материи полевой и вещественной требует модельного разделения их общности и отличий в используемых системах координат. Одна из которых отображает трехмерное пространство с двумя видами параметров, абсолютных по характеру в плоскостном пространстве, а вторая описывает его относительными по характеру параметрами, используя параллельные поля инерциального вращения в одной плоскости для их слияния. Роль их описания должны играть две научные дисциплины: математика и физика, которые должны описывать одинаковые действия параметрами с разными свойствами. При этом ведущую роль необходимо отдать физике, где она реализуется двумя плоско-шаровыми (инерциальными) электрическими, магнитными полями, а их взаимодействие реализует трехмерное гравитационное поле Земли. Именно поэтому гравитационные поля обладают свойством всеобщей проницаемости.

3 Парность систем координат – основа строения полей Земли

Природа обеспечивает достоверные отображения ориентации форм объектов в пространстве без использования вычислительной техники, следовательно, в ней функциональные операции заменены методическими построениями, в которых используется простейшие операции сравнения, достоверные только на плоскости или в шаровом пространстве. Для реализации этого условия в природе имеются две формы существования объектов: вещественная и полевая. Полевая форма, обеспечивающая однозначное построение плоскости, связывающей объекты, представлена шаром. Вещественная форма представлена объектом произвольной формы, заключенным внутри шаровой формы.

Общей концепцией построения пространства, состоящего из полей и заключенных в них вещественных объектов, является совмещение двух форм их существования: идеальной – шаровой и произвольной, которые связаны принципом парности, соединяющим их общности и отличия.

Поля Солнца и Земли являются идеальной частью пространства и представляются шаровыми поверхностями, заключенными в однородных пространствах. Шаровые поля описываются вектором, который описывается в трехмерной системе координат двумя линейными ортогональными параметрами: радиусом и амплитудой, имеющих разные, но связанные меры измерений. Это позволяет описывать трехмерное пространство на плоскости. Взаимодействие шаровых полей выполняется сравнением ортогональных параллактических углов, проведенных из центров шаров. Форма шара контролируется однозначно по равенству параллактических углов его наблюдений, но фиксируется не диаметром шара, а его хордой, разделенной на две равные части осью или равенством амплитуд полей, отношение которых характеризует ра-

венство плоскостного параллактического угла. То есть форма полей взаимодействия Солнца и Земли достоверна, а ее размер относителен.

В результате поле, оцененное параллактическим углом, имеет достоверный относительный характер, заключенный в шаровую форму, но при условии, что центры полей связаны вектором – или прямолинейной осью, заключенной в параллактическом угле. Наведенные поля, фиксируя результаты сравнения частей хорды или амплитуд поля, управляют положением полей по изменениям парных параметров вектора. Поле Земли обеспечивает достоверную относительную оценку радиусов-амплитуд физических полей, наведенных Солнцем.

Вещественные объекты являются реальной частью пространства, которые размещаются в поле Земли. Вещественный объект, находящийся в поле, наведенного Солнцем, может иметь любую произвольную форму и сам формировать собственные локальные поля, искажая форму суммарного поля Земли, но сохраняя их сумму по замкнутому контуру равным нулю. Все «вещественные» параметры на Земле характеризуются линейными пространственными параметрами, которые в большинстве своем измеряются с помощью их физических полей. Форма вещественных полей зависит и от собственных полей Земли. Достоверно измеряются только линейные формы полей и вещественных объектов, но только сравнением. Количественную меру измерений имеет только пространственный параметр длины, но только на плоскости или в проекции на ось координат.

Шар обеспечивает как простейший эталон физического пространства, так и основу измерений линейного пространства, имея центр, как опорную точку и радиус, как основу линейности поверхности. Шаровая форма полей в динамике взаимного перемещения их векторов контролируется равенством параллактических углов взаимных наблюдений сравнением амплитуд парных полей, оцененных на равных базах, связанных с центрами полей.

Правильность решения этой задачи, выполняемой без использования допущений, является не равенство сравниваемых результатов, что является исходным условием, а линейность используемых угловых зависимостей для вычислений измеряемых параметров полей, которые однозначно обеспечивают достоверность оценки формы полей объектов по равенству ортогональных параметров шара.

Концепция Евклида построена на единой цели описания формы вещественного объекта, используя для этого различия форм полей и объектов для достижения разных целей:

- шаровую форму полей на Земле используют для построения оси и плоскости, соединяющей поля разных объектов с полем Земли,
- построенную плоскость используют для измерений на ней размеров форм вещественных объектов относительно их центров.

Поэтому представление суммы физических полей Земли в виде шара является реальной формой наводимого Солнцем поля, которое контролируется во времени по замкнутости их формы, а описывается линейными зависимостями на плоскости.

Замкнутость трех физических полей (электрического, магнитного и гравитационного), обеспечивается в пространстве по равенству нулю суммы составляющих трех физических полей Земли, как в пространстве, так и времени [1-3].

Аксиоматическим условием достоверности описания шаровых процессов полей

в пространстве является транслирование в параллактической системе координат парных параметров вектора поля: его радиуса и амплитуды.

Эти положения концепции строения мира в виде постулатов и аксиом впервые были изложены Евклидом более 2000 лет назад. Они были забыты, так как физические поля и их свойства были открыты только 200 лет назад. Рассмотрим возможность реализации концепции Евклида.

4 Концепция Евклида связи пространства и времени

Концепция измерений Евклида построена на принципе парности проецирования шаровых поверхностей друг в друга. Ему удалось соединить в одно целое множество противоречивых фактов, выделить их общие и отличительные стороны, выполнить доказательство ряда постулатов, расположив их в логическую цепь геометрической системы, построенной на принципе парности, опирающейся на шаровое пространство, в котором прямоугольные треугольники, построенные по направлениям движения вектора, связаны зависимостями геометрического среднего. То есть параллактическая трансляция поверхности шара превращают трехмерное пространство в два двумерных плоскостных, которые образуются в шаровом поле, формируя в нем создание двух полевых образований, имеющих тороидальную форму, названных электрическим и магнитным полем, показанных на рисунках 1a и 1b.

Общая вычислительная основа измерений шарового пространства построена на его описании в плоскостном виде линейными зависимостями, связанными с линейными параметрами вектора в ортогональных плоскостях, связывающих центры двух шаровых полей параллактической системой координат, формируя четырехмерность вектора и системы координат, построенных линейными параметрами плоскостных сечений шара.

Электрическое и магнитное поля Земли являются результатом плоскостного проектирования шара в шар, которое выполняется 4-мя симметричными конусами в плоскостном отображении. Образы полей являются плоскостными образованиями и характеризуются двумя взаимно ортогональными параметрами, как в пространстве, так и во времени, поэтому представление физических полей Земли в виде сечений шаров является реальной формой их существования. И доказательством этого является замкнутость каждого из физических полей, то есть сумма каждого из параметров физических полей по замкнутому контуру равна нулю, как в пространстве, так и во времени.

Электрическое и магнитное поля Земли являются параметрами плоскостных сечений шара, замкнутость которых в пространстве обеспечена в двух ортогональных плоскостях, что подтверждается двумя плоскостными физическими параметрами – потенциалами, обладающих разной направленностью как в пространстве, так и во времени. Тороидальное строение полей подтверждается принципом построения химических элементов в таблице Менделеева [6].

Общепринято считать вектор пространственным параметром. Пространственный вектор при проектировании в шар состоит из двух плоскостных линейных векторов, расположенных в двух ортогональных параллактических плоскостях, обеспечивающих передачу информации, которые равны по модулю, но нормированы различными мерами. Плоскостные вектора формируют в центрах полей плоскостные пара-

метры, расположенные на осях параллактической системы координат. В параллактической системе координат ось Y , связывающая центры полей, нормирует линейное расстояние между ними. По двум ортогональным осям X и Z нормируются проекции амплитудных составляющих вектора, которые расположены в ортогональных плоскостях.

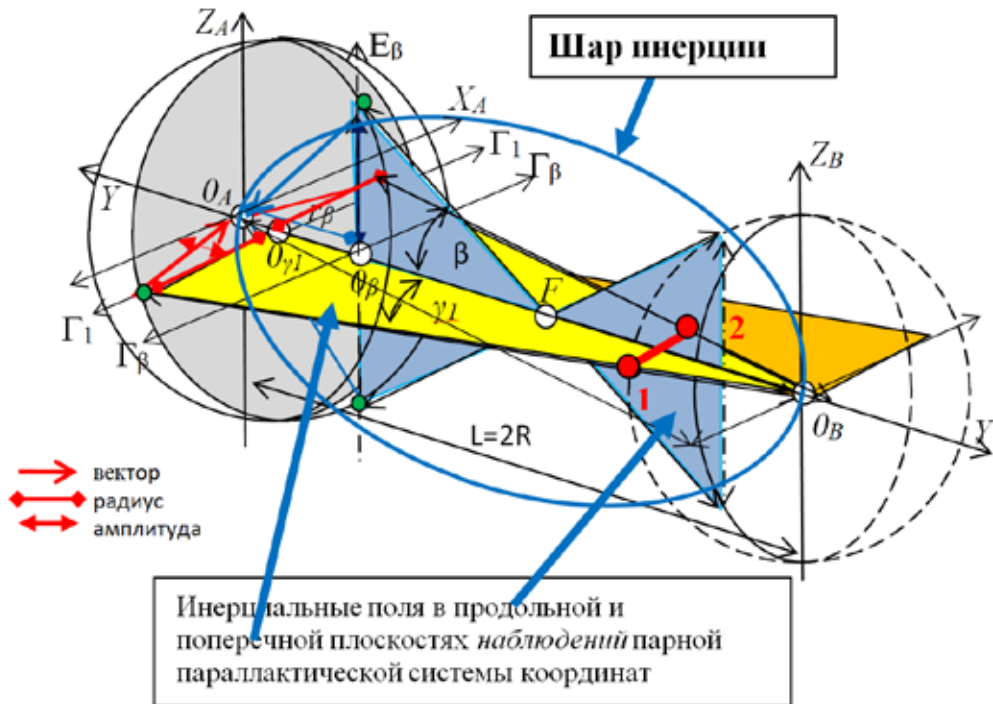


Рисунок 1 – Связь шаровых полей объектов инерциальными полями

Таким образом, вектор, проектируемый Солнцем, является парным пространственным физическим параметром, создаваемым только в поле шара парной параллактической системой координат в виде двух пар плоскостных проекций разных параметров. Так как составляющие пространственного вектора равны, то потенциалы каждого из плоскостных векторов могут трансформироваться друг в друга, что и наблюдается, вызывая удивление [7]. Из этого следует, что пространственным вектором является параллактический вектор, формирующий парную параллактическую систему координат и, что самое удивительное, ни каких других пространственных векторов не существует (именно такого вывода математика сделать не может из-за отсутствия информации).

Возможность отображения проекций электрического и магнитного полей на плоскости свидетельствует о возможности плоскостного отображения и гравитационного поля. Замкнутость трех физических полей электрического, магнитного и гравитационного – общеизвестна, она обеспечивается в пространстве по равенству нулю суммы составляющих трех физических полей Земли, как в пространстве, так и времени [1-3]. Поэтому представление суммы трех физических полей Земли в плоскостном отображении будет являться, как доказательством реальной формы поля, как и доказательством природы источника гравитационного поля, так и его замкнутостью, кото-

рое контролируется во времени по шаровой форме их суммы.

Диаметр полей в природе охватывает максимальные размеры вещественных объектов. Следовательно, законы взаимодействия полей определяют законы взаимодействия вещественных объектов, а не наоборот, как это принято считать в настоящее время [1].

Постулатами, требующими доказательства при использовании параметров физических полей Земли будут только процессы, которые описывают действия с парными параметрами векторов на плоскости измерений в сечении шара, где:

- 1) Объекты имеют две формы существования: вещественную и полевую.
- 2) Пространственный вектор описывается двумя ортогональными плоскостными векторами, расположенными в плоскостях парной параллактической системы координат.
- 3) Плоскостные вектора описываются на разных плоскостях параллактической системы координат и обладает шаровой формой двух своих составляющих.
- 4) Шаровое пространство имеет две формы описания: пространственную и плоскостную.

Результатом правильности решения этой задачи, выполняемой без использования допущений, будет не равенство сравниваемых результатов, а линейность используемых функциональных зависимостей для вычислений измеряемых параметров, которые однозначно обеспечивают достоверность оценки.

Решение этой задачи разбивается на две части: выявление параметров физических полей, которые необходимо измерять, и определение измерительных средств и принципов их построения, которые необходимо использовать. Для решения этих задач выделим общеизвестные постулаты взаимодействия полей и объектов, которые в настоящее время используют только частично, не полностью понимая их роль в процессе взаимодействий и измерений.

Во-первых, все измеряемые элементы и процессы в природе имеют парные противоположные части, например бесконечное пространство может быть линейным и шаровым, описываться линейными и временными параметрами, а поля характеризуются амплитудой и протяженностью, радиусом и длиной волны, прямые линии характеризуются длиной и шириной и оцениваются их скалярным и векторным произведением. Поэтому они могут достоверно описываться только парой измерителей, разнесенных на базе. Это условие обеспечивает достоверность оценки парных параметров при равенстве любого из них и их произведений. При этом все объекты находятся в сферическом пространстве, а точно измеряться могут только линейные отрезки, расположенные на плоскости.

Во-вторых, поля в природе охватывают максимальные размеры объектов. Следовательно, законы взаимодействия полей определяют законы взаимодействия вещественных объектов, а не наоборот, как это принято считать в настоящее время [1]. Поля обеспечивают основу построения пространственной плоскости взаимодействия объектов. При этом исключается необходимость постулирования постоянства скорости света.

Именно поэтому время измеряется приращениями, которое описывает пространственное положение каждого объекта на Земле в секторе ее освещения Солнцем на двух плоскостях. Угол наблюдения описывается в шаре отношением сторон в двух

ортогональных секторах и является относительной величиной, которая может оцениваться, как отношением длин, так и амплитуд. Сектор в шаре с радиусом 1 м замыкается хордой, равной минимальной линейной мере измерений «угла» в пространстве: $l'' \approx n \cdot 10^{-6}$.

Время – параметр вращательного движения и удобная форма описания жизни человечества на Земле, связанное с ее вращением вокруг оси, то есть обладает свойством парности, которую необходимо разделять.

Используя шаровые поля, природа обеспечивает достоверное управление полями по расстояниям без использования вычислений, путем сравнения амплитуд или радиусов в парных (параллактических) измерениях двух ортогональных окружностей.

Процесс управления положением полей в пространстве, используя простейшие операции сравнения линейных параметров физических полей на ортогональных плоскостях, невидимы и отображаются только в модельном построении, показанном на рисунке 2. Их влияние на поверхность Земли проявляется при анализе освещенности и длительности по широтным поясам на плоскости измерений.

На рисунке 2а показано взаимодействие шаровых полей в плоскостном отображении, где два шара A и B , связанные касательными лучами, образуют парную шаровую систему координат с ортогональными параллактическими углами γ_1 , γ_2 , γ_3 и β . Взаимодействие шаровых полей выполняется в 4-х пространственных конусах, связанных с направлением оси Y , лучи которых являются плоскостными векторами, образуя проекции на оси Y и ортогональные плоскости параллактических окружностей.

Вращение параллактических углов выполняется вокруг оси Z . Их вращение образует в каждом шаре R_A и R_B параллельные плоскостные окружности взаимодействия, имеющие различные диаметры, построенные равными по модулю плоскостными векторами. Окружности имеют различные проекции на осях координат Z и X , обеспечивая отличия амплитуд и радиусов окружностей, сдвинутых по фазе на $\pi/4$. Все построения на рисунке 2а выполнены в одной системе координат 0_AXYZ и поэтому обозначения параллактических систем координат в них исключено. На плоскостном отображении на рисунке 2а образы в продольной и поперечной плоскостях совмещены и различаются цветом линий: красный цвет – в поперечной, синий – в продольной.

Из рисунков 2 видно, что в поперечной плоскости действуют два плоскостных угла γ_1 и γ_2 , лучи которых исходят из центров шаров A и B . Их разностный угол ($\gamma_1 - \gamma_2 = \gamma_3$), показанный поверхностью другого цвета, определяет амплитуду и радиус окружности, размещаясь в другой половине шара, имеющего другой знак, фиксирующий его действие в поперечной плоскости, направленное в центр поля. На рисунке 1в показано суммирование только амплитуд полей, аналогичную операцию можно выполнить и для радиусов окружностей, но это усложнит пространственное отображение на рисунке.

При вращении поля вокруг оси Z проекции вектора поля меняют свою ориентацию, не изменяя модуля вектора, и отображаются на поперечной плоскости, что показано на рисунке 1с.

В поперечной плоскости проекция амплитуды поля угла γ_3 суммируются с амплитудой, проектируемой углом β , обеспечивая равновесие ортогональных полей и создавая проекцию амплитуды гравитационного поля на ось Y . Эти действия обеспе-

чивают условия устойчивости положения Земли при ее вращении вокруг Солнца. Аналитические зависимости взаимодействий углов полей приведены в работе [5]. Все действия с углами выполняются в одном шаре, что обеспечивает аддитивности их суммирования и свидетельствует об однозначной линейности операций.

Проектирование в продольной плоскости всегда осуществляется на одну ось Z , задавая направление оси вращения.

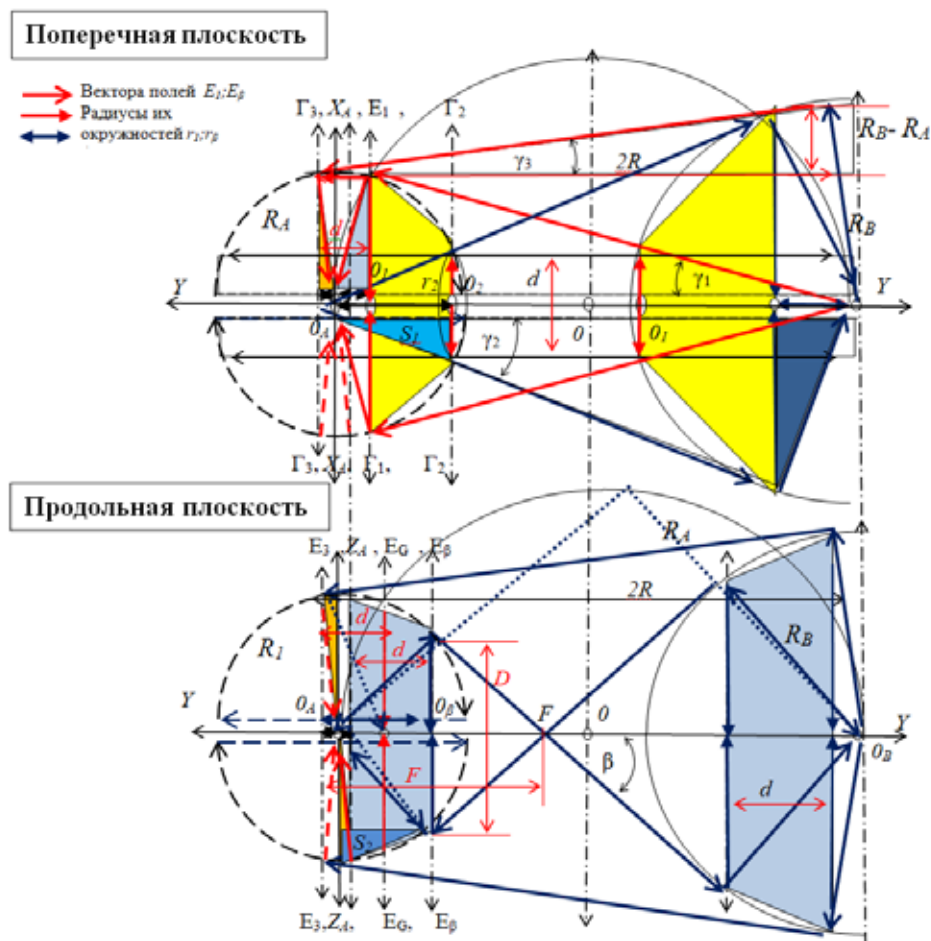


Рисунок 2 – Процесс построения и измерения в шаре инерциальных полей

Построенные стереографические проекции отражают азимутальные проективные проекции шаровой поверхности из его центра по главным направлениям проекций, принятым в картографии [3, 15], но они одновременно отображают изолинии всех физических полей в шаре, которые пересекаются под прямыми углами, обеспечивая их замкнутость.

Информация об ориентации оси Y передается с помощью равных ортогональных параллактических углов, равенство которых контролируют по равенству амплитуд физических полей (магнитных или электрических) на базе измерений. Все измерения получают в плоскостной системе координат, опорой которых является положение

ние центра поля Земли и радиусы ее физических полей, параметры которых формирует вектор R , наведенного Солнцем поля. Наведенные Солнцем магнитное и электрическое поля образуют потенциальные плоскостные изолинии, отражающие плоскостные проекции образа Земли в стереографических проекциях.

Все действия между шаровыми полями отображаются в продольной и поперечной окружностях по направлению оси Y , связывающих их центры, которые в географической системе координат отображаются угловыми проекциями в шаре.

Плоскостные поверхности, расположенные параллельно в поперечной плоскости, характеризуют энергию наведенную полем Солнца на разные широтные участки поверхности Земли, образуя окружности, площади которых пропорциональны косинусу широты в шаре ϕ .

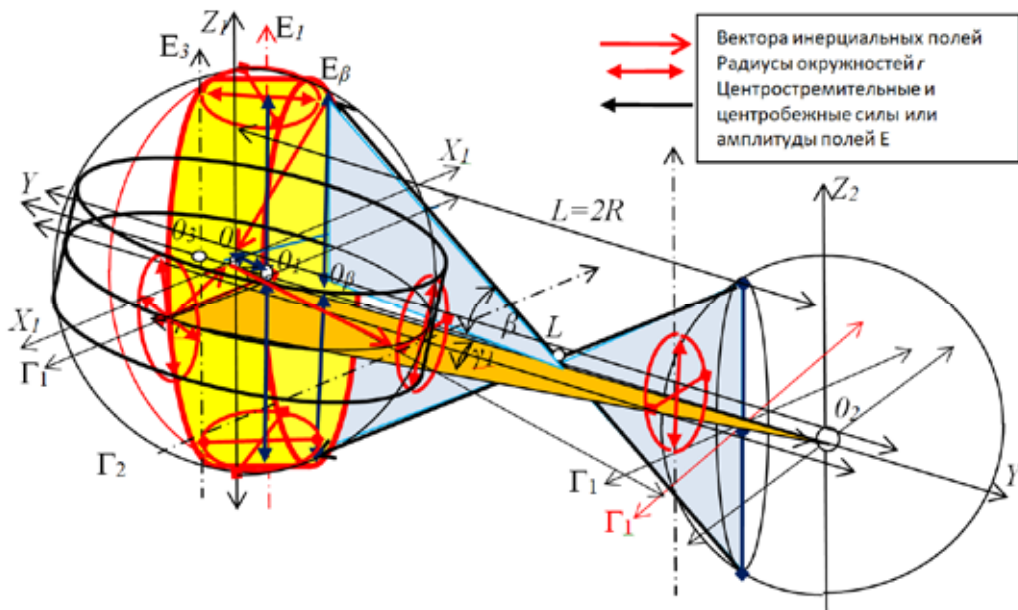


Рисунок 3 – Угловое проецирование или образы инерциальных полей

Положение параллелей нормируется проекциями радиуса, связанными с плоскостями параллельными продольной окружности, связывающей центры объектов угловыми координатами: широтой, а положение меридианов определяют по оценкам проекций на вертикальную ось Z и нормируется постоянным угловым шагом. Шаровая система координат является пространственной и отличается от системы координат Декарта только широтной системой нормирования образов полей, выполняемым одновременно по двум линейным параметрам, описывающим пространство по расстоянию и времени. Шаровая система координат является моно системой, где контроль связи центров полей не обеспечен, что практически и является причиной погрешностей измерений *GPS*, которые особенно высоки в расчлененной местности, где градиенты полей имеют направленность, не совпадающую с направлением движения спутника и носителя аппаратуры.

Разделение локальных полей Земли и шаровых полей, наведенных Солнцем, производится по градиенту амплитуд нормального поля Земли на участке кратному

базе взаимодействия Земли и Солнца d , где амплитуды локальных полей обладают экстремальными значениями и направлены по радиусу к ее центру. При этом шаровое поле наведенное Солнцем по протяженности значительно больше, а его градиенты зависят от направления осей координат X и Z . Направление оси X задает плоскость электрического поля, которое имеет наклон оси вращения Земли $22,5^\circ$, задавая нутацию электрического поля за цикл вращения. Направление оси Z задает плоскость магнитного поля, которое имеет наклон магнитного поля Земли $12,5^\circ$, задавая его нутацию за цикл вращения.

Поля Земли, имея шаровой характер, взаимодействуют по закону геометрического среднего, но в шаровой системе координат, имея геометрически точный характер [11].

Процесс координирования, используемый биологическими объектами, основан на сравнении уровней потенциалов или наблюдаемых амплитуд, как магнитного, так и электрического полей на участке формируемого конусом построения. Информация сравнения потенциалов на участке измерений позволяет оценить широту по результатам оценки размера радиуса окружности и его амплитуды, а по ним оценить положение центра конуса.

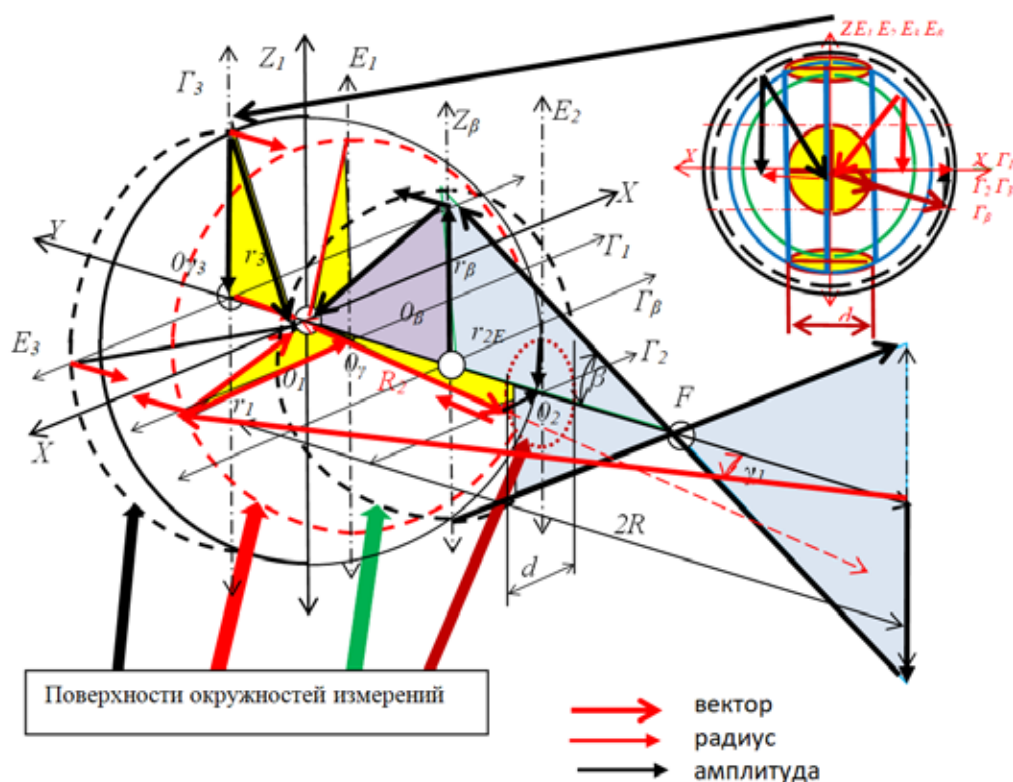


Рисунок 4 – Отображения вектора взаимодействий шаровых полей на плоскости измерений

Концепция Евклида позволяет сделать следующие выводы:

- 1) В пространстве существуют только поля, формирующие вещественные объ-

екты разных размеров.

2) Вектор поля в шаровом пространстве состоит из равных по модулю двух линейных парных параметров: радиуса и амплитуды, которые описываются разными связанными мерами.

3) Ось, связывающая центры полей, обеспечивает симметрию параметров парных параметров полей объектов в ортогональной плоскости измерений, которая формирует шар, соединяющей центры полей.

4) Плоскостные проекции шаровых полей имеют форму ортогональных трапецеидальных отображений, обладающих зеркальными радиусом и амплитудой, геометрическая сумма которых равна вектору шарового поля.

5) Проекция вектора внутрь шара повышает разрешающую способность его измерений.

6) Вектор в шаре может трансформировать свой вид, сохраняя свой модуль. Вектор, соединяющий центры полей, трансформируется в касательную и радиус шара, связанные геометрической суммой с модулем вектора.

7) Отображения вектора взаимодействий шаровых полей на плоскости измерений в парной параллактической системе координат описывается произведением векторных (топологических) пространств.

Силовое взаимодействие полей, связано с взаимодействием векторов, например Солнца и Земли, имеющих возможность представлять вектора в виде трансформируемых подобных прямоугольных треугольников. Обладая подобием при проектировании в другой шар, вектора способны изменять свои размеры по закону геометрического среднего, которые связаны с полем гравитации и описаны в законе Ньютона. Следовательно, поле гравитации имеет также плоскостное отображение. Одновременно взаимодействие полей обеспечивает их геометрическое пространственное равновесие, которое приведено в работах [1-4].

Аксиоматическим условием достоверности описания шаровых процессов и объектов является их равновесие, которое достигается при использовании парных параметров вектора поля: его радиуса и амплитуды, транслируемых зеркальными углами в параллактической системе координат, которые отображаются на плоскости в двух разных системах координат: трехмерной системе координат Декарта и угловой плоскостной системе координат времени.

1) Принцип парности обеспечивает взаимодействие Солнца и Земли на основе сравнения наблюдаемых геометрических и физических параметров полей без использования вычислительных средств.

2) Принцип парности обеспечивает трансляцию информации между полями объектов в парной параллактической системе координат, используя две ортогональные параллактические плоскости. Отображение информации получают в шаровой географической системе в виде двух трапецеидальных сечений шара.

3) Параллактическая система координат обеспечивает равенство линейных параметров векторов полей в образах меридианов и параллелей шарового поля.

4) Шаровая поверхность обеспечивает преобразование линейных размеров поверхности Земли в угловые координаты географической системы.

5) Магнитное и электрическое поля Земли являются плоскостными проекциями шарового поля, наведенного Солнцем и основой построения шаровой географической

системы координат Земли.

6) Гравитационное поле формируется разностью плоскостных инерциальных полей Земли.

7) В географической системе координат параметры векторов полей отображаются в четырех секторах плоскости шаровой системы, подтверждая требования Международной службы вращения Земли (МСВЗ), Международного астрономического союза (МАС) и Международного бюро мер и весов (МБМВ), что опорные системы координат Земли являются четырехмерными шаро-плоскостными системами.

Литература:

1 https://ru.wikipedia.org/wiki/Прямое_произведение#Прямое_произведение_семейства_множеств.

2 Бурбаки Н. Основные структуры анализа. Книга 1. Теория множеств. М.: Книга по требованию, 2013. 460 с.

3 Кулик Б.А. Логика и математика: просто о сложных методах логического анализа. СПб.: Политехника, 2020. 141 с.

4 Гузевич С.Н. Параллактическая система координат, как основа достоверных локационных измерений // Авиакосмическое приборостроение. 2020. №4. С.15-24.

5 Гузевич С.Н. Использование параллактической системы координат при навигационных измерениях // Авиакосмическое приборостроение. 2020. №12. С.35-45.

6 Артюшкин В.Л. Теория вихре-тороидального дуализма построения мира. С-Петербург: СИНЭЛ, 2018. 148 с.

7 Гузевич С.Н. Постулаты и аксиомы Евклида – фундамент физики и основа математики // Проблемы исследования Вселенной. 2020. Том 39, вып.1. С.63-75.

8 Гузевич С.Н. Аксиоматика Евклида, как условие достоверности измерений. НИЦ «Наука России», 2020.

9 Гузевич С.Н. Достоверность локации и постулаты Евклида // Авиакосмическое приборостроение. 2022. №3. С.27-38.

10 Гузевич С.Н. Постулаты Евклида – условие модельного равновесия в природе // Прикладная физика и математика. 2022. №10. С.3-14.

11 Гузевич С.Н. Природная система счисления, обладающая достоверностью // Прикладная физика и математика. 2022. №10. С.15-25.

12 Гузевич С.Н. Постулаты Евклида и как их понимать // Навигация и гидрография. 2022. №68. С.28-44.

13 Гузевич С.Н. Парная параллактическая сферическая система координат // Навигация и гидрография. 2022. №68. С.45-57.

14 Гузевич С.Н. Метрологические аспекты достоверных измерений времени в пространстве // Навигация и гидрография. 2023. №69. С.69-76.

15 Гузевич С.Н. Время, пространство и их физическая сущность // Навигация и гидрография. 2023. №71. С.75-86.

Гузевич Святослав Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: магнитометрические средства измерений, использование магнитного поля Земли для целей навигации.

E-mail: Guzevich@yandex.ru

THE PRINCIPLE OF PAIRING IN THE STRUCTURE AND DESCRIPTION OF EARTH FIELDS

This paper examines the principle of pairing the interaction of object fields. This principle reveals the physical and mathematical essence of the concepts of space and time, upon which the natural coordinate systems of Earth fields and the natural form of fields are constructed. It forms the basic functional parameters of the vector of Earth's physical fields, based on the constancy of the modulus of the Earth's spherical field vector, formed by the Sun's field and its division into radius and amplitude in spherical projections of the vector. Measurements in natural coordinate systems are based on the pairing of simultaneously compared linear field parameters, providing all biological objects with the ability to spatially orient themselves based on comparison and linear estimation of the dimensions of an object contained within the field.

Keywords: pairing; space; time; measurement reliability; spherical field; parallax angles; electric and magnetic fields; plane; orthogonality; object image; comparison; synchronization; phasing.

Guzevich Svyatoslav Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, JSC State Research Navigational and Hydrographic Institute, St. Petersburg.

Research interests: magnetometric measurement instruments, use of the Earth's magnetic field for navigation.

УДК 62-5

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Квас Е.С., Кузьменко В.П., Солёный С.В.

В работе рассматриваются организационно-технические аспекты функционирования роботизированных линий производственного комплекса в условиях отклонений от верхних допустимых границ параметров качества электрической энергии, таких как фазное напряжение, тангенс угла фазного сдвига, коэффициент обшей гармонической составляющей тока и коэффициент мощности. На основе экспериментального анализа измеренных значений в течение суточного производственного цикла обосновано влияние зафиксированных отклонений на устойчивость и согласованность работы исполнительных механизмов роботизированной линии, в результате чего разработана модель интегральной оценки устойчивости производственного цикла с учётом весовой значимости изменений параметров показателей качества электрической энергии в электросети исследуемого производственного комплекса. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации высокоавтоматизированных производственных систем с повышенными требованиями к стабильности параметров электрической сети.

Ключевые слова: организация производства; качество функционирования роботизированных линий; качество электрической энергии; роботизированный производственный комплекс.

Введение

Повышение уровня автоматизации производственных процессов привело к кардинальному усложнению архитектуры современной промышленной производственной линии. Использование роботизированных систем в операциях транспортировки, сортировки, дозирования и упаковки позволило значительно повысить точность и повторяемость технологических операций, а также обеспечить непрерывность потока продукции при сокращении времени простоя оборудования. Вместе с тем, столь высокая степень автоматизации обусловила и возросшую чувствительность к параметрам внешней среды, прежде всего – к качеству электрической энергии, поступающей в систему электроснабжения предприятия [1].

Под качеством электрической энергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» понимается совокупность характеристик электрической сети, отклонение которых от установленных диапазонов значений может привести к ухудшению качества функционирования автоматизированных модулей производственной линии. В случае

роботизированной линии, где функционирование отдельных узлов жёстко синхронизировано, изменения параметров электрической сети могут приводить не только к экономическим затратам, связанным с дополнительными потерями электрической мощности, но и с дополнительными техническими сложностями и простоями при организации всего производственного цикла.

Практика показывает, что даже кратковременные нестабильности в параметрах электросети могут привести к нарушению работы исполнительных механизмов, ошибок программ управления приводными системами, системами дозирования, контроля и другими энергозависимыми элементами производственных линий. Кроме того, нестабильность показателей качества электрической энергии (ПКЭЭ) способна вызывать накопленные отклонения в дозировке, упаковке и маркировке при выпуске серийной продукции на роботизированной линии, тем самым непосредственно влияя на показатели качества и нарастание доли некондиционных единиц продукции. Несмотря на очевидную значимость этого влияния, в доступной отечественной литературе присутствует очень ограниченное количество работ, в которых был бы представлен строго воспроизводимый количественный анализ взаимосвязи между параметрами ПКЭЭ и организацией функционирования роботизированных производственных систем [1, 2]. Между тем, именно такое рассмотрение необходимо для выработки стандартизированных подходов к управлению качеством продукции в условиях роботизированного производства.

При этом потребность в комплексных методах организации высокоавтоматизированного производства подчёркивается и рядом исследований, опубликованных в работах Маркова Е.П. и Померанцева А.М. [3], где раскрывается концепция единого цифрового пространства предприятия оборонно-промышленного комплекса, объединяющего материальные и программные компоненты производства. Авторы подчёркивают, что повышение степени автоматизации неизбежно сопровождается ростом требований к качественным параметрам энерго- и информационных потоков, а любые несогласованные флуктуации в них приводят к потере синхронности и снижению производительности. Настоящее исследование развивает этот тезис, сосредоточив внимание именно на энергетическом компоненте цифрового пространства и его влиянии на устойчивость роботизированных линий на примере цехов роботизированного розлива в условиях производственного комплекса. Особое внимание уделяется тем показателям ПКЭЭ, которые поддаются инженерной корректировке в рамках действующих стандартов, включая коэффициент мощности, общий коэффициент гармонических составляющих токов и напряжений, тангенс угла фазного сдвига. Полученные результаты позволяют не только количественно оценивать последствия отклонений ПКЭЭ, но и формулировать конкретные организационно-технические мероприятия, направленные на повышение стабильности функционирования роботизированных линий и, как следствие, качества выпускаемой продукции.

Целью настоящего исследования является обоснование и экспериментальная проверка инженерного подхода к организации функционирования роботизированных линий производственного комплекса в зависимости от параметров качества электрической энергии, с акцентом на обеспечение синхронности, надёжности и технологической устойчивости производственных модулей линии в условиях переменной загрузки линии.

1 Условия и методика проведения анализа качества электрической энергии на производственном комплексе роботизированного розлива

Экспериментальное исследование проводилось на действующем производственном комплексе, специализирующемся на розливе и упаковке пищевой продукции. Исследуемая структура производственного комплекса включала два промышленных цеха: в первом осуществляется розлив в стеклянную тару и последующая контейнеризация газированных напитков, во втором – розлив подсолнечного масла в бутылочную ПЭТ-тару с последующей упаковкой в транспортные контейнеры. Вспомогательная инфраструктура представлена складскими помещениями, системами хранения, административно-бытовыми корпусами и охранной зоной с наружным освещением, питающимися от общей низковольтной сети. Общая энергоёмкость комплекса увеличивалась поэтапно начиная с 2021 года, что связано с вводом в эксплуатацию дополнительных технологических линий и ростом объемов переработки сырья.

На рисунке 1 представлен обобщенный состав системы роботизированного розлива подсолнечного масла, расположенной в одном из цехов исследуемого производственного комплекса.

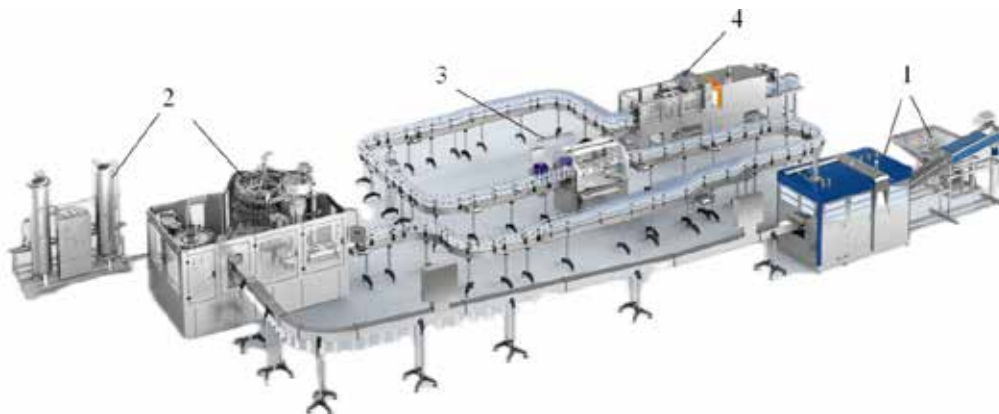


Рисунок 1 – Обобщенный состав роботизированной установки розлива подсолнечного масла в пластиковую тару: 1 – ячейка для выдува ПЭТ тары; 2 – ячейка для водоподготовки, миксер и наполнитель (филлер); 3 – ячейка для маркировки; 4 – ячейка для формирования групповой упаковки (кистерс)

Схема роботизированной линии исследуемого производственного комплекса (рисунок 1), в составе которой осуществлялись измерения, включала: участок выдува тары, водоподготовку с миксерами и наполнительными блоками, секцию маркировки, а также роботизированную ячейку групповой упаковки (кистерс). Каждая из этих секций связана через общую шинную систему электроснабжения, при этом в силовую схему включены как трёхфазные асинхронные двигатели, так и источники с импульсным преобразованием мощности – контроллеры, импульсные блоки питания, датчики и системы связи. Таким образом, совокупная нагрузка представляет собой сочетание активной, индуктивной и нелинейной составляющих и по данным эксплуатационных служб составляет порядка 2300 кВт, что в теории даёт предельный месячный лимит потребления в пределах 1656000 кВт·ч. Фактическое потребление, зафиксированное в пиковые периоды (осень 2023 – весна 2024), находилось в диапазоне от 580000 до 695000 кВт·ч в месяц, что подтверждает использование не более половины доступной

лимитированной мощности, с существенным резервом по нагрузке.

Параметры системы электроснабжения исследуемого производственного комплекса представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Проектные параметры системы электроснабжения производственного комплекса

Параметр	Значение
Номинальное фазное напряжение сети	230 В
Номинальное линейное напряжение	400 В
Частота сети	50 Гц
Схема заземления	TN□C□S
Силовой трансформатор (тип, мощность)	2 × КТПНУ□800/10/0,4;
Установленная активная нагрузка	650 кВт
Проектный коэффициент мощности	0,85
Полная расчётная мощность	765 кВА
Система компенсации реактивной мощности	Конденсаторная батарея 3 × 33 кВАр (99 кВАр)
Производственный график	две смены по 12 ч
Распределение активной нагрузки по фазам	34 % : 33 % : 33 %
Интервал регистрации измерений	10 с; 256 точек/период
Длительность непрерывной записи	24 ч
Нормативные документы	ГОСТ 32144□2013; IEC 61000□4□30
Типы нагрузок	Асинхронные двигатели, электроприводы роботов, ИИП, программируемые логические контроллеры (ПЛК) и инспекционные модули, насосы и т.п.

Несмотря на достаточный энергетический запас, характер нагрузки обусловлен широким применением нелинейных компонентов: импульсных источников питания, частотно-регулируемых приводов, ПЛК, инспекционных модулей и модулей связи, входящих в состав роботизированных участков. Такие элементы формируют выраженную реактивную и гармоническую составляющие, особенно в вечерние и ночные интервалы, когда наблюдается относительное преобладание управляющих систем над приводными механизмами. Это приводит к искажению формы тока, увеличению коэффициента общей гармонической составляющей тока нарушению баланса фаз и снижению коэффициента мощности ниже проектного уровня. В совокупности эти факторы формируют сложный режим электропитания с частыми переходными процессами и чувствительной реакцией системы управления, что делает необходимым проведение анализа ПКЭЭ с высокой временной детализацией и последующей корректировкой алгоритмов управления.

Измерения производились в точке подключения основной низковольтной распределительной сети, непосредственно питающей оборудование технологических цехов. В качестве измерительного инструмента использовался сертифицированный анализатор параметров качества электрической энергии *Chauvin-Arnoux C.A 8335*, соответствующий требованиям класса точности 0,5% и способный фиксировать ампли-

тудно-временные характеристики с разрешением до 256 отсчётов на период. Измерения проводились в течение суточного производственного цикла при интервале усреднения 30 с. Подключение измерительного анализатора качества электрической энергии производилось по четырехпроводной трехфазной схеме в общей распределительной щитовой на вводе в цеха, где токовые клещи установлены на фазные проводники L1, L2, L3, а напряжения измеряются относительно общего нулевого проводника PEN, что соответствует стандартной методике анализа ПКЭЭ в системах *TN-C-S* (рисунок 2).

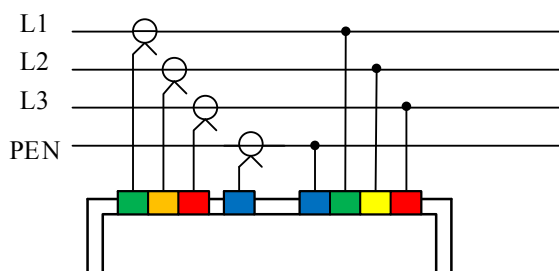


Рисунок 2 – Схема подключения анализатора качества электрической энергии С.А 8335 в главном распределительном щите цехов роботизированного розлива в исследуемом производственном комплексе

Выбор методики измерений базировался на положениях ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии», а также на требованиях международных стандартов *IEC 61000-4-30* (измерения *PQ*), *ISO 50001* (энергетический менеджмент) и *ISO 9001* (контроль технологических параметров в рамках системы менеджмента качества (СМК)).

Проводимые измерения позволили охватить ключевые интервалы производственного цикла – запуск смен, периоды максимальной и пониженной загрузки, а также нештатные отклонения, тем самым обеспечив достоверную и воспроизводимую оценку энергетического состояния комплекса с точки зрения соответствия требованиям надёжности и устойчивости высокоавтоматизированных производственных процессов.

2 Анализ и обсуждение результатов экспериментального исследования показателей качества электрической энергии цехов роботизированного розлива производственного комплекса

Исходя из поставленных задач, первым этапом анализа стала оценка колебаний фазных токов, напряжения, а также активной и реактивной мощности в течение суточного производственного цикла. В условиях непрерывной работы двух технологических цехов в двухсменном режиме, при наличии роботизированных упаковочных и транспортных ячеек, критически важно понимать, как изменяются основные энергетические параметры в моменты запуска оборудования, пиковых нагрузок и переходных процессов. Полученные временные зависимости являются основой для последующего анализа гармонической составляющей, коэффициента мощности, фазовой несимметрии и других искажений, влияющих на устойчивость роботизированных линий, точность дозирования, синхронизацию приводов и общее качество продукции.

На рисунке 3 представлены усреднённые значения тока (по фазам A1 – первая фаза, A2 – вторая фаза и A3 – третья фаза), фазного напряжения (по фазам V1 – первая фаза, V2 – вторая фаза и V3 – третья фаза), активной и реактивной мощности по трем фазам за 24-часовой период.

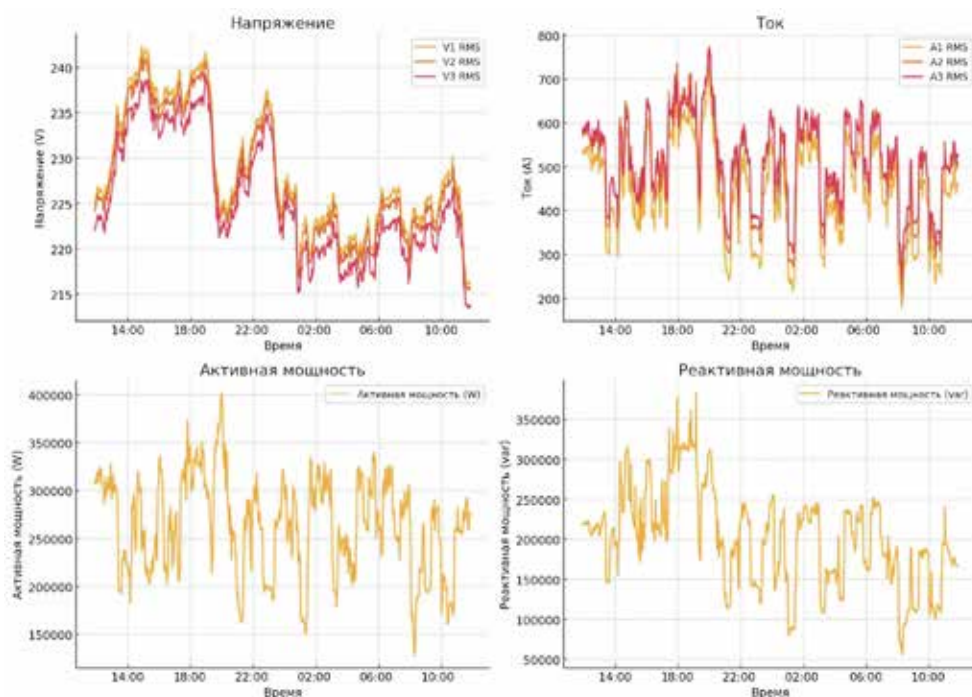


Рисунок 3 – Полученные кривые фазных токов, фазных напряжений, активной и реактивной мощности в электроустановке производственного комплекса

График активной мощности на рисунке 3 демонстрирует, что на протяжении суток энергетическая нагрузка системы распределена неравномерно, с чётко выраженным пиковым интервалом в период с 18:00 до 20:00, когда активная мощность достигает максимальных значений порядка 370 кВт. Это соответствует фазе интенсивной работы всех производственных узлов, включая розлив, упаковку и инспекцию, а также завершающий этап дневной смены. Одновременное включение мощных приводов и насосного оборудования объясняет резкий подъём реактивной мощности в этот же период, вплоть до 450–470 кВАр, что указывает на преобладание индуктивной составляющей нагрузки.

Также наблюдается значительная корреляция между фазами, с умеренной степенью несимметрии: фазные напряжения варьируются в пределах от 217 В до 242 В, что формально укладывается в допустимые пределы по ГОСТ 32144-2013, но указывает на существенные отклонения в переходные интервалы. Максимальные значения наблюдаются в период с 15:00 до 17:30, где амплитуда превышает 240 В, а наименьшие – в интервале с 22:00 до 01:30, где фиксируются просадки до ~217–220 В. Это может быть связано с одновременным запуском высокомоощных приводных механизмов и снижением питающего напряжения на фоне перегрузки трансформатора, либо с усилением гармонических искажений токов и напряжений.

На рисунке 4 приведена динамика коэффициента мощности по фазам (*PF1* – первая фаза, *PF2* – вторая фаза, *PF3* – третья фаза), а также его средневзвешенное значение в течение 24 часов непрерывной регистрации параметров электроснабжения производственного комплекса. Здесь *PF* (от англ. *Power Factor*) – коэффициент мощности, определяемый как отношение активной мощности к полной.

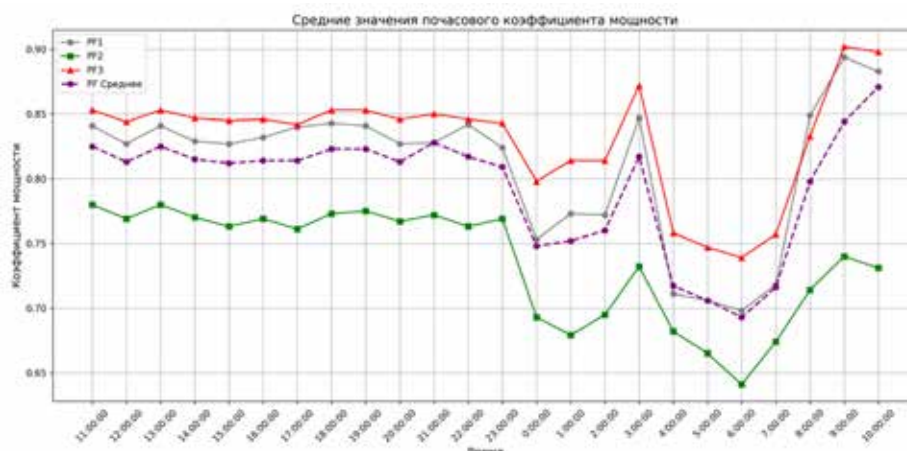


Рисунок 4 – Временные зависимости коэффициента мощности по фазам и в среднем за период суточной регистрации в системе электроснабжения производственного комплекса

Максимальные значения коэффициента мощности фиксируются в период с 15:00 до 17:30, где наблюдается устойчивое превышение значения 0,85 по фазе А3 (*PF3*), при этом среднее значение по всем фазам также достигает пиков, вплотную приближаясь к проектному уровню. Данный интервал, вероятно, соответствует периоду наибольшей загрузки основных производственных механизмов, работающих в устойчивом установившемся режиме с минимальными колебаниями реактивной составляющей.

Наименьшие значения коэффициента мощности наблюдаются в ночной период – с 00:00 до 06:30, где средний показатель снижается до уровня 0,68-0,72, а минимальные значения по фазе А2 (*PF2*) опускаются до 0,64. Причинами таких просадок, вероятно, являются либо разбалансировка фазной нагрузки в условиях неполной загрузки оборудования, либо активизация нелинейных потребителей в ночную смену, таких как импульсные источники питания (ИИП) или автоматизированные инспекционные комплексы, вносящих значимый вклад в реактивную составляющую потребляемой мощности [4].

Средневзвешенное значение коэффициента мощности за анализируемый период составило 0,79, что ниже проектного уровня ($\cos(\varphi_{\text{пр}}) = 0,85$). Это указывает на недостаточную эффективность работы установленной системы компенсации реактивной мощности – фиксированной конденсаторной батареи номиналом 99 кВАр, что может свидетельствовать о необходимости её модернизации либо замены на управляемые устройства, например тиристорно-коммутируемые реактивные модули (ТКРМ).

С точки зрения управления качеством электроснабжения и обеспечения устой-

чивости производственных процессов, отклонения коэффициента мощности от проектного значения в ночные и переходные интервалы суток представляют потенциальный риск. Они могут привести к увеличению потерь в сети, неравномерной нагрузке на трансформаторы и кабельные линии, а также к снижению общего энергетического КПД комплекса.

На рисунке 5 представлен анализ временных зависимостей общей гармонической составляющей тока ($A1 THD$ – для первой фазы, $A2 THD$ – для второй фазы, $A3 THD$ – для третьей фазы), где наблюдается устойчивое превышение нормативных значений на всех фазах.

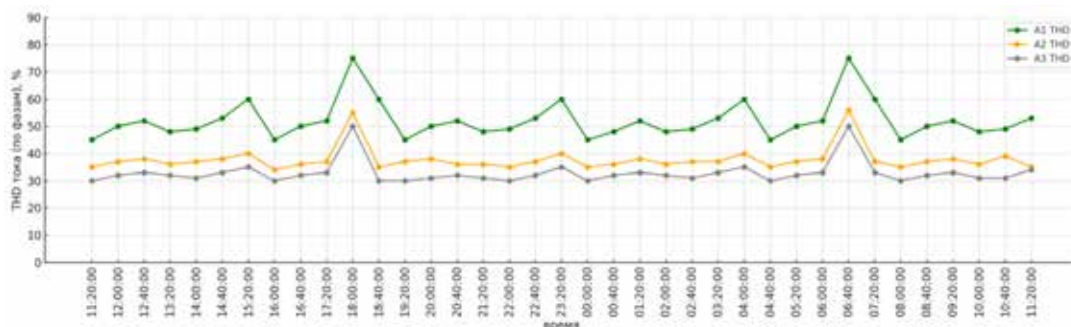


Рисунок 5 – Суточные колебания общей гармонической составляющей тока (THD) по фазам в электросети исследуемого производственного комплекса

Наибольший уровень искажений приходится на фазу $A1$, где в часы пиковых нагрузок (в районе 18:00 и 06:30) коэффициент THD превышает 75 %, что более чем в 2 раза выше по сравнению с фазами $A2$ и $A3$. Минимальные значения, около 1,75 %, наблюдаются в ночное время, с 01:00 до 04:00, при пониженной производственной активности. Эти колебания коррелируют с графиком тангенса угла сдвига фаз ($tg(\varphi)$), представленным на рисунке 6, где $Tan1$ – значения тангенса угла сдвига для первой фазы, $Tan2$ – для второй фазы, $Tan3$ – для третьей, также зафиксированы пиковые значения от 1,0 до 1,25 в те же временные промежутки.

Физическая природа этой взаимосвязи заключается в том, что рост гармонических искажений изменяет спектральный состав напряжения, создавая дополнительные частотные составляющие, которые приводят к несинусоидальному току. Вследствие этого, угол между результирующим током и основным напряжением возрастает, что выражается в увеличении $tg(\varphi)$. При этом увеличивается реактивная мощность, которую требуется компенсировать.

Максимумы обеих функций на рисунках 5 и 6 совпадают: при 06:40 и 18:15 наблюдаются $A1 THD = 75\%$ и $Tan1=1,2$, при этом нормированная кросс-корреляция достигает $\rho = 0,93$ при нулевом сдвиге по времени, что указывает на прямую связь: рост гармонических искажений мгновенно повышает фазовый сдвиг и реактивную составляющую нагрузки, что позволяет предположить общую причину – несбалансированное включение нелинейных и реактивных нагрузок, нарушающее режим работы системы компенсации реактивной мощности (КРМ).

С инженерной и организационной точки зрения, данный анализ указывает на необходимость:

- перераспределения нагрузки по фазам;
- пересмотра графика включения энергоёмкого оборудования;
- оптимизации состава и параметров КРМ, вплоть до установки динамических компенсаторов с фильтрацией гармонических искажений по току и напряжению.

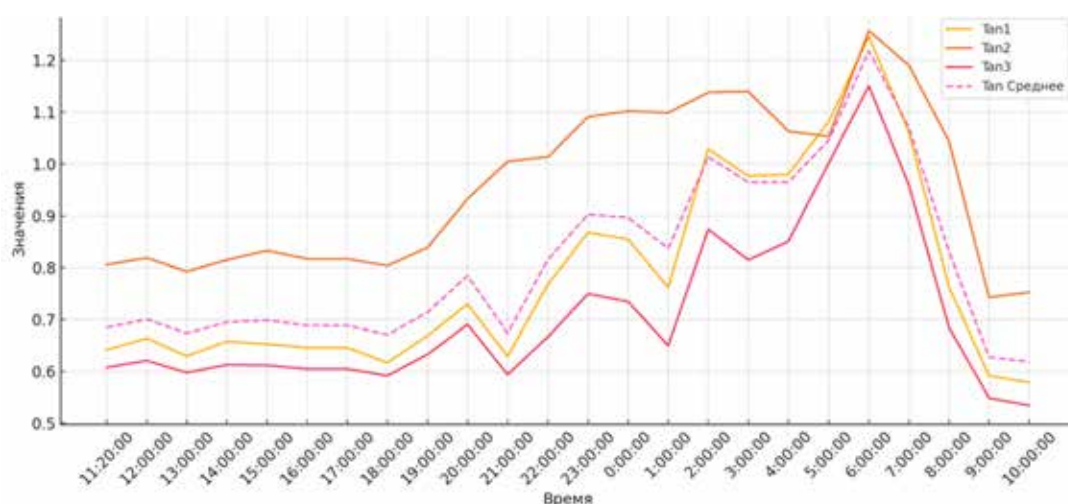


Рисунок 6 – Суточные изменение тангенса угла фазового сдвига $\text{tg}(\varphi(t))$, измеренные по трем фазам системы электроснабжения производственного комплекса

В условиях высокой степени автоматизации технологических линий такие отклонения становятся критически значимыми, в результате чего возможно возникновение рассогласований между сигналами управления ПЛК и активацией исполнительных механизмов, что приводит к нарушению синхронности операций, неполному срабатыванию приводов и снижению стабильности производственного цикла [5, 6].

Для устранения выявленного дисбаланса предлагается трёхзвенный организационно-технический алгоритм, рассчитанный на внедрение без остановки основного цикла.

На первом этапе целесообразно пересмотреть суточный график запуска энергоёмких агрегатов. Насосные станции водоподготовки и компрессоры следует включать последовательно с двух-трёхминутным интервалом, что предотвращает наложение пусковых токов и, согласно расчёту мгновенной мощности, снижает моментальный ТНД приблизительно на четверть.

На втором этапе выполняется фазо-селективное перераспределение нелинейных потребителей: частотно-регулируемые приводы упаковочных роботов и импульсные источники питания инспекционных модулей переносятся с перегруженной фазы до выравнивания активной мощности в пределах $\pm 5\%$.

Параметры переноса определяются по результатам анализа профиля нагрузки за 24 часа и подтверждаются результатами на основании архивов автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ) за анализируемый период.

На третьем этапе предлагается ввести ступенчатый график включения вспомогательных энергоёмких установок (насосной станции, компрессорной группы, блоков

водоподготовки), при котором каждому узлу присваивается фиксированное «окно запуска» с временным разнесом.

Реализация данных мероприятий возможна без остановки основного производственного цикла, путём перенастройки распределительных шкафов и обновления управляющей логики в составе автоматизированной системы диспетчерского управления и контроля (*SCADA*-системы, от *Supervisory Control and Data Acquisition*), обеспечивающей централизованное управление энергетическими и технологическими процессами комплекса.

3 Модель интегральной оценки устойчивости суточного производственного цикла

Для того, чтобы формализовать влияние ПКЭЭ на качество функционирования роботизированной линии, рассмотрим интегральный индекс устойчивости цикла S_{PQ} , рассчитываемый по отклонениям ключевых параметров от нормативных значений. Под циклом далее понимается непрерывный 24-часовой интервал работы двухсменного конвейера, включающий все переходные режимы: пуски, вечерний пик и ночное понижение нагрузки.

Модель строится на принципе «наихудшего звена»: чем больше совокупное отклонение, тем выше вероятность рассогласования программируемых логических контроллеров, управляющих сервоприводами линии (ПЛК-приводов) и, как следствие, простоя оборудования. При построении интегрального индекса устойчивости цикла S_{PQ} , принята линейная аддитивная модель риска, широко используемая в инженерной надёжности и анализе критичности (*Risk Priority Number, RPN*). Предпосылками для такой модели являются:

- 1) отклонения разных показателей качества электрической энергии (ПКЭЭ) проявляются как условно независимые отказообразующие факторы;
- 2) каждый фактор воздействует на одно и то же «узкое место» – синхронную работу ПЛК-приводов и исполнительных механизмов;
- 3) в рабочем диапазоне отклонений влияние факторов монотонно (чем больше девиация, тем выше вероятность сбоя).

Для идентификации критичных показателей использован метод *FMECA* (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* – анализ видов, последствий и критичности отказов), по результатам которого каждому показателю присвоен коэффициент критичности w_i (таблица 2), определённый экспертной группой методом ранжирования отказов по доле сбоев.

Т а б л и ц а 2 – Весовые коэффициенты критичности показателей ПКЭЭ (по результатам *FMECA*)

Показатель	Норма	Допуск	w_i
Фазное напряжение	230 В	$\pm 10 \%$	0,25
Гармонические отклонения	$\leq 8 \%$	8 %	0,35
$\text{tg}(\varphi)$	$\leq 0,8$	0,4	0,25
коэффициент мощности	$\geq 0,85$	0,15	0,15

В таблице 2 сумма весов равна 1, что сохраняет интерпретируемость индекса.

В таких условиях суммирование нормированных девиаций, умноженных на веса критичности, обеспечивает линейную аппроксимацию интегральной вероятности несоответствия и даёт показатель, пригодный для оперативного контроля в SCADA.

Пусть x_i – текущее значение i -го ПКЭЭ (фазное напряжение, гармонические отклонения, $\text{tg}(\varphi)$, коэффициент мощности), тогда его безразмерная девиация D_i рассчитывается по формуле

$$D_i = \frac{|x_i - x_i^{\text{норм}}|}{x_i^{\text{доп}}},$$

где $x_i^{\text{норм}}$ – целевое нормативное значение;

$x_i^{\text{доп}}$ – максимально допустимое отклонение (по ГОСТ 32144-2013).

Тогда можно рассчитать интегральный индекс устойчивости по примеру функции потерь Тагучи [7]

$$S_{PQ} = \sum_{i=1}^4 w_i D_i.$$

На примере исследуемого производственного комплекса интерпретация значений интегрального индекса устойчивости была откалибрована на архиве параметров 180 смен, в результате чего получены следующие значения:

- $S_{PQ} \leq 0,7$ – устойчивый режим, вероятность незапланированного простоя $< 5\%$;
- $S_{PQ} \leq 1,0$ – допустимый режим, требуется оперативный контроль;
- $S_{PQ} > 1,0$ – критический режим, высокая вероятность сбоя.

На рисунке 7 представлена суточная траектория интегрального индекса устойчивости S_{PQ} , рассчитанного по предложенной модели критической чувствительности линии к параметрам качества электрической энергии. Кривые пороговых уровней $S_{PQ}=0,7$, $S_{PQ}=1,0$, нанесённые пунктиром, задают границы допустимого и критического режимов соответственно.

График на рисунке 7 демонстрирует два интервала (около 06:00 и 18:00), в которых индекс превышает критический порог 1,0, что совпадает с моментами фиксированного роста ТНД до 75 % и увеличения $\text{tg}(\varphi)$ до 1,2. В ночные часы S_{PQ} остаётся ниже 0,7, что подтверждает устойчивый характер работы оборудования, а в дневное время колеблется в диапазоне 0,7-1,0, требуя оперативного контроля.

Таким образом, предложенная методика позволяет не только локализовать проблемные интервалы ПКЭЭ, но и задать направление для последующего внедрения автоматизированного контроля и адаптивной коррекции параметров электроснабжения, направленных на повышение энергетической устойчивости и снижение рисков для функционирования роботизированных линий.

Заключение

Проведённое исследование позволило количественно охарактеризовать влияние параметров качества электрической энергии на устойчивость и согласованность функционирования роботизированного производственного комплекса. Зафиксированы характерные отклонения по фазному напряжению, коэффициенту мощности, общей гармонической составляющей тока и тангенсу фазового сдвига, особенно в пере-

ходных режимах и при пиковых нагрузках. Наиболее критичны уровни общего гармонического искажения тока, достигающие 75 %, сопровождающиеся ростом тангенса фазового сдвига до 1,2.



Рисунок 7 – Суточная динамика изменения рассчитанного интегрального индекса устойчивости S_{PQ} для исследуемого производственного комплекса

На основании полученных данных предложена модель интегральной оценки энергетической устойчивости производственного цикла, учитывающая весовую значимость отклонений ключевых показателей и организационно-технический алгоритм по коррекции режима энергопотребления без остановки производственного цикла. Расчёты по архивам наблюдений подтвердили применимость модели для диагностики нестабильных интервалов, сопряжённых с рисками нарушения синхронности привода и управляющих сигналов.

Предложенные мероприятия реализуемы в рамках существующих систем управления и соответствуют требованиям промышленной автоматизации. Результаты исследования могут быть использованы для повышения качества организации роботизированного производства с точки зрения его энергетической устойчивости.

Литература

1 Putynkowski G.; Woźny K.; Szychta E.; Szychta L. Influence of Voltage Sags on the Continuity of the Operation and Lifespan of Single-Phase Industrial Robots // Coatings. 2021. 11. P.1229.

2 Sujidha P., Devi S., Manjula A., Thillainayagi N., Usha A. (2022). Novel Approach of Power Quality Issues Suppression using Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter Based DSTATCOM // International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology.

3 Марков Е.П., Померанцев А.М. Автоматизация производства в ОПК // Радионавигация и время. 2021. № 7 (15). С. 60-72.

4 Кузьменко В.П. Снижение электромагнитных помех от импульсных источников питания на промышленных объектах // Автоматизация в промышленности. 2025. № 7. С. 45-51.

5 Eltamaly A.M., Sayed Y., El-Sayed A.M., Elghaffar A.N. (2020). Voltage Sag Compensation Strategy Using Dynamic Voltage Restorer for Enhance the Power System Quality.

6 Avdeev B.A., Vyngra A.V., Chernyi S.G. Determination and elimination of current and voltage interharmonics for robotic structures // *Robotics and Technical Cybernetics*. – 2023. Vol. 11, No. 4. P. 312-320.

7 Петров С.А. Робастное планирование экспериментов по методу Тагучи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. №. 4. С. 29-34.

Квас Евгений Станиславович – старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: промышленная робототехника, организация производства, анализ данных на производстве, машинное обучение, контроль качества функционирования производственных комплексов и производства серийной продукции.

Email: e.kvas@guap.ru

Кузьменко Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: управление качеством освещения, светотехника, светодиодное освещение, энергоэффективность и анализ качества электрической энергии, преобразовательная электроника.

Email: mr.konnny@gmail.com

Солёный Сергей Валентинович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: электроэнергетика и робототехника, развитие методов оценки безопасности технологических объектов.

Email: ssv555ssv@yandex.ru

Почтовый адрес: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

RESEARCH ON ELECTRICITY QUALITY INDICATORS AND THEIR IMPACT ON THE QUALITY OF ROBOTIZED PRODUCTION COMPLEX OPERATIONS

This paper explores the organizational and technical aspects of operating robotic production lines under conditions of deviation from the upper permissible limits of electric power quality parameters, including phase voltage, power factor tangent ($\tan \phi$), total harmonic distortion (THDi), and power factor. Based on experimental analysis of measured values recorded during a full daily production cycle, the study substantiates the impact of the observed deviations on the stability and coordination of robotic actuators. As a result, a model for the integral assessment of production cycle stability is proposed, taking into account the weighted significance of variations in power quality parameters within the electrical network of the investigated manufacturing complex. The obtained results may be applied in the design and

operation of highly automated production systems with strict requirements for power supply stability.

Keywords: production organization, performance of robotic lines, power quality, robotic manufacturing complex.

Kvas Evgeny Stanislavovich – Senior Lecturer at the Department of Electromechanics and Robotics, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), Saint Petersburg, Russia.

Research interests: industrial robotics, production organization, data analysis in manufacturing systems, machine learning, quality control of production facilities and mass-produced goods.

Kuzmenko Vladimir Pavlovich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor at the Department of Electromechanics and Robotics, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), Saint Petersburg, Russia.

Research interests: lighting quality management, lighting engineering, LED lighting systems, energy efficiency, power quality analysis, power electronics.

Solyony Sergey Valentinovich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Head of the Department of Electromechanics and Robotics, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), Saint Petersburg, Russia.

Research interests: electric power engineering and robotics, development of methods for safety assessment of technological systems.

УДК 621.317.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Бобрышов А.П., Кузьменко В.П., Солёный С.В.

В работе проводится исследование статистической природы отклонений электрических измерений и её связь с построением оперативной характеристики поверки (ОХП) для электрических контрольно-измерительных приборов (КИП). Ключевой задачей публикации является установление функциональной зависимости между среднеквадратическим отклонением (СКО) и приведённой точностью электрического КИП. На основе экспериментальных значений, а также учитывая метод наименьших квадратов с квадратичной моделью была получена зависимость между ключевыми параметрами оценки достоверности измерений, демонстрирующая высокую сходимость с экспериментом. Показано, что игнорирование динамики СКО при варьировании точности приводит к искажению формы ОХП и завышению вероятности корректной работы в областях, где возможен выход отдельных измерений за паспортные пределы. Предложенная зависимость обеспечивает более реалистичную, обоснованную с точки зрения статистики и метрологии ОХП и может применяться для уточнения поверочных процедур, мониторинга качества и прогнозирования поведения КИП в условиях изменения конструкции и внешних воздействий.

Ключевые слова: оперативная характеристика поверки; электрические контрольно-измерительные приборы; качество, точность среднеквадратическое отклонение; статистика; метод наименьших квадратов; закон распределения.

Введение

Корректность функционирования электрических КИП является важным условием достоверности результатов электрических измерений и качества, определяющего точность и корректность функционирования измерительных устройств. В соответствии с положениями метрологии и стандартизации, качество КИП определяется его способностью обеспечивать измерения в пределах установленной паспортной точности. При этом данная величина является не только формальным показателем пригодности прибора к эксплуатации, но и отражением его технического качества, то есть соответствия заявленным функциям в условиях реальной эксплуатации [1].

Одним из ключевых составляющих метрологического анализа являются систематические и случайные погрешности электрических измерений. Если систематическая погрешность подлежит корректировке методами калибровки и настройки, то случайные отклонения в силу своей вероятностной природы требуют статистической оценки. При этом даже систематические отклонения могут иметь вероятностный ха-

ракт проявлений, и исходя из этого существует необходимость в статистической оценке, а именно определения таких величин, как дисперсия и СКО, которые характеризуют вероятность достоверности результатов измерений.

Ранее автором были проведены исследования электрических погрешностей, показавшие, что в 85 % случаев распределение случайных отклонений соответствует нормальному закону Гаусса. При этом при использовании методик исключения грубых и статистически-случайных отклонений, данный показатель вырастает до 95%. Это подтверждает возможность и необходимость использовать математический аппарат теории вероятностей для построения математических моделей оценки качества работы электрических КИП. Именно на этой основе была предложена модель ОХП, которая рассматривается в рекомендательных документах и стандартах как вероятностный критерий достоверности результатов измерений и корректности выполнения прибором заявленных функций [2].

Однако существует проблематика в методике построения ОХП, не учитывающая динамику изменения в процессе эксплуатации статистически точностных характеристик. Между тем именно СКО, как параметр, тесно связанный с проявлением случайных погрешностей, наиболее полно описывает поведение прибора при изменении условий его работы. Дополнительно важно отметить, что на сам прибор влияет не только сама конструкция, а также внешние условия, такие как температуры, естественное старения элементов конструкции, воздействие электромагнитных полей и других факторов окружающей среды, которые являются причиной роста погрешности измерений, что естественно отражается через увеличение величины СКО. Причём данные изменения могут носить как обратимый характер, например, при кратковременных термических воздействиях, так и необратимый, при естественной деградации материалов и узлов КИП [3, 4].

С точки зрения метрологического обеспечения и квалиметрии, задача выявления зависимости между паспортной точностью и СКО является актуальной. Поскольку решение такой задачи позволит уточнить построение ОХП и определить количественную оценку качества работы приборов, а также повысить достоверность результатов данной характеристики.

Таким образом, цель настоящего исследования заключается в определении зависимости между СКО и паспортной точностью КИП в динамике изменения ключевой величины, отражающей техническое качество приборов, а также в обосновании возможности применения данной зависимости при построении ОХП. Реализация поставленной цели позволит сформировать более достоверную вероятностную оценку корректности функционирования приборов, повысить точность контроля и обеспечить более высокий уровень метрологического обеспечения для измерительных систем.

1 Результаты определения закона распределения электрических отклонений, как случайной величины

Для построения ОХП, являющейся результатом оценки вероятности корректного функционирования электрических КИП, важно понимать закон распределения отклонений электрических измерений. Для этого было проведено экспериментальное исследование результатов электрических измерений. Осуществление оценки закона

распределения начинается с выдвижения нулевой гипотезы, в рамках задачи и учитывая исследования было выдвинута гипотеза о принадлежности электрических отклонений как случайной величины нормальному закону распределения Гаусса. Оценку выборки корректно проводить с применением нескольких статистических критериев, для увеличения достоверности оценки учитывая различную чувствительность и устойчивость критериев к различного рода аномальных значений. В метрологии данных подход имеет особую значимость, поскольку данные могут включать как случайные колебания, так и грубые выбросы, именно поэтому использование одного лишь критерия проверки является недостаточным с точки зрения достоверности.

В качестве примера стоит выделить, критерий Колмогорова–Смирнова сопоставляющий эмпирическую функцию распределения с теоретической кумулятивной, проверяя согласованность их форм. При этом критерий Шапиро–Уилка, напротив, ориентирован на проверку нормальности выборки через анализ соотношения дисперсий, и особенно эффективен на малых выборках. В свою очередь критерий Лиллиефорса является модификацией метода Колмогорова–Смирнова и ориентирован для случая нормального распределения, что делает его удобным инструментом в поставленной задаче. Наконец, критерий Пирсона является широко применяемым методом оценки соответствия эмпирических данных теоретическому распределению, в том числе используя во множестве метрологических исследований. Каждый из критериев обладает своими преимуществами и ограничениями, например чувствительность к объёму выборки и робастность по отношению к отдельным непредсказуемым случайным отклонениям. Именно поэтому корректно осуществлять оценку закона распределения сразу несколькими методами, а окончательное заключение формировать на основе совокупной оценки и экспертного анализа.

Для оценки экспериментальных данных о погрешностях электрических КИП были использованы следующие четыре критерии: Пирсона, Колмогорова–Смирнова, Лиллиефорса и Шапиро–Уилка. Обработка результатов проводилась с применением программы STATISTICA, которая является одним из распространённых инструментов для статистического анализа, обладающего широким набором методов проверки статистических выборок на нормальность распределения. Данные и результаты взяты из опубликованных исследований авторов статьи [2].

Критерий Пирсона, Колмогорова–Смирнова, Лиллиефорс и Шапиро–Уилка отлично подходят для оценки результатов экспериментов, небольшой выборки. Результаты обработки данных по выбранным критериям представлены в таблице 1.

Проверка экспериментальных данных проводилась последовательно по каждому из перечисленных критериев. Так, для ваттметра «А» гистограмма имеет симметричную колоколообразную форму, а максимальная концентрация значений приходится на диапазоны, близкие к нулю. Результаты оценки по критериям демонстрируют подтверждение гипотезы о нормальности распределения. Для амперметра «Б» результаты оценки также подтвердили нормальность распределения. Критерии подтверждают принятие нулевой гипотезы. Результаты оценки омметра «В» демонстрирует явное отклонение нулевой гипотезы о нормальности распределения, о чем свидетельствует и форма гистограммы, демонстрирующая, что данные стремятся к нормальному распределению, но с асимметрией. Аналоговый вольтметр «Г» показывает результаты принятия 3 критериев Пирсона, Колмогорова–Смирнова и Лиллиефорса, и от-

клонение по Шапиро-Уилка. Гистограмма показывает явное линейное увеличение, близкое к экспоненциальному по форме. Для прибора цифрового вольтметра «Д» полностью принимается нулевая гипотеза о нормальности распределения, что также отражает гистограмма. Результаты цифрового амперметра «Е» показывает отклонение нулевой гипотезы по 3 критериям, что также отражается и на форме гистограммы. Данные аналогового вольтметра «Ж» отклоняет нулевую гипотезу исключительно в случае одного критерия. При этом форма гистограммы показывает близость к колоколообразной форме, характерной для нормального распределения Гаусса. Показатели цифрового вольтметра показывают полное принятие нулевой гипотезы. При этом форма гистограммы идеально отражает нормальную форму распределения [2].

Т а б л и ц а 1 – Статистическая оценка погрешностей электрических КИП

КИП	Пирсона	Колмогорова-Смирнова	Лиллиефорса	Шапиро-Уилка
Цифровой ваттметр А	0,389	$P > 0,20$	$P > 0,20$	$P = 0,721$
Цифровой амперметр Б	1,904	$P > 0,20$	$P > 0,20$	$P = 0,994$
Цифровой омметр В	11,219	$P > 0,20$	$P < 0,05$	$P = 0,014$
Аналоговый вольтметр Г	9,585	$P > 0,20$	$P > 0,20$	$P = 0,045$
Цифровой вольтметр Д	2,429	$P > 0,20$	$P > 0,20$	$P = 0,644$
Цифровой амперметр Е	14,24	$P > 0,20$	$P < 0,05$	$P = 0,075$
Аналоговый вольтметр Ж	4,47	$P > 0,20$	$P > 0,20$	$P = 0,305$
Цифровой вольтметр З	1,016	$P > 0,20$	$P > 0,20$	$P = 0,982$

Обобщая результаты по всем восьми исследованным приборам, можно отметить, что из 32 проверок по различным критериям в 27 случаях ($\approx 85\%$) подтвердили гипотезу о нормальности распределения электрических отклонений. Средняя относительная погрешность по всем приборам не превышала паспортной точности. Также полученные данные подтверждаются результатами других исследователей в области принадлежности электрических отклонений нормальному закону распределения [5]. Данный установленный факт позволяет использовать математический аппарат, характерный для распределения Гаусса.

2 Анализ особенностей математической модели построения ОХП электрических КИП

Авторами статьи была сформирована математическая модель построения ОХП качественной оценки электрических КИП. Ключевая особенность которой заключа-

лась в обработке результатов измерений и представлений данных значений с точки зрения статистики и вероятности. Однако важно произвести оценку данной модели. Общая итоговая зависимость ОХП выглядит следующим образом

$$P_{\text{год.}} = \Phi\left(\frac{1-b}{\sigma_{\text{относ.}}}\right) + \Phi\left(\frac{1+b}{\sigma_{\text{относ.}}}\right) - 1, \quad (1)$$

где $P_{\text{год.}}$ – вероятность годности электрического КИП;

b – наиболее ожидаемое значение отклонения прибора с учетом паспортной точности, являющееся отношением приведенной средней погрешности к паспортной точности прибора;

$\sigma_{\text{относ.}}$ – относительное СКО являющееся отношением СКО измерений прибора выраженного через % соотношение к паспортной точности прибора.

В данном случае важно отметить, что изменение параметра паспортной точности при анализе прибора, невозможно. Приведенная средняя погрешность может изменяться, и может теоретически изменяться линейно, при этом СКО также меняется. В данном случае приведенная погрешность и СКО зависят от отклонений. А учитывая, что результатом вычислений через математическую модель является значение вероятности годности прибора, то для построения полноценной ОХП, необходимо намного больше значений измерений при разных отклонениях и соответственно разной приведенной точности. Для упрощения вычислительных расчетов, нет необходимости генерировать по нормальному закону распределения электрические измерения для их дальнейшей обработки. Изменяя приведенную точность, зная основные параметры полученных электрических измерений мы можем получить ОХП, но в данном решении упускается зависимость между СКО и данной точностью. Именно из данного противоречия исходит задача определения зависимости между двумя данными величинами для наиболее корректной формы построения ОХП для определённого типа КИП. Поскольку невозможно изменение одной величины, без изменения другой.

3 Определение математической зависимости между СКО и приведенной точностью электрических КИП на основе результатов экспериментов

Как было определено величина СКО напрямую связана с набором экспериментальных данных и изменяется пропорционально средней приведённой погрешности КИП. Данный факт подтверждается расчётами по приборам паспортной точности, результаты которых приведены в таблице 2. Важно отметить, что определение зависимости между точности и СКО позволит формировать наиболее точную ОХП на основе единственных результатов анализа электрических КИП. Именно данная зависимость определяет возможность экстраполяции результатов динамики достоверности результатов измерений.

Сформировать функцию зависимости заданных значений возможно используя различные методы описания, учитывающие характер выборки данных. Для экстраполяции существует большой перечень методик определения зависимостей для дальнейшего прогнозирования данных, например линейная экстраполяция, метод наименьших квадратов, анализ временных рядов, методы машинного обучения, нейронные сети и случайный лес, полиномиальная экстраполяция, простые и многофакторные прогнозирующие функциональные зависимости и т.п. [6].

Таблица 2 – Экспериментально установленные параметры средней приведенной точности и СКО для электрических КИП

КИП	Средняя приведенная точность, %	Среднеквадратическое отклонение
Ваттметр цифровой «А»	0,022396	0,046122
Амперметр цифровой «Б»	0,003905	0,049677
Омметр цифровой «В»	0,002343	0,053917
Вольтметр аналоговый «Г»	0,096808	0,232324
Вольтметр цифровой «Д»	0,077539	0,254902
Амперметр цифровой «Е»	0,027962	0,106801
Вольтметр аналоговый «Ж»	0,177531	0,420062
Вольтметр цифровой «З»	0,125928	0,299903

Линейная экстраполяция является методом прогнозирования значений, основанным на линейной зависимости исследуемых параметров. Зависимость описывается прямой линией с учетом коэффициента наклона прямой. Основными достоинствами данной методики являются простота, точность на небольших отрезках, минимальный набор как данных, так и параметров для определения зависимости. Недостатками методики являются ограниченный перечень применения зависимости, низкая точность на больших интервалах предсказания.

Метод наименьших квадратов является инструментом поиска функциональной зависимости между исследуемыми данными. Ключевая особенность заключается в минимальных отклонениях между значениями полученной функции и экспериментальными данными. Данный метод может применяться в линейной регрессии, полиномиальных моделях и в частных случаях зависимостей. Достоинствами являются стабильность результатов, гибкость получаемых функций, простота вычислений. Среди недостатков стоит отметить чувствительность к статистическим выбросам в устанавливаемой зависимости [7].

Анализ временных рядов является методом определения зависимости и предсказания данных на основе результатов, собранных за равно установленные промежутки времени. В большей степени применяется в экономике для установки зависимости между параметрами зависящих от условий опыта и сезона. Ключевыми достоинствами являются учет сезонных колебаний, обширный набор используемых статистических моделей, широкое распространение в программных ресурсах и продуктах моделирования и принятия решений. Среди недостатков стоит отметить ориентирование на экономическую область, сильная зависимость от исторических данных, непосредственно влияющих на прогнозы, сложность интерпретации полученных результатов [8].

К методу машинного обучения подходят модели, основанные на искусственном интеллекте, такие как нейронные сети и метод случайного леса. Стоит отметить, что данный метод, не зависимо от используемой модели, сильно зависит от вычислительной мощности и объема исторических данных для анализа. Например, метод случай-

ного леса наиболее точно может определять зависимость между набором данных, при этом в задачах экстраполяции данная модель показывает низкую точность, поскольку все прогнозы за пределом выборки остаются близки к последнему экспериментальному значению. В свою очередь нейронные сети справляются с задачей предсказания данных намного лучше и точнее, но требуют значительный набор опытных значений для обучения. Общими достоинствами являются высокая точность, разнообразность областей применения, обработка сложных зависимостей, автоматизация вычислений, масштабируемость данных и задач. Недостатками являются требования большого набора экспериментальных данных, возможное переобучение, сложность интерпретации результатов, сложность настройки гиперпараметров моделей.

Полиномиальная экстраполяция является методом, который использует полином в качестве описания зависимости экспериментальных значений. Существует большое множество полиномов, разделяемых по степени, например полиномом первой степени является линейная зависимость, а полиномом второй степени является кривая. Достоинствами данного метода являются простота понимания и описания функции, гибкость по отношению к данным, жесткая математическая основа, что делает данную модель наиболее надежной. К недостаткам стоит отнести нестабильность, сложность и ограниченная экстраполяционная способность полиномов высокой степени.

К простым и многофакторным прогнозирующим функциональным зависимостям можно также отнести полиномы, линейные зависимости, кусочно-линейные зависимости, временные ряды. По большому счету данные методы и модели в большей степени являются широким понятием, объединяющим разнообразные методы определения функциональной зависимости, экстраполяции и интерполяции значений.

Учитывая особенности, достоинства и недостатки перечисленных методов, а также набор экспериментальных данных, приведенных в таблице 2, высокую степень схожести опытных данных с линейной зависимостью, а также принимая в расчет возможное изменение экспериментальной зависимости, ввиду специфики распределения и выбросов электрических измерений, было принято решение использовать метод наименьших квадратов в задаче квадратичной аппроксимации зависимости СКО отклонений электрических измерений от точности электрических КИП.

Метод наименьших квадратов является наиболее простым в вычислении и стабильным инструментом с высокой степенью точности результатов, при этом может применяться в задаче квадратичной аппроксимации. Данная методика является инструментом для определения полинома 2 порядка, что может выделить возможное изгибание кривой исследуемой зависимости. Для выведения функции необходимо определить ключевые параметры полинома a , b и c .

$$\Phi(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c,$$

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c - y_i)^2 \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} S'a = 0 \\ S'b = 0, \\ S'c = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} S' a = \sum_{i=1}^n 2 \cdot (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c - y_i) \cdot x_i^2 = 0 \\ S' b = \sum_{i=1}^n 2 \cdot (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c - y_i) \cdot x_i = 0, \\ S' c = \sum_{i=1}^n 2 \cdot (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c - y_i) \cdot 1 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} (\sum_{i=1}^n x_i^4) \cdot a + (\sum_{i=1}^n x_i^3) \cdot b + (\sum_{i=1}^n x_i^2) \cdot c = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot y_i \\ (\sum_{i=1}^n x_i^3) \cdot a + (\sum_{i=1}^n x_i^2) \cdot b + (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot c = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \\ (\sum_{i=1}^n x_i^2) \cdot a + (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot b + n \cdot c = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}$$

Решение полученной системы было выполнено методом Крамера через вычисление определителей матриц.

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 = b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 = b_2, \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot x_2 + a_{33} \cdot x_3 = b_3 \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}, \Delta_{x_1} = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & a_{13} \\ b_2 & a_{22} & a_{23} \\ b_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}, \Delta_{x_2} = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & a_{13} \\ a_{21} & b_2 & a_{23} \\ a_{31} & b_3 & a_{33} \end{vmatrix}, \Delta_{x_3} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & b_3 \end{vmatrix},$$

$$x_1 = \frac{\Delta_{x_1}}{\Delta}, x_2 = \frac{\Delta_{x_2}}{\Delta}, x_3 = \frac{\Delta_{x_3}}{\Delta}.$$

В результате получена зависимость СКО отклонений электрических измерений от паспортной точности прибора, Представленная в аналитической форме. Экспериментальная и теоретическая форма описываемой зависимости незначительно отличаются между собой (рисунок 1).

$$\Phi(x) = 0,949471 \cdot x^2 + 1,052068 \cdot x + 0,100834.$$

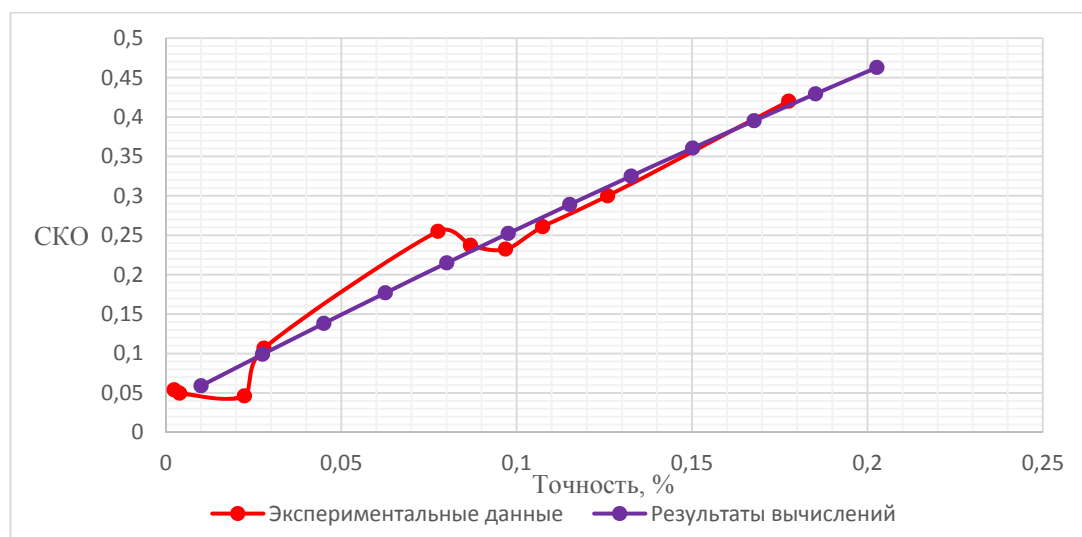


Рисунок 1 – График динамического изменения СКО в зависимости от приведенной точности электрических КИП

Сравнение экспериментальной и аппроксимирующей кривой (рисунок 1) показало их высокую степень совпадения. Численные показатели качества модели, метод наименьших квадратов, дал значение ошибки 0,00462, среднеквадратическая ошибка составила 0,0215, коэффициент детерминации равен 0,968. Низкие значения ошибок и высокий коэффициент детерминации свидетельствуют о почти полной сходимости модели с экспериментальными данными.

Проведем моделирование результатов работы с использованием полученной зависимости и без нее, изменяя исключительно точность КИП без динамики СКО.

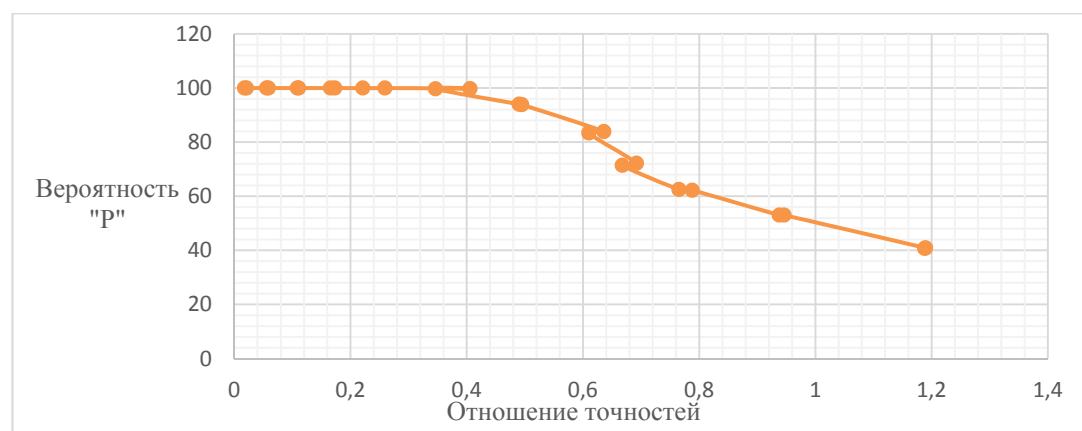


Рисунок 2 – ОХП построенная с учетом установленной зависимости между СКО и точностью

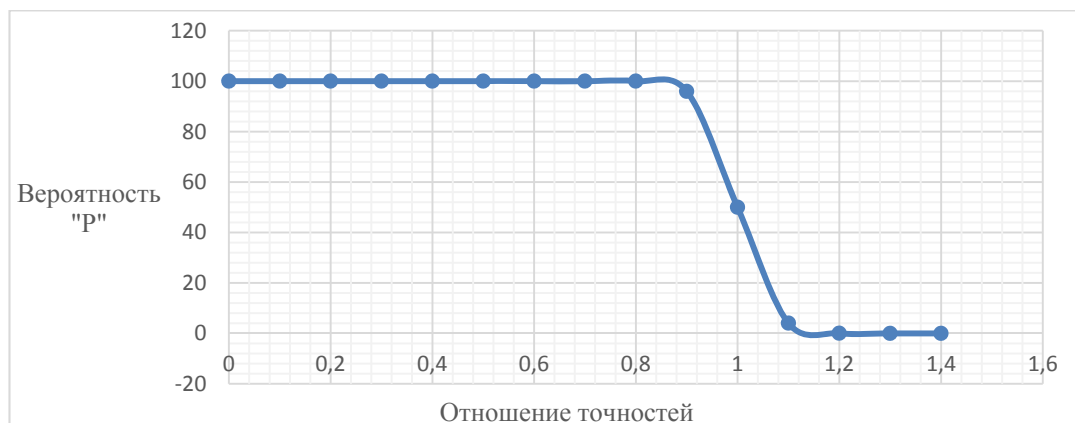


Рисунок 3 – ОХП построенная без учета установленной зависимости между СКО и точностью

Проводя анализ результатов можно отметить случайные результаты вероятности достоверности, что говорит о приближении результатов моделирования к реальным параметрам. Также важно отметить большее снижение кривой ОХП для рисунка 2 от начала отношений точности равных 0,4. Рисунок 3 демонстрирует падение кривой и значений достоверности исключительно в точке отношения точностей 0,9. Данный факт говорит о том, что в графике без учета зависимости СКО и точности не учитываются вероятность выхода за рамки паспортной точности отдельных измерений, которые в достаточной мере влияют на как на СКО, так и на точность.

Таким образом, полученная зависимость может рассматриваться как достоверный инструмент для статистических и вероятностных расчётов. Её использование позволяет не только корректно описывать поведение СКО в зависимости от точности приборов, но и прогнозировать изменения характеристик КИП при варьировании эксплуатационных условий. Данная зависимость способствует повышению уровня достоверности результатов расчета ОХП.

Заключение

По результату исследования установлено, что СКО выступает не просто вспомогательным статистическим показателем, а одним из ключевых параметров, позволяющих объективно описывать изменчивость результатов через динамику точности электрических КИП. На основе экспериментальных данных была выявлена и обоснована функциональная зависимость между СКО и паспортной точностью приборов. Для её построения был применен метод наименьших квадратов в задаче квадратичной аппроксимации, что позволило сформировать аналитическую модель в виде полинома второй степени. Полученная зависимость продемонстрировала высокую степень схожести с экспериментальными результатами, что подтверждается низкими значениями ошибки и высоким коэффициентом детерминации. Таким образом, её можно рассматривать как надёжный инструмент для последующего применения в статистических и вероятностных расчётах.

Сравнительное моделирование ОХП с учётом и без учёта полученной зависимости показало принципиальные различия. Игнорирование изменения СКО при фиксированной точности приводит к значительным отклонениям от реальных данных.

сированном изменении точности приводит к чрезмерному сглаживанию кривой ОХП, завышению вероятности корректного функционирования и недооценке риска выхода отдельных измерений за пределы паспортных значений. Применение зависимости в расчете ОХП обеспечивает формирование более чувствительной, реалистичной и статистически, а также с точки зрения метрологии обоснованной качественной характеристики, отражающей реальное поведение приборов.

Практическая значимость проведённого исследования заключается в возможности использования полученных результатов для уточнения поверочных регламентов, разработки более строгих критериев оценки годности приборов и повышения общей достоверности метрологического контроля. Кроме того, выявленная зависимость открывает перспективы применения в задачах прогнозирования поведения КИП, что особенно важно для систем длительной эксплуатации, энергетики и автоматизированных комплексов.

Литература

1 Бобрышов А.П. Анализ качественных параметров оценки поверки и электрических контрольно-измерительных приборов / А.П.Бобрышов, С.Ю.Лач, С.В.Солёный и др. // Завалишинские чтения 25 XX Международная конференция по электромеханике и робототехнике. 2025. С. 224-230.

2 Бобрышов А.П. Универсальная оперативная характеристика качественной оценки электрических контрольно-измерительных приборов / А.П.Бобрышов, В.П.Кузьменко, С.В.Солёный, Е.С.Квас // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. № 1. С. 138-148.

3 Marangoni T.A., Benny G., Borup K. A., Hansen O., Petersen D. H. Determination of the temperature coefficient of resistance from micro four-point probe measurements // Journal of Applied Physics. 2021. № 16.

4 Бобрышов А.П. Математическая модель зависимости точности электрических измерительных приборов от температурных воздействий: экспериментальное исследование и моделирование // Вестник ИжГТУ имени М.Т.Калашникова. №28(2), С.4-21.

5 Andrich D. A law of ordinal random error: The Rasch measurement model and random error distributions of ordinal assessments / D. Andrich, P. Pedler // Measurement. 2019. Vol. 131. P. 771-781;

6 Добровольский И.П. Полиномиальная экстраполяция ричардсона и её приложения // The scientific heritage. 2021. С.11-14.

7 Мазуров Б.Т. Метод наименьших квадратов (статика, динамика, модели с уточняемой структурой) / Б.Т. Мазуров, В.А. Падве // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2017. Т. 22. № 2. С. 22-32.

8 Канторович Г.Г. Лекции: Анализ временных рядов // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2002. № 1. С. 85-116.

Бобрышов Алексей Павлович – старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: электроэнергетика, электромеханика, автоматизация, цифровые технологии, робототехника, электроснабжение энергетических систем, электрические контрольно-измерительные приборы, поверка, статистика, электроника, качество продукции, организация автоматизированной поверки.

Email: ap.bobryshov@mail.ru

Кузьменко Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: управление качеством освещения, светотехника, светодиодное освещение, энергоэффективность и анализ качества электрической энергии, преобразовательная электроника.

Email: mr.konnny@gmail.com

Солёный Сергей Валентинович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: электроэнергетика и робототехника, развитие методов оценки безопасности технологических объектов.

Email: ssv555ssv@yandex.ru

Почтовый адрес: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

EXPERIMENTAL RESEARCH AND DETERMINATION OF KEY STATISTICAL DEPENDENCIES FOR BUILDING THE OPERATING CHARACTERISTIC OF ELECTRICAL CONTROL AND MEASURING INSTRUMENTS VERIFICATION

This study investigates the statistical nature of deviations in electrical measurements and its relationship with the construction of the Operating Characteristic of Verification (OCV) for electrical control and measuring instruments (CMI). The key objective of the publication is to establish a functional relationship between the standard deviation (SD) and the reduced accuracy of an electrical CMI. Based on experimental data and applying the least squares method with a quadratic model, a relationship between the key parameters for assessing measurement reliability was obtained, demonstrating a high convergence with the experiment. It is shown that ignoring the dynamics of the SD when accuracy varies distorts the shape of the OCV and overestimates the probability of correct operation in regions where individual measurements may exceed the specified limits. The proposed dependence provides a more realistic OCV, justified from statistical and metrological perspectives, and can be used to refine verification procedures, monitor quality, and predict the behavior of CMI under changing design conditions and external influences.

Keywords: Operating characteristic of verification, electrical control and measuring instruments, quality, accuracy, root mean square deviation, statistics, least squares method, distribution law.

Bobryshov Aleksey Pavlovich– Senior Lecturer at the Department of Electromechanics and Robotics, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), Saint Petersburg, Russia.

Research interests: Electric power industry, electromechanics, automation, digital technologies, robotics, power supply of energy systems, electrical control and measuring instruments, verification, statistics, electronics, product quality, organization of automated verification.

Email: ap.bobryshov@mail.ru

Kuzmenko Vladimir Pavlovich– Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor at the Department of Electromechanics and Robotics, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), Saint Petersburg, Russia.

Research interests: lighting quality management, lighting engineering, LED lighting systems, energy efficiency, power quality analysis, power electronics.

Email: mr.konnny@gmail.com

Solyony Sergey Valentinovich– Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Head of the Department of Electromechanics and Robotics, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), Saint Petersburg, Russia.

Research interests: electric power engineering and robotics, development of methods for safety assessment of technological systems.

Email: ssv555ssv@yandex.ru

УДК 65.011.46

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Сорокин Д.С.

В статье рассмотрен опыт применения имитационных моделей бортовых систем космических аппаратов для повышения качественных характеристик бортового программного обеспечения и технологического программного обеспечения оценки тактико-технических характеристик. Затронуты подходы к построению имитационных моделей. Рассмотрены опыт и перспективы применения имитационных моделей при разработке программного обеспечения в АО «Корпорация «Комета», рассмотрена архитектура программного комплекса моделей.

Ключевые слова: организация производства; программно-аппаратное моделирование; имитационное моделирование; повышение эффективности; правило замены материалов и комплектующих.

Введение

Моделью называется некий объект-заместитель, который в определенных условиях может заменить объект-оригинал, воспроизводя интересующие субъект свойства и характеристики оригинала, и имеющий существенное преимущество перед оригиналом (наглядность, обозримость, доступность) [1]. Модели применяются в случаях, когда работа с оригиналом неудобна или невозможна.

Имитационное моделирование – это подвид математического моделирования, применяющийся в случаях, когда зависимость между входами и выходами системы нельзя представить в явном «аналитическом» виде [2].

Имитационное моделирование представляет собой мощный инструмент для анализа и прогнозирования поведения сложных систем. Оно позволяет воспроизводить реальные процессы с помощью компьютерных моделей, что дает возможность исследовать различные сценарии и оценивать их последствия.

В данной статье рассматриваются имитационные модели, для которых объектами-оригиналами выступают бортовые системы космических аппаратов (КА). Такие модели успешно применяются в космической отрасли и позволяют добиться существенного повышения качественных характеристик программного обеспечения (ПО) бортовых систем и технологического ПО оценки тактико-технических характеристик.

1 Имитационное моделирование в космической отрасли

В Институте вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН (ИВМ СО РАН) имитационные модели устройств бортовой аппаратуры применяются для валидации и верификации сценариев тестирования. В состав рабочего места конструктора, использующегося для подготовки сценариев испытаний, входит комплекс

программно-математических моделей бортовой аппаратуры. Таким образом, каждый разработанный сценарий проходит апробацию путем взаимодействия с моделями. Такой подход позволяет существенно упростить отладку сценариев тестирования, а также сокращает трудозатраты на их разработку [3].

Согласно результатам анализа, проведенного сотрудниками АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф.Решетнёва» (АО «Решетнёв»), в ходе испытаний в цехе-изготовителе проверяется не более 30 % сценариев функционирования устройств бортовой аппаратуры. В ходе комплексных испытаний полнота тестирования доходит в среднем до 70 %, однако многие критически важные аспекты функционирования аппаратуры, в том числе функционирование при нештатных и аварийных ситуациях, по-прежнему не проверяются.

С целью увеличения полноты тестового покрытия в АО «Решетнёв» был разработан и внедрен программно-аппаратный комплекс динамической отработки программного обеспечения, включающий программные модели бортовой аппаратуры. Применение комплекса позволило в ряде случаев увеличить полноту тестового покрытия до 100 % [4].

Отмечается, что внедрение этого комплекса в АО «Решетнёв» сделало возможным проведение не применявшихся ранее типов испытаний – долгосрочных прогонов продолжительностью до 90 суток. Данный вид испытаний позволил выявить ряд дефектов в работе бортовой аппаратуры, имеющих накопительный характер и не проявляющихся при типовых прогонах малой продолжительности [5].

Кроме того, отмечается положительный опыт применения имитационных моделей для обучения инженерного и конструкторского состава, а также опыт применения имитационных моделей в качестве инструмента интеллектуального анализа результатов тестирования бортовой аппаратуры КА [6]. Суть метода заключается в том, что при испытаниях реальных модулей бортовой аппаратуры все управляющие воздействия дублируются на эталонную модель. При этом оценка корректности функционирования бортовой аппаратуры проходит путем сравнения не с заранее сформированными эталонными значениями, а с выходными данными модели.

Метод имитационного моделирования был успешно применен в АО «Корпорация «Комета» при разработке специального программного обеспечения контрольно-проверочной аппаратуры для модернизированной аппаратуры спутниковой навигации (СПО КПА АСН-Е-М).

Ввиду отсутствия объекта испытаний при разработке СПО КПА, проверить все сценарии работы программы не представлялось возможным. Для преодоления данного ограничения была разработана программная имитационная модель объекта испытаний, взаимодействующая с СПО КПА по интерфейсу «программа-программа». Использование модели позволило увеличить тестовое покрытие ряда программных модулей более чем вдвое (рисунок 1).

Рассмотренные примеры говорят о необходимости внедрения импортонезависимых российских разработок в области имитационного моделирования.



Рисунок 1 – Полнота тестового покрытия программных модулей СПО КПА АСН-Е-М: ЦБК – центральный бортовой компьютер, ПДЦМ – параметры движения центра масс

2 Общие подходы к построению имитационных моделей

В данном разделе рассматриваются основные подходы к имитационному моделированию, их применение и современные тенденции.

2.1 Дискретно-событийное моделирование (ДСМ)

Является одним из наиболее распространенных подходов. Этот метод фокусируется на событиях, происходящих в определенные моменты времени, и изменениях состояния системы в ответ на эти события. ДСМ широко применяется в логистике, производстве, здравоохранении, комплексах программно-аппаратного моделирования.

Примером успешного применения ДСМ является работа [7], где авторы используют этот метод для оптимизации работы логистического центра. В статье показано, как ДСМ позволяет выявить узкие места логистических цепочек и предложить улучшения в процессах.

2.2 Системная динамика

Представляет собой подход, который рассматривает системы как совокупность взаимодействующих элементов и обратных связей. Этот метод позволяет моделировать поведение сложных систем во времени и анализировать, как изменения в одной части системы могут повлиять на другие части.

В работе [8] авторы использовали системную динамику для анализа устойчивости цепочек поставок в условиях неопределенности. Результаты показали, что учет обратных связей и взаимосвязей между элементами системы позволяет более точно прогнозировать поведение системы в различных сценариях.

2.3 Агентное моделирование

Фокусируется на индивидуальных агентах и их взаимодействиях, что позволяет исследовать поведение сложных систем на микроуровне. Этот метод особенно поле-

зен для моделирования социальных и экономических систем, где поведение отдельных агентов может оказывать значительное влияние на общее состояние системы.

Исследование [9] демонстрирует применение агентного моделирования для анализа миграционных потоков. Авторы показали, как поведение отдельных агентов влияет на динамику миграции и распределение населения в регионе.

2.4 Гибридное или гетерогенное моделирование

Объединяет элементы различных подходов, что позволяет учитывать как дискретные события, так и непрерывные изменения в системе. Этот метод особенно эффективен для моделирования сложных систем, где необходимо учитывать множество факторов и взаимосвязей.

В статье [10] авторы использовали гибридное моделирование для анализа энергетических систем. Результаты показали, что гетерогенный подход позволяет более точно учитывать как технические, так и экономические аспекты функционирования системы.

3 Моделирование бортовой аппаратуры космического аппарата

В рамках диссертационного исследования автором статьи разрабатывается программно-аппаратный комплекс имитационного моделирования бортовой аппаратуры (ПАКИМ) для взаимодействия с программным обеспечением бортового управления космического аппарата (ПО БУ), работающим на аппаратных средствах центрального бортового компьютера (ЦБК).

При штатной эксплуатации логика функционирования ПО БУ определяется состоянием смежной бортовой аппаратуры, что существенно затрудняет процесс разработки, отладки и испытаний ПО БУ: реальная аппаратура может оказаться слишком дорогостоящей или не обеспечивать все необходимые для проверки режимы функционирования, например, имитацию нештатных ситуаций.

Для преодоления вышеозначенных ограничений предлагается использовать ПАКИМ, обеспечивающий информационно-логическое взаимодействие с ЦБК, идентичное обеспечиваемому реальной смежной бортовой аппаратурой. ПАКИМ должен работать под управлением программного комплекса моделей (ПКМ) (рисунок 2).



Рисунок 2 – Использование ПАКИМ

На основании анализа существующих подходов к построению имитационных моделей предлагается гибридный объектно-ориентированный метод построения моделей устройств бортовой аппаратуры как совокупностей правил, состоящих из логических блоков: условий, действий и команд.

Командам соответствуют управляющие воздействия, приходящие в модель из внешней среды или из самой модели.

Условиям соответствуют предикаты от внутреннего состояния моделей.

Действиям соответствуют функциональные объекты (функторы), изменяющие внутреннее состояние моделей.

Правила являются соответствиями между командами, условиями и действиями: в ответ на команду x_i , в случае, если заданное подмножество условий C_j будет выполнено, через время t_k , вектор состояния модели Y изменится в соответствии с действиями R_m .

Правила совместно с действиями и условиями реализуют шаблон проектирования «Стратегия» [11] (рисунок 3).

Классы иерархии наследования «условия» реализованы в соответствии с шаблоном проектирования «Компоновщик» [11], что позволяет комбинировать условия в соответствии с правилами алгебры логики.

Правила, условия и действия являются реализацией абстрактного интерфейса («примеси») *JsonSerializable*. Это позволяет проводить сериализацию и десериализацию объектов из описаний на языке *JSON*. Такой формат описания объектов позволяет разделить задачу построения моделей между большим числом разработчиков, в том числе не являющихся специалистами в области программирования на языках программирования общего назначения. Кроме того, использование «примеси» позволяет добиться полиморфизма этапа исполнения, т. е. выбора конкретного объекта в зависимости от загруженного из файла описания модели, что, в свою очередь, позволяет изменять логику работы моделей без перекомпиляции ПКМ, что может быть использовано для имитации некорректной работы устройств в ходе моделирования аварийных и нештатных ситуаций.

В качестве общего подхода к разработке ПКМ был выбран предложенный в [12] процесс, включающий семь этапов:

- 1) Построение содержательного описания объекта моделирования.
- 2) Построение формализованного описания объекта моделирования.
- 3) Построение модели путем описания ее блочной структуры.
- 4) Развертывание модели на штатных аппаратных средствах. Обработка модели.
- 5) Эксперименты на модели.
- 6) Проверка адекватности модели.
- 7) Использование результатов моделирования.

На момент написания статьи (май 2025 г.) в АО «Корпорация «Комета» выполняется этап 4.

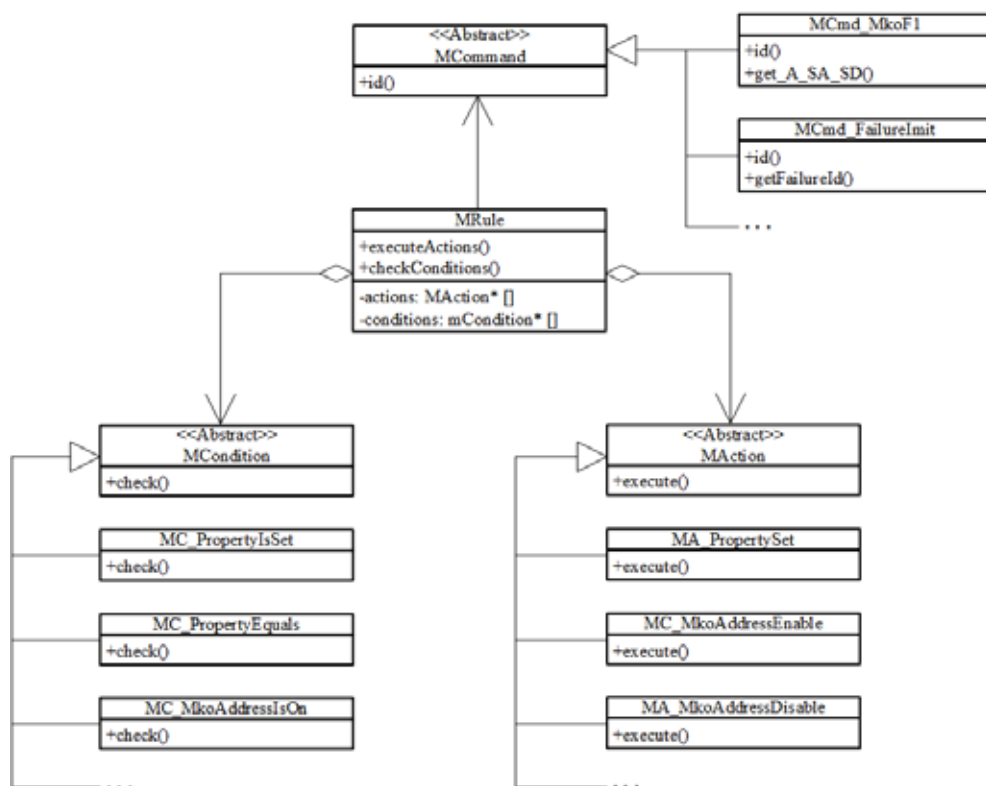


Рисунок 3 – UML-диаграмма классов для правила

Заключение

Опыт использования имитационных моделей в АО «Корпорация «Комета», а также анализ научно-технических публикаций, рассматривающих вопросы использования имитационных моделей в космической отрасли, показывают эффективность методов имитационного моделирования, объектно-ориентированного моделирования и функционального программирования для повышения качественных характеристик ПО.

Выбор методов построения имитационных моделей должен осуществляться исходя из особенностей систем-оригиналов и задач моделирования. В статье рассмотрены основные современные подходы к построению имитационных моделей, а также оценена их применимость для решения тех или иных задач космической отрасли.

Рассмотрены и обоснованы инженерные решения, легшие в основу перспективного ПКМ, разрабатываемого в АО «Корпорация «Комета» в рамках работ по созданию ПАКИМ.

Литература

1 Корилов А.М., Павлов С.Н. Теория систем и системный анализ: учебное пособие. Москва: ИНФРА-М, 2024. 288 с.

2 Таха, Хэмди А. Введение в исследование операций. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2021. 902 с.

3 Ноженкова Л.Ф., Исаева О.С., Вогоровский Р.В. Подготовка и проведение ис-

пытаний бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата // Космические аппараты и технологии. 2015. №4 (14).

4 Жариков В.Н., Пичкалев А.В. Проблемы отработки программного обеспечения бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Сибирский аэрокосмический журнал. 2012. №1.

5 Пичкалев А.В. Аппаратура долговременного прогона для отработки узлов бортовой аппаратуры // Решетневские чтения. 2014. №18.

6 Исаева О.С., Ноженкова Л.Ф., Колдырев А.Ю. Интеллектуальный анализ испытаний бортовой аппаратуры космического аппарата // ЖВТ. 2019. №3.

7 Smith, J. et al. (2020). Optimizing Logistics Operations with Discrete-Event simulation // Journal of Supply Chain Management, 56(3), 123-135.

8 Johnson, M. et al. (2019) System Dynamics Modelling for Supply Chain Resilience // International Journal of Operations Research, 18(4), 345-360.

9 Brown, K. et al. (2021). Agent-Based Modelling of Migration Patterns // Demography Research, 35(2), 456-470.

10 Williams, L. et al. (2020). Hybrid Simulation for Energy Systems Analysis // Energy Systems Journal, 42(1), 234-245.

11 Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влссидес Дж. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб.: Питер, 2020. 448 с.

12 Александровская Л.Н. и др. Теоретические основы испытаний и экспериментальной отработки сложных технических систем: учебное пособие. М.: Логос, 2003. 736 с.

Сорокин Дмитрий Сергеевич – аспирант, АО «Корпорация «Комета», г. Москва.

Область научных интересов: имитационное моделирование, организация производства.

E-mail: srddtab@gmail.com

Почтовый адрес: 115068, Москва, улица Велозаводская, дом 5.

SIMULATION HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR SPACECRAFT ONBOARD EQUIPMENT

The article discusses the experience of using simulation models of spacecraft onboard systems to improve the quality characteristics of onboard software and technological software for evaluating tactical and technical parameters. Approaches to the development of simulation models are addressed. The paper also presents the experience and prospects of applying such models in software development at Kometa Corporation, and describes the architecture of the developed software model complex.

Keywords: production organization, hardware-software simulation, simulation modelling, efficiency enhancement, rule for replacement materials and components.

Sorokin Dmitry Sergeevich – Postgraduate student, Kometa Corporation, Moscow city.

Research interests: simulation modelling, production organization.

УДК 621.396.965

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ РЕЖИМОВ ОБЗОРА ПРОСТРАНСТВА И СОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛЕЙ РЛС С КОНИЧЕСКОЙ АФАР

Скуратов В.А., Жулин Р.С., Чернов Г.М.

Рассмотрено применение в радиолокационной станции (РЛС) кругового обзора с конической активной фазированной антенной решеткой (КАФАР) одно- и многолучевых режимов электронного сканирования при обзоре пространства и сопровождении целей. Проведено сравнение характеристик КАФАР с описанной и вписанной в ее габариты пирамидальной активной фазированной антенной решеткой (ПАФАР). Показаны преимущества КАФАР, в том числе, по гибкости построения режимов обзора и сопровождения. Также сформулирована постановка задачи о возможности применения адаптационных алгоритмов для выделения оптимальных секторов формирования лучей КАФАР и последовательности обращения к целям для различной целевой обстановки.

Ключевые слова: коническая антенная решетка; конформная антенная решетка; обзор пространства; сопровождение целей; радиолокационная станция; активная фазированная антенная решетка; обнаружение БПЛА.

Введение

Появление и быстрое развитие гиперзвуковых и маневрирующих средств воздушного нападения, малоразмерных, низколетящих, низко- и высокоскоростных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также безэкипажных надводных дронов, ставит задачи сокращения времени и увеличения дальности обнаружения, захвата и сопровождения целей радиолокационными станциями (РЛС) в условиях сложной помеховой обстановки.

Одним из принципиальных недостатков РЛС с электромеханическим вращением фазированной антенной решетки (ФАР) по азимуту является жесткость режима кругового обзора и невозможность быстро перейти к режиму секторного обзора (необходима остановка вращения антенного полотна и установка в определенном направлении). Для увеличения темпа обзора и обращения к целям в подобных РЛС применяют увеличение скорости вращения антенного полотна 10-60 об/мин [1], что сопряжено с энергоемкостью привода, сложностью с охлаждением, большой массой и низкой надежностью вращающихся сочленений. Также возрастают ошибки определения координат целей и появляется необходимость проводить полный осмотр зоны ответственности за несколько оборотов антенны.

Описанных выше недостатков лишены двумерно сканирующие РЛС кругового обзора с полностью электронным поворотом луча на 360° по азимуту, например, ПАФАР. Они, как правило, состоят из 3-5 граней с плоскими активными ФАР (АФАР), формирующими независимые лучи каждой гранью [2], и обладают высоким

темпом обновления информации. Основным недостатком сканирующих плоских АФАР является зависимость их характеристик от угла сканирования (максимальная дальность обнаружения, коэффициент направленного действия (КНД), ширина луча, ошибка измерения угловых координат, коэффициент отражения излучателя и т.д.) [3, 4].

В осесимметричных ФАР (цилиндрические, конические и др.) есть возможность применять режимы сканирования, в которых характеристики ФАР не зависят от направления сканирования по азимуту. И если цилиндрическая ФАР непригодна для сканирования в углах места выше 60° , то КАФАР имеет режимы работы, позволяющие производить обзор всего верхнего полупространства без существенного ухудшения характеристик [1].

Возможные режимы обзора пространства и сопровождения целей РЛС с КАФАР рассмотрены в научной работе [1], а также в патентах [5] и [6]. В [7] представлена адаптационная модель алгоритма выбора целей для параллельного обращения целям при сопровождении, выделяя для формирования лучей определенные сектора КАФАР.

Реакцией зарубежных производителей на современные вызовы для радиолокационных систем стало создание целого ряда систем с электронным круговым сканированием различного назначения. Были разработаны и введены в эксплуатацию РЛС с пирамидально расположенными плоскими ФАР, такие как *LTAMDS* для зенитно-ракетного комплекса *Patriot* (США), РЛС обнаружения и наведения для борьбы с БПЛА *RADA ieMHR* (Израиль), РЛС для военно-морского флота *EL/M-2248 MF-STAR* (Израиль) и *AUSPAR* (является развитием *CEAFAR*) (США, Австралия), а также её наземная версия *CEA GBMMR*. Конформные ФАР нашли применение в РЛС контрбатарейной борьбы *AN/TPQ-48* и её развитии *AN/TPQ-50* с цилиндрической ФАР.

Исходя из того, что цилиндрическая ФАР непригодна для сканирования в углах места выше 60° [1], а ПАФАР имеет зависимость характеристик от угла сканирования в азимутальной и угломестной плоскостях, становится крайне актуальным исследование возможностей работы КАФАР в режимах обзора пространства и сопровождения целей.

1 Конструктивные особенности

Разработка плоских ФАР опирается на многолетний опыт их производства и эксплуатации, однако, при их объединении в ПАФАР и оценке её характеристик, следует учитывать важную особенность. Из-за необходимости размещения излучателей, диаграммообразующей аппаратуры и приемо-передающих модулей (ППМ), ширина излучающего раскрыва плоской АФАР не может занимать всю площадь грани ПАФАР. Таким образом, полезная площадь грани ПАФАР ограничена необходимостью отступа от стыка граней минимум на две длины волны с каждой стороны. Уменьшение площади АФАР при ограниченных габаритах негативно влияет на основные параметры АФАР, такие как КНД и минимальная ширина луча, максимальная дальность обнаружения и т.д., особенно в L- и S-диапазонах радиоволн. В отличие от этого, в КАФАР задействована вся боковая площадь конуса, что позволяет увеличить площадь эквивалентного плоского раскрыва (поперечного сечения), которая определяет основные характеристики АФАР [8]. Ограничением для КАФАР является необ-

ходимость размещения диаграммообразующей аппаратуры и ППМ по верхнему кольцу излучателей (при расширении конуса увеличивается площадь, доступная для размещения аппаратуры), что необходимо учитывать при проектировании.

Например, пусть КАФАР работает в S-диапазоне, ее высота составляет порядка $11,3\lambda$, диаметр основания $18,1\lambda$ и угол между осью и образующей конуса равен 10° . Тогда полезная излучающая площадь одной грани ПАФАР, описанной вокруг габаритов конуса, будет меньше, чем площадь эквивалентного плоского раскрыва КАФАР в 1,31 раза. Излучающая площадь одной грани ПАФАР, вписанной в габариты конуса – меньше в 2,32 раза. При использовании критерия минимизации количества излучателей при отсутствии дифракционных лепестков и равных габаритных ограничениях, в КАФАР оказывается существенно больше излучателей. Например, при использовании треугольной сетки размещения излучателей, их количество в КАФАР больше, чем в описанной ПАФАР в 1,5 раза, а в вписанной – в 2,8 раза. При равных значениях минимального КНД в круговом секторе сканирования по азимуту и одинаковом секторе сканирования по углу места, число элементов ПАФАР и её габаритные размеры будут существенно больше, чем для КАФАР. Такой вариант построения ПАФАР в данной работе не рассматривается.

Оценку характеристик КАФАР нагляднее вести в сравнении с наиболее близкими по характеристикам РЛС электронного кругового обзора – ПАФАР, вписанная и описанная вокруг габаритов КАФАР. Для примера взяты КАФАР и ПАФАР S-диапазона, в относительных габаритах, представленных выше.

2 Режимы обзора пространства и сопровождения целей

Круговой обзор пространства КАФАР в режиме передачи предлагается осуществлять, формируя K (1-4) острых луча (и больше, при необходимости), разнесенных по азимуту с шагом $360^\circ/K$. В формировании каждого луча участвует выделенный под него азимутальный сектор КАФАР. Лучи располагаются по нормали к формирующему их сектору. Сканирование лучами на передачу по азимуту осуществляется посредством электронного сдвига фазового распределения на излучателях, смещающего сектора апертуры, формирующие лучи, при равномерном амплитудном распределении и оптимальным для получения максимального КНД при формировании острого луча фазовом распределении [8], как показано на рисунках 1 (а, б) и 2 (а, б). Сканирование по углу места осуществляется электронным фазовым способом.



Рисунок 1 – Сектор апертуры КАФАР, задействованный для формирования ДН на передачу в режиме 1 луча (а), сектора апертуры КАФАР, задействованные для формирования ДН на передачу в режиме 4 лучей (б)

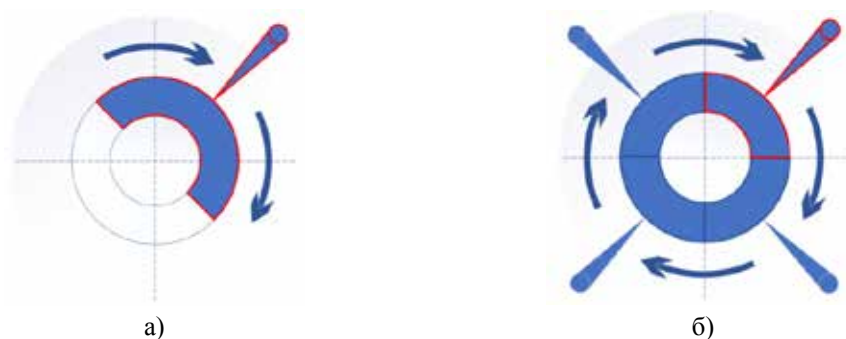


Рисунок 2 – Смещение сектора аперттуры КАФАР при сканировании по азимуту в режиме 1 луча (а), смещение секторов аперттуры КАФАР при сканировании по азимуту в режиме 4 лучей (б)

При рассмотрении режимов сопровождения целей можно выделить два предельных случая: сопровождаемые цели находятся в секторе ответственности одной из граней ПАФАР (азимутальный сектор $\pm 45^\circ$) и цели равномерно распределены вокруг АФАР.

В первом случае обращение к целям на передачу происходит последовательно одним лучом. Различие режимов КАФАР и ПАФАР состоит в том, что ПАФАР отклоняет луч от нормали к раскрыву электронным фазовым способом (рисунок 3(а)), что понижает КНД и расширяет луч. КАФАР в режиме одного луча для его формирования задействует всю видимую с направления цели часть антенного полотна. Отклонение луча по азимуту производится электронным поворотом аперттуры (рисунок 3(б, в)), оставляя луч по нормали к ней, что не изменяет характеристик ФАР.

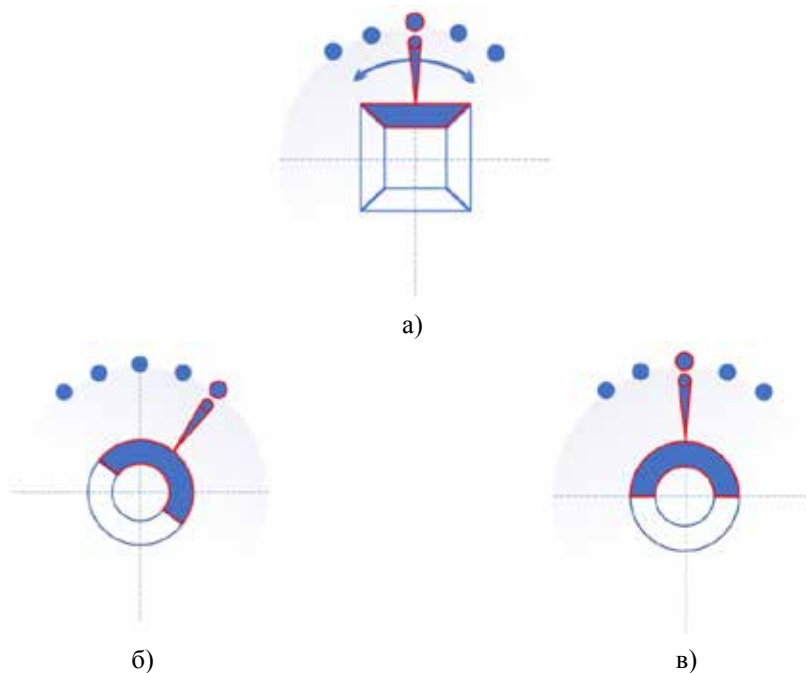


Рисунок 3 – Последовательный обзор целей одной гранью ПАФАР (а), Последовательный обзор целей КАФАР в режиме одного луча (б, в)

В случае равномерного распределения целей вокруг РЛС, ПАФАР формирует один луч каждой гранью и производит последовательное обращение к целям в секторах ответственности $\pm 45^\circ$ по азимуту, что представлено на рисунке 4.

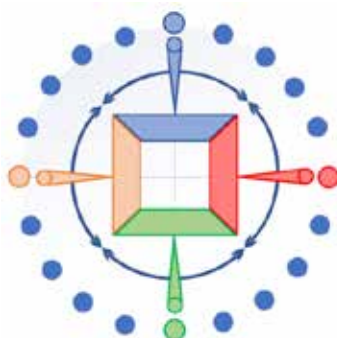


Рисунок 4 – Сектора апертуры ПАФАР, задействованные для формирования ДН на передачу

При сопровождении целей КАФАР на передачу имеет два предельных режима, а все остальные режимы являются вариациями между двумя предельными:

- формирование всех лучей по нормали к апертуре секторов (рисунок 5(а)). Данный режим возможен, когда для одного цикла параллельного обращения выбраны цели, направления на которые совпадают с нормалью к секторам КАФАР, формирующим лучи;
- электронное фазовое сканирование. В данном режиме положение секторов апертуры, формирующих лучи, неизменно, а лучи отклоняются по азимуту и углу места по аналогии с ПАФАР, что показано на рисунке 5(б).

Первый режим имеет максимальную эффективность, а второй – минимальную. Следовательно, необходимо создание адаптивного режима сопровождения целей, исходя из сложившейся целевой и помеховой обстановки. КАФАР позволяет варьировать как количество лучей, так и площадь сектора, выделенного под каждый из них. Также возможны два режима отклонения луча по азимуту – электронный поворот апертуры, в котором не происходит ухудшение характеристик, и электронное фазовое отклонение луча, в котором характеристики ухудшаются с увеличением угла отклонения от нормали к АФАР.

Таким образом, адаптивный алгоритм сопровождения должен выбирать для помещения в один цикл параллельного обращения те цели из общего количества, местоположение которых позволяет минимизировать отклонение лучей электронным фазовым способом. Количество лучей и размеры секторов выбираются с учетом дальности до целей, приоритета, необходимого времени контакта с целью и выделенного на сопровождение целей времени.

На рисунке 5(в) представлен один из возможных режимов сопровождения, где на приоритетную цель выделяется половина апертуры КАФАР по нормали к направлению на цель, а остальные две цели осматриваются четвертями КАФАР в режиме электронного фазового сканирования. На рисунке 5(г) также представлен один из возможных режимов, где одна из четвертей КАФАР располагается по нормали на

цель, а остальные три луча обращаются к целям с электронным фазовым поворотом.

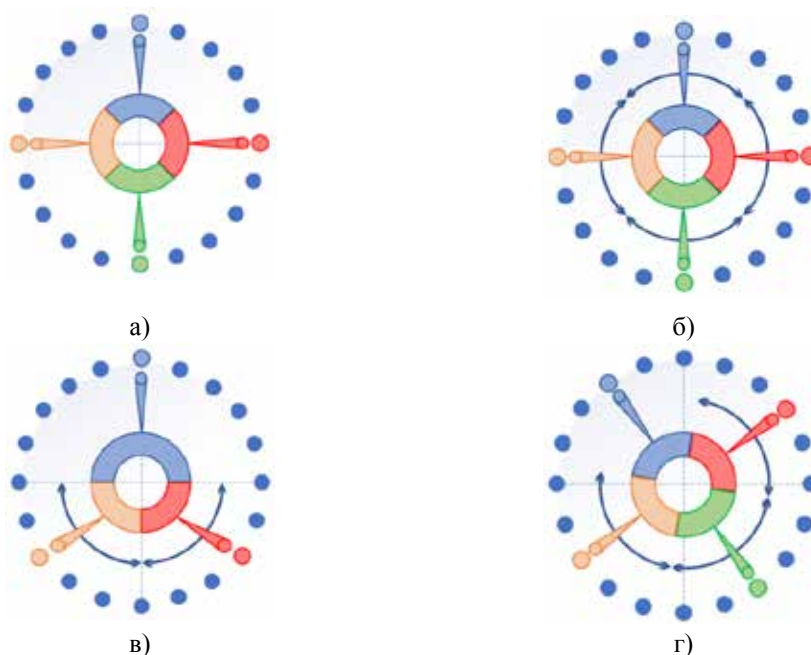


Рисунок 5 – Режим формирования всех лучей по нормали к апертуре секторов (а), режим электронного фазового сканирования (б), промежуточный возможный режим с выделением половины апертюры под приоритетную цель (в), промежуточный возможный режим с выделением четверти апертюры по нормали на цель (г)

В режиме приема отраженного сигнала ПАФАР формирует луч, аналогичный передающему и имеющему те же, ухудшающиеся при сканировании, характеристики. КАФАР позволяет принимать отраженный от целей сигнал всей своей поверхностью с формированием приемных лучей методом цифрового диаграммообразования (ЦДО) [9]. На прием амплитудное и фазовое распределения на эквивалентном плоском раскрытии формируются равномерным и линейным, соответственно. Группы приемных лучей всегда формируются в направлении на цель всей видимой частью КА-ФАР, что представлено на рисунке 6(а, б).



Рисунок 6 – Формирование групп приемных лучей соответствующей частью раскрытия КАФАР (а), поворот групп приемных лучей по азимуту в режиме кругового обзора пространства (б)

Также, для дальнейших исследований представляет интерес работа [10], где представлены режимы работы кольцевой ФАР при формировании независимо сканирующих передающих лучей без разделения апертуры на части и при формировании лучей перекрывающимися апертурами, что может повысить КНД и потенциал КАФАР в многолучевом режиме.

Отношение средней по двум главным плоскостям ширины луча КАФАР к ПАФАР на прием и передачу определяется отношением КНД раскрывов АФАР [1], задействованных для формирования соответствующих лучей (таблица 1),

$$\frac{\Delta\theta_{\text{пар}}}{\Delta\theta_{\text{кар}}} = \sqrt{\frac{A_{\text{кар}}(\varphi_{\text{кар}})}{S_{\text{пар}} \cos(\varphi_{\text{пар}})}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{кар}}$ – площадь эффективной поверхности КАФАР на прием или передачу;

$S_{\text{пар}}$ – площадь грани ПАФАР;

φ – угол отклонения ДН от нормали к АФАР.

Т а б л и ц а 1 – Отношение средней в секторе сканирования ширины луча КАФАР к ПАФАР на прием и передачу

Режим работы	Электронный фазовый поворот луча КАФАР	Количество лучей на передачу КАФАР	Отношение средней по двум главным плоскостям ширины лучей по уровню -3 дБ $\theta_{3 \text{ дБ ПАР}}/\theta_{3 \text{ дБ КАР}}$, отн. ед.			
			ПАФАР описанная		ПАФАР вписанная	
			min	max	min	max
Прием	-	1	1,15	1,75	1,53	2,34
Передача	-	1	1,01	1,73	1,47	2,30
Передача	-	2	1,01	1,42	1,47	1,89
Передача	-	3	1,07	1,27	1,42	1,69
Передача	-	4	0,97	1,15	1,29	1,53
Передача	+	4	0,93	1,01	1,23	1,34

Для сравнения КАФАР и ПАФАР по потенциальной точности измерения угловых координат цели при моноимпульсной пеленгации, проведена оценка шумовой среднеквадратической ошибки измерений [1] (таблица 2):

$$\frac{\sigma_{\theta \text{ пар}}}{\sigma_{\theta \text{ кар}}} = \frac{\Delta\theta_{r \text{ пар}}}{\Delta\theta_{r \text{ кар}}} \sqrt{\frac{P_{t \text{ кар}} A_{r \text{ кар}}}{P_{t \text{ пар}} A_{r \text{ пар}}}}, \quad (2)$$

где $\Delta\theta_r$ – средняя в секторе сканирования ширина луча на приём;

P_t – потенциал АФАР на передачу;

A_r – площадь эффективной поверхности антенны на прием.

При одинаковой мощностиППМ потенциал на передачу КАФАР $P_{t \text{ кар}}$ и

ПАФАР $P_{t \text{ пар}}$ определяется произведением КНД на передачу на количество задействованных в излучении элементов.

Т а б л и ц а 2 – Отношение средней в секторе сканирования потенциальной среднеквадратической ошибки ПАФАР к КАФАР

Режим работы	Электронный фазовый поворот луча КАФАР	Кол-во лучей на передачу КАФАР	Нормированная потенциальная среднеквадратическая ошибка $\sigma_{\theta \text{ ПАР}}/\sigma_{\theta \text{ КАР}}$, отн. ед.							
			ПАФАР описанная				ПАФАР вписанная			
			Δ		$\square$		Δ		$\square$	
			min	max	min	max	min	max	min	max
Прием/Передача	-	1	2,51	12,9	2,29	11,79	8,16	42,12	7,38	38,09
Передача	-	2	2,51	7,53	2,29	6,87	8,16	24,52	7,38	22,17
Передача	-	3	1,98	5,21	1,81	4,75	6,46	16,94	5,84	15,32
Передача	-	4	1,56	3,96	1,42	3,61	5,07	12,87	4,59	11,64
Передача	+	4	1,56	3,77	1,42	3,43	5,07	12,26	4,59	11,09

Заключение

Предложенное построение РЛС с применением КАФАР позволяет реализовать многолучевые параллельные режимы обзора и сопровождения целей. КАФАР позволяет выделять под передающие лучи сектора апертуры различных размеров, а также имеет возможность поворота лучей по азимуту как электронным поворотом формирующего луч сектора, так и фазовым отклонением луча при фиксированном положении сектора. Также КАФАР имеет возможность сканировать по азимуту не изменяя ширину луча на передачу, а на прием КАФАР работает всей своей площадью, формируя существенно более узкие лучи, чем ПАФАР аналогичных габаритных размеров, что позволяет уменьшить потенциальную среднеквадратическую ошибку измерения угловых координат целей в десятки раз. Вместе с возможностью быстрого перехода от режима обзора пространства к сопровождению целей и возможность совмещения этих режимов в круговом секторе сканирования, применение КАФАР позволяет создавать гибкие алгоритмы, адаптированные под конкретные задачи, приоритеты це-

лей и помеховую обстановку.

Адаптационный алгоритм обзора пространств и сопровождения целей должен оптимальным образом выделять время на обзор и сопровождение, комбинировать сектора формирования лучей КАФАР в параллельном режиме, определив последовательность обращения к целям для различной целевой обстановки, с учетом полученных данных о приоритетности целей и помеховой обстановке.

Литература

1 Инденбом М.В., Махлин Р.Л. Радиолокационная станция с цифровой осесимметричной активной фазированной антенной решеткой как перспективное направление развития РЛС кругового обзора // Вестник концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2017. № 3. С. 24-32.

2 Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток / Под ред. Д.И.Воскресенского. М.: Радио и связь, 1981.

3 Теоретические основы радиолокации / Под ред. Я.Д.Ширмана. М.: Сов. Радио, 1970.

4 Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки. М.: Техносфера, 2012.

5 FINCANTIERI S.p.A, Patent Application “Radar bistatic” (Bistatic Radar), 9 Jan. 2014, No. RM2014A000005.

6 Патент № 2713103 C1 (RU), МПК H01Q 25/02. Способ формирования диаграммы направленности передающей активной антенной решеткой и осесимметричная активная фазированная антенная решетка на его основе. Инденбом М.В., Махлин Р.Л.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники». – № 2018134210; заявл. 28.09.2018; опубл. 03.02.2020. – Бюл. № 4.

7 Gaspare Galati, Emilio G. Piracci. Scheduling Methods for a Conformal, Phased Array Multifunction Radar// Dept. of Electr. Eng. - University of Rome Tor Vergata Via del Politecnico, 1 00133 Rome, Italy. 2015.

8 Воскресенский Д.И., Пономарев Л.И., Филиппов В.С. Выпуклые сканирующие антенны. М.: Советское радио, 1978.

9 Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И.Воскресенского, А.И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2004.

10 Инденбом М.В., Курочкин Н.Ю. Кольцевые антенные решетки с максимальным коэффициентом усиления и многолепестковой диаграммой направленности. // Антенны. 2018. Выпуск 8 (252). С. 31-36.

Скуратов Виктор Андреевич – начальник сектора, АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: радиолокация, теория и техника радиолокационных станций кругового обзора.

Email: viktor.skuratov@gmail.com.

Жулин Роман Сергеевич – инженер 1 кат., АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: радиолокация.

Email: zhulin1337@gmail.com.

Чернов Георгий Михайлович – инженер 2 кат., АО «ВНИИРТ», г. Москва.

Область научных интересов: радиолокация, антенны, СВЧ-устройства, фазированные антенные решетки.

Email: Chernov.georgij@gmail.com.

Почтовый адрес: 105082, г. Москва, ул. Б.Почтовая, 22.

ANALYSIS OF POSSIBLE SPATIAL SERVEILLANCE AND TARGET TRACKING MODES FOR RADAR WITH CONICAL ACTIVE PHASED ARRAY ANTENNA

The application of single-beam and multi-beam electronic scanning modes for spatial surveillance and target tracking in a circular surveillance radar station with conical active phased array antenna (CAPAA) is considered. A comparison of CAPAA characteristics with pyramidal active phased array antenna (PAPAA) circumscribed and inscribed within its dimensions is conducted. The advantages of CAPAA are shown, including flexibility in constructing surveillance and tracking modes. The formulation of applying adaptive algorithms for identifying optimal beam formation sectors of CAPAA and target engagement sequences for various target scenarios is also presented.

Keywords: conical antenna array; conformal antenna array; spatial surveillance; target tracking; radar station; active phased array antenna; UAV detection.

Skuratov Victor Andreevich – head of sector, Joint Stock Company “All-Russian Scientific Research Institute of Radio Engineering”, Moscow.

Science research interests: radar, theory and technology of surveillance radar stations.

Zhulin Roman Sergeevich – engineer of the 1st rank, Joint Stock Company “All-Russian Scientific Research Institute of Radio Engineering”, Moscow.

Science research interests: radar.

Chernov Georgij Mihailovich – engineer of the 2nd rank, Joint Stock Company “All-Russian Scientific Research Institute of Radio Engineering”, Moscow.

Science research interests: radiolocation, antennas, microwave devices, phased array antennas.

УДК 65.01+669

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ ДЕТАЛЕЙ. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

Терегулова А.А.

В работе представлен подход к формированию системы анализа, направленной на комплексное изучение дефектов, возникающих в деталях после термической обработки. Предложен механизм накопления и структурирования данных о несоответствиях механических свойств нормативным требованиям после термической обработки, а также способ выявления и устранения факторов, способствующих их возникновению. Представлен уровневый подход к определению причин несоответствий механических свойств требованиям термически обработанных образцов стали 40Х. В ходе исследования металлографическим контролем выявлена структурная полосчатость и загрязненность неметаллическими включениями. Контролем микротвердости выявлена разность значений между зонами структурной полосчатости. Контролем макроструктуры установлено, что причиной несоответствия механических свойств требованиям является ликвационная неоднородность. По результатам исследовательской работы оформлено заключение с выдачей рекомендаций металлургической службе.

Ключевые слова: качество материалов; термическая обработка; дефекты металлургического происхождения; несоответствия механических свойств; структурные исследования; рекомендации по устранению дефектов; уровневый подход.

Введение

Динамическое развитие предприятий оборонного сектора, сопровождаемое внедрением современных технологий, использованием новейших материалов и освоением перспективных образцов вооружения, предъявляет все более высокие требований к системам обеспечения качества. Исследования подчеркивают, что в условиях перехода к концепции Индустрия 4.0 вопросы оценки и управления качеством становятся особенно важными для достижения высокой технологичности на производстве [1]. Крупнейшие организации оборонно-промышленного сектора нарабатывали значительный положительный опыт в области формирования и совершенствования механизмов управления качеством, а также выработали устойчивые подходы к планированию и оценке его уровня.

Несмотря на достижения, доступ к обобщенным данным по практической оценке качества, особенно в части анализа отклонений от требований нормативной документации, остаётся ограниченным. Проблемы, связанные с металлургией, производственным браком, неисправностей при эксплуатации и других несоответствий, чаще всего отражаются в нормативных документах отраслевого уровня либо фиксируются на отдельных предприятиях. Особенно это касается процессов литья, термической обработки, штамповки, проката и сварки, которые играют ключевую роль в формиро-

вании качества продукции. Однако выявление и анализ причин дефектов металлургического происхождения представляет собой одну из наиболее сложных задач контроля качества. Существующие методики и подходы в лабораториях, как правило, не охватывают полностью источники возникновения брака, ограничиваясь стандартной оценкой структуры. Исследования показывают, что необходим современный подход к выявлению брака, и создание цифровой базы данных классификации дефектов и результатов исследований. Также важно правильно выбирать методы их устранения, поскольку это является ключевым элементом повышения качества в условиях цифровизации производства [2].

В связи с этим особую актуальность приобретает уровневый подход, обеспечивающий системное и поэтапное исследование. Систематизация опыта в области выявления причин брака и несоответствий требованиям, а также разработка объективных критериев, позволяющих определять источники проблем – от этапов входного контроля сырья до анализа готовой продукции – является центральной темой настоящих и будущих исследований. В рамках этого исследования представлены преимущества металлографического контроля; результаты остальных уровней в работу не включены.

1 Постановка задачи исследования

Оценка качества термически обработанных деталей предусматривает проведение достоверного и точного анализа различных дефектов, возникающих на стадиях изготовления и эксплуатации в составе изделий. С целью оценки качества материалов изделий в Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) задачами исследования являются выявление несоответствий механических свойств на основе предложенного уровня подхода:

- I уровень – оценка механических свойств несоответствующие требованиям
- II уровень – оценка состояния микроструктуры;
- III уровень – оценка неудовлетворительного показателя микроструктуры;
- IV уровень – оценка результатов после дополнительных исследований;
- V уровень – оценка выявленного технологического фактора;
- VI уровень – оценка результатов исследования;
- VII уровень – внесение результатов в базу данных Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ).

2 Структурная схема исследования

На рисунке 1 приведена структурная схема анализа несоответствий механических свойств требованиям, основанная на уровневом подходе, позволяющая проводить исследование качественно и системно, снижая вероятность пропуска важных фактов и ошибок. В дальнейшем схема и полученные данные будут обрабатываться и использоваться для совершенствования методов оценки качества.

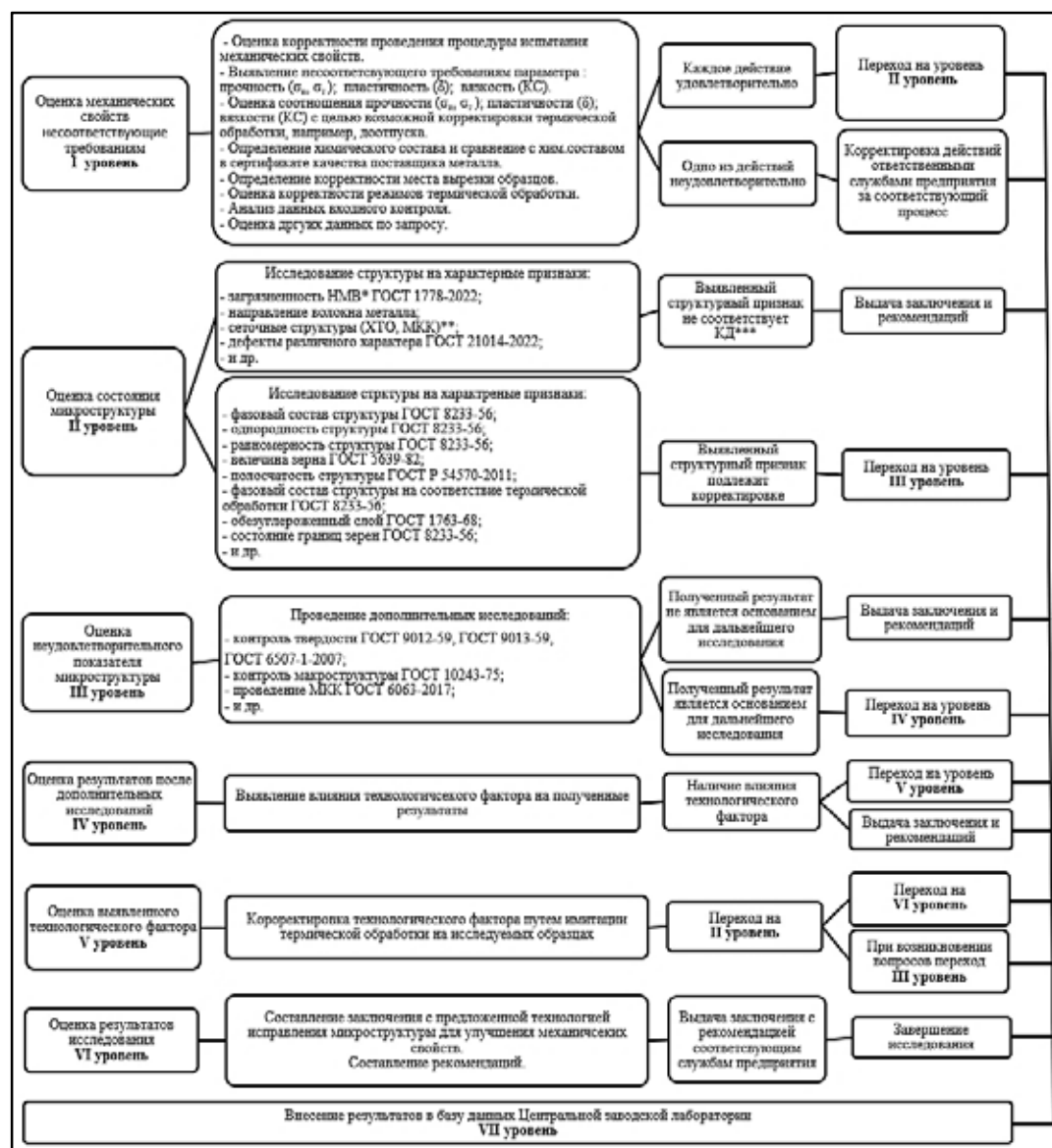
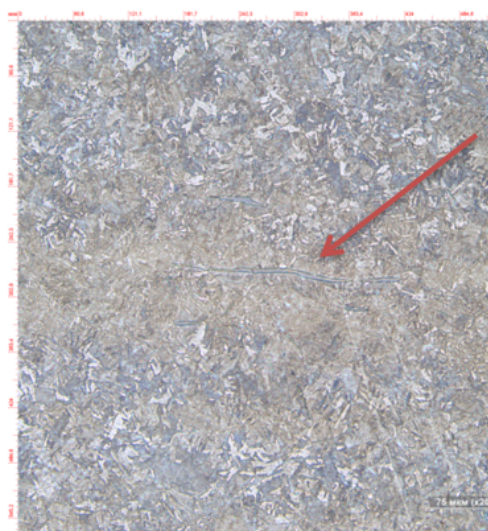


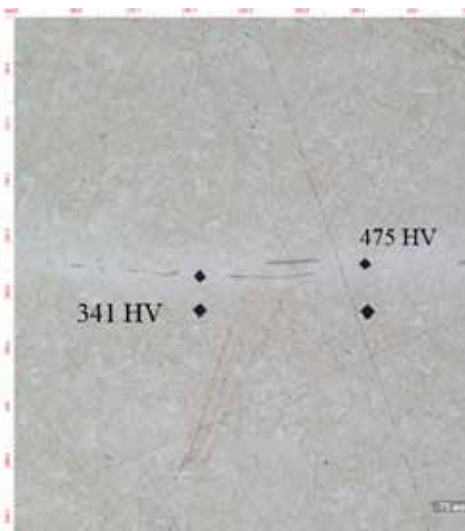
Рисунок 1 – Структурная схема анализа несоответствий механических свойств требованиям: * – неметаллические включения; ** – химико-термическая обработка, межкристаллитная коррозия; *** – конструкторская документация

3 Результаты исследования микроструктуры

Предложенная структурная схема позволила провести комплексный анализ и провести поэтапное металлографическое исследование. На рисунках 2 (а) приведена микроструктура образца после механического испытания на разрыв. Микроструктура неоднородна, имеется полосчатость с заполнением светлых полос протяженными цепочками неметаллического включения – сульфиды. Замеры микротвердости на рисунке 2 (б) показали, что имеется выраженный градиент значений между светлыми и темными полосами 475 HV и 341 HV соответственно.



а



б

Рисунок 2 – Микроструктура образца стали 40Х после механических испытаний:
а) с полосчатым характером, и загрязненностью сульфидными включениями, $\times 200$;
б) с полосчатым характером, с загрязненностью сульфидными включениями и
распределением микротвердости, $\times 200$

Проведенный макроконтроль заготовки, из которой вырезались образцы для испытаний механических свойств, выявил наличие ликвационного квадрата ГОСТ 10243-75. Дефект заготовки металла представлен на рисунке 3 и выделен линией.

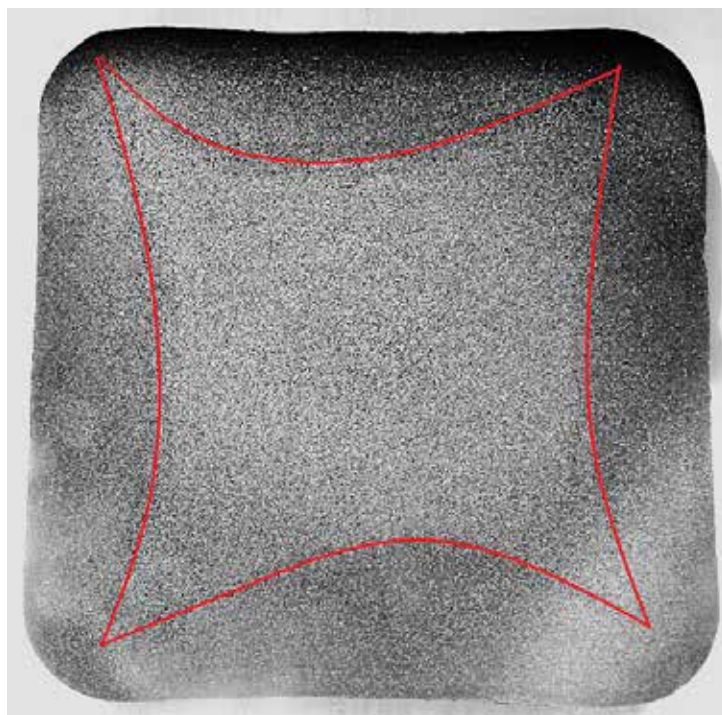


Рисунок 3 – Макроструктура с ликвационным квадратом, $\times 1$

Заключение

В целях повышения достоверности, предоставления рекомендаций и возможного сокращения времени исследований предлагается структурная схема на основе уровневого подхода для выявления причин несоответствий механических свойств требованиям. В дальнейшем схема может расширяться и дополняться различными видами испытаний. Она развивается до стадии выдачи заключения металлургической службе с обоснованием причин несоответствий и рекомендациями по устранению.

На примере исследования полосчатой структуры образцов марки стали 40X, оказывающая влияние на снижение механических свойств, установлено, что причиной отклонения является ликвационная неоднородность. Это подтверждено результатами исследования микроструктуры, контроля микротвердости и макроструктуры.

Обнаруженная ликвационная неоднородность, в виде ликвационного квадрата на макротемплетах, не считается браковочным признаком для изъятия заготовки из производства, поскольку приводит лишь к незначительному снижению механических свойств. Однако в условиях предельной эксплуатации, характерной для специального применения, такое снижение является критичным, и металл данной заготовки не должен использоваться в составе изделия.

На этапах принятия решений о причинах несоответствий значений имеет полнота и достоверность информации, поступающей от технологических, производственных подразделений, ЦЗЛ и служб снабжения. Указанный фактор во многом демонстрирует объективность результатов анализа и требует применения системного подхода к управлению данными и их обмену между участниками процесса.

Разрабатываемая методика термической обработки, проводимая на образцах в условиях ЦЗЛ, лишь частично воспроизводит структуру, формирующуюся в готовых деталях. Это требует дальнейшего изучения с учетом химического состава, прокаливаемости, других характеристик конкретной марки стали, а также масштабного фактора, обеспечивающего сопоставимость структурных характеристик, полученных на малых и больших образцах.

Каждый уровень структурной схемы является завершенным этапом анализа, обеспечивающим последовательную передачу результатов на дальнейшие лабораторные и аналитические исследования. Заключительный уровень обобщает полученные данные и формирует практические рекомендации для производственных технологических подразделений предприятия.

Формируется справочная база данных результатов исследований по различным маркам сталей, сплавов, видам термической обработки и типам полуфабрикатов (поковки, прокат, литьё). Это позволит существенно улучшить проведения аналогичных исследований в будущем.

Литература

1 Markatos N. G., Mousavi A. Manufacturing quality assessment in the industry 4.0 era: a review // Total Quality Management & Business Excellence. 2023. Vol. 34, No. 13-14. P. 1655-1681.

2 Ulewicz R., Czerwinska K., Pacana A. A rank model of casting non-conformity detection methods in the context of industry 4.0 // Materials, Basel. 2023. Vol. 16, No. 2. Article 723.

Терегулова Аделя Айратовна – аспирант, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: контроль качества; металлография; анализ структуры; несоответствия механических свойств; цифровизация процессов; справочные базы данных по дефектам металлопродукции.

E-mail: ter.adelya@gmail.com

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

ENSURING THE QUALITY OF HEAT-TREATED PARTS. A SYSTEMATIC APPROACH

The paper presents an approach to the formation of an analysis system aimed at a comprehensive study of defects that occur in parts after heat treatment. A mechanism for accumulating and structuring data on non-compliance of mechanical properties with regulatory requirements after heat treatment is proposed. A method for identifying and eliminating factors that contribute to the occurrence of non-compliance of mechanical properties with the requirements of heat-treated samples of 40X steel is presented. During the study, metallographic control revealed structural banding and contamination with non-metallic inclusions. Microhardness control revealed differences in values between the zones of structural banding. Macrostructure control established that the reason for the mechanical properties not meeting the requirements is the liquation heterogeneity. Based on the results of the research, a conclusion was issued with recommendations for the metallurgical service.

Keywords: material quality; heat treatment; defects of metallurgical origin; inconsistencies in mechanical properties; structural studies; recommendations for defect elimination; level-based approach.

Teregulova Adelya Airatovna – postgraduate student, JSC “NPO “Obukhovsky plant”, St. Petersburg.

Area of research interested: quality control; metallography; structure analysis; inconsistencies of mechanical properties, digitalization of processes; reference databases on defects of metal product.

УДК 621.372.8

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ОТСУТСТВИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПОЛЕТА САМОЛЕТА-ЛАБОРАТОРИИ

Нестерович А.В., Мурсалов Д.Л., Яковлев В.Т.

Приводится методика определения погрешности местоположения летательного аппарата без использования спутниковых данных полета самолета-лаборатории. Для этого предлагается новое понятие – условная погрешность. Кроме того, представлено решение задачи определения аномальности конкретного измерения, резко отличающегося от других, принадлежащим этому массиву данных полета, что часто встречается на практике.

Ключевые слова: условная погрешность; оценка пространственного распределения точности определения местоположения летательного аппарата; радионавигационная многопозиционная система наблюдения; радиотехническая система ближней навигации; самолет-лаборатория; условная погрешность; *GPS*-сигнал; искажение сигнала; спуфинг.

Введение

В соответствии с регламентирующими документами [1, 2] проведение сертификационных испытаний и облетов наземной авиационной техники выполняется самолетом-лабораторией с использованием спутниковых данных полета в качестве эталона.

В условиях современной реальности, когда использование спутниковых данных самолетом-лабораторией затруднительно или невозможно по различным причинам, например, отсутствие необходимой группировки спутников с обеспечением требуемой точности определения координат, искажение сигнала (спуфинг), внесение значительных ошибок в *GPS*-сигнал в ходе боевых действий и т.п., возникает необходимость возможности проведения летных проверок без использования спутниковых данных полета самолета-лаборатории.

Одной из задач летной проверки, например, для многопозиционной системы наблюдения (МПСН), является подтверждение погрешности местоположения летательного аппарата в заданных зонах, которая не должна превышать:

- допустимое значение 20 м с доверительным уровнем 95% на удалении до 4,6 км от контрольной точки аэродрома;
- допустимое значение 40 м с доверительным уровнем 95% на удалении от 4,6 до 9,6 км от контрольной точки аэродрома.

Пример траектории полета самолета-лаборатории в географических и декартовых координатах без использования спутниковых данных полета представлен на рисунках 1-2.

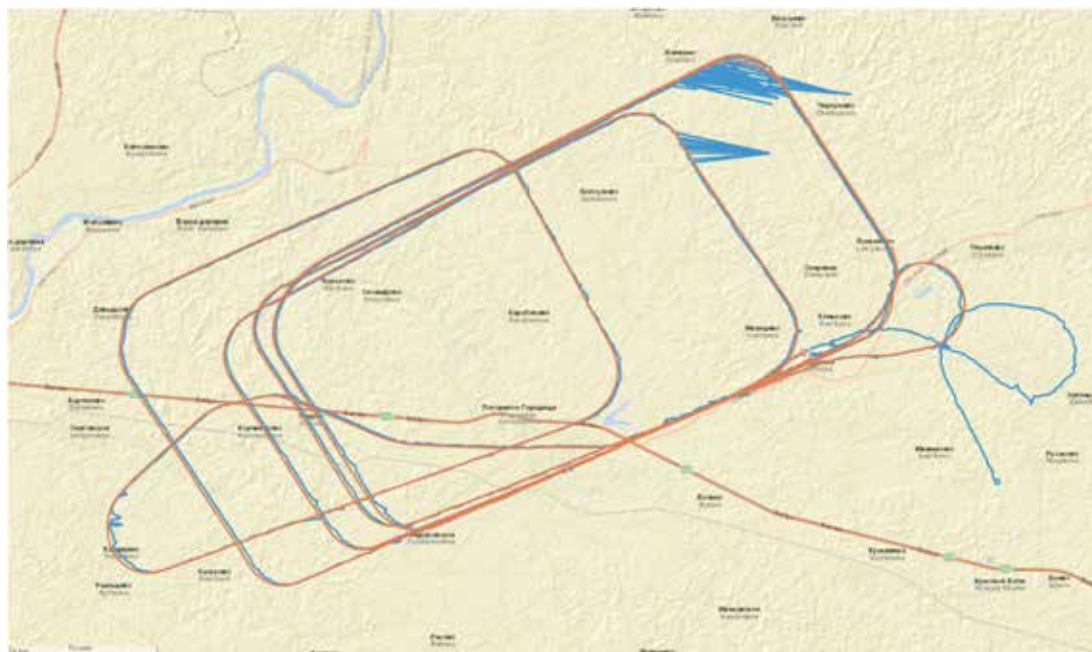


Рисунок 1 – Пример траектории полета самолета-лаборатории в географических координатах

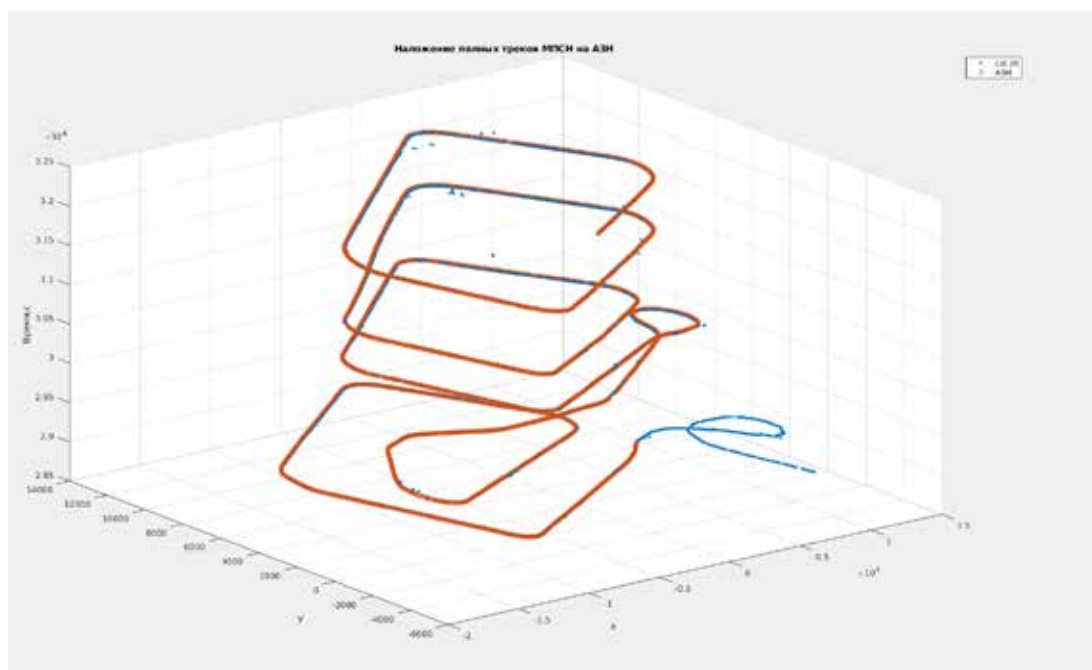


Рисунок 2 – Пример траектории полета самолета-лаборатории в декартовых координатах (по оси z – время)

Однако проведение летных проверок без использования спутниковых данных полета самолета-лаборатории не позволит определить погрешность местоположения летательного аппарата из-за отсутствия эталонных данных полета. Кроме того, еще

одной немаловажной проблемой является наличие ложных сигналов, которые могут привести к существенному искажению статистической оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения (СКО).

1 Постановка задачи

В соответствии с [3-5] погрешность (результата измерения) – это разность между измеренным значением величины и опорным значением величины. При облетах в качестве измеренных значений величины мы получаем массив данных, полученных с помощью МПСН. В качестве опорных значений величины выступали бы спутниковые данные полета самолета-лаборатории. Однако, по ряду причин, указанных выше, таковые данные отсутствуют. В связи с этим возникает необходимость решения первой задачи – определения погрешности местоположения летательного аппарата без использования спутниковых данных полета самолета-лаборатории.

При выполнении сертификационных испытаний или регулярных облетов самолетом-лабораторией авиационных радиотехнических систем наблюдения (МПСН) или систем ближней навигации (РСБН) по ряду причин некоторое количество координат из обрабатываемого массива данных полета, полученного этими системами, резко отличается от других. Причиной этого могут быть, как ложные переотраженные сигналы, так и то, что измерение может являться элементом массива данных полета, вероятность появления которого весьма мала.

И в том и в другом случае «подозрительный» результат может существенно искажать статистическую оценку математического ожидания и СКО. Также, оценки могут искажаться при необоснованном исключении «подозрительных» отклонений.

В связи с этим возникает необходимость решения второй задачи: определить, является ли каждое конкретное измерение, резко отличающееся от других, принадлежащим этому массиву данных полета или оно является аномальным и подлежит исключению из массива [6].

2 Методика определения условной погрешности местоположения летательного аппарата при отсутствии спутниковых данных полета самолета-лаборатории

Для решения первой задачи предлагается использовать новое понятие – условная погрешность. Условная погрешность (результат измерения) означает разность между измеренным значением величины и условным опорным значением величины. В качестве условного опорного значения величины, в нашем случае, используется аппроксимированный массив измеренных данных с помощью полинома третьей степени.

Для решения второй задачи предлагается полученный массив данных полета с помощью наземных радиотехнических средств наблюдения или ближней навигации при заранее известном (требуемом) значении СКО обрабатывать таким образом [6], что для значений, резко отличающихся от других, будет решаться вопрос о его аномальности, используя приближенное равенство (1) для вероятности p того, что случайное значение наибольшего измерения $X_{(n)\text{наиб}}$ (наименьшего измерения $X_{(n)\text{наим}}$) превосходит (значительно меньше) случайного значения измерения x_n

$$p \approx n[0.5 - F_0\left(\beta \sqrt{\frac{n}{n-1}}\right)], \quad (1)$$

где n – число измерений в массиве данных,

$F_0(x)$ – интеграл вероятности Гаусса,

β – коэффициент.

Интеграл вероятности Гаусса $F_0(x)$ определяется [7] по формуле

$$F_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{X(n)} e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (2)$$

где $X(n)$ – случайное значение наибольшего измерения $X_{(n)\text{наиб}}$ или наименьшего измерения $X_{(n)\text{наим}}$;

x – случайное значение n измерения.

Коэффициент β определяется по формуле

$$\beta = \begin{cases} \frac{X_{(n)\text{наиб}} - \bar{x}}{\sigma}, & \text{при значении наибольшего измерения } X_{(n)\text{наиб}} > x_n; \\ \frac{\bar{x} - X_{(n)\text{наим}}}{\sigma}, & \text{при значении наименьшего измерения } X_{(n)\text{наим}} < x_n; \end{cases} \quad (3)$$

где $\bar{x}$ – среднеарифметическое значение,

σ – среднеквадратическое отклонение.

Если вероятность p ниже принятого уровня значимости p_σ , то измерение x_n исключается из массива. В качестве уровня значимости можно принять величину порядка 0,05, что соответствует доверительному уровню 95 %. Уровень значимости допускается уменьшать, ужесточая тем самым требование.

3 Определение условной погрешности местоположения летательного аппарата при отсутствии спутниковых данных полета самолета-лаборатории

Зона воздушного пространства на удалении 4,6 км от контрольной точки аэродрома

Сравнение траекторий полета по осям X и Y без обработки и с обработкой, условная погрешность местоположения летательного аппарата, рассчитанная без обработки и с обработкой, приведены на рисунке 3. На рисунке находятся 11 точек со значениями, резко отличающимися от других, с пороговым значением погрешности 79 м с доверительным уровнем 95%. При этом число измерений составляет 1253, значение СКО $\sigma=20$ м, математическое ожидание $\mu=0$ м. В результате расчета получена погрешность местоположения 19,82 м на удалении 4,6 км от контрольной точки аэродрома.

Траектория полета, выделенная красным цветом, построенная по точкам с использованием методики, приведена на рисунке 4.

Зона воздушного пространства на удалении от 4,6 до 9,6 км от контрольной точки аэродрома

Сравнение траекторий полета по осям X и Y без обработки и с обработкой, условная погрешность местоположения летательного аппарата, рассчитанная без обработки по п.3.2 и с обработкой, приведены на рисунке 5. На рисунке находятся точки со значениями, резко отличающимися от других, с пороговым значением погрешности 159 м с доверительным уровнем 95 %. При этом количество измерений составляет 1339, значение СКО $\sigma = 40$ м, математическое ожидание $\mu = 0$ м. В результате расчета

получили погрешность местоположения 24,2 м на удалении от 4,6 до 9,6 км от контрольной точки аэродрома.

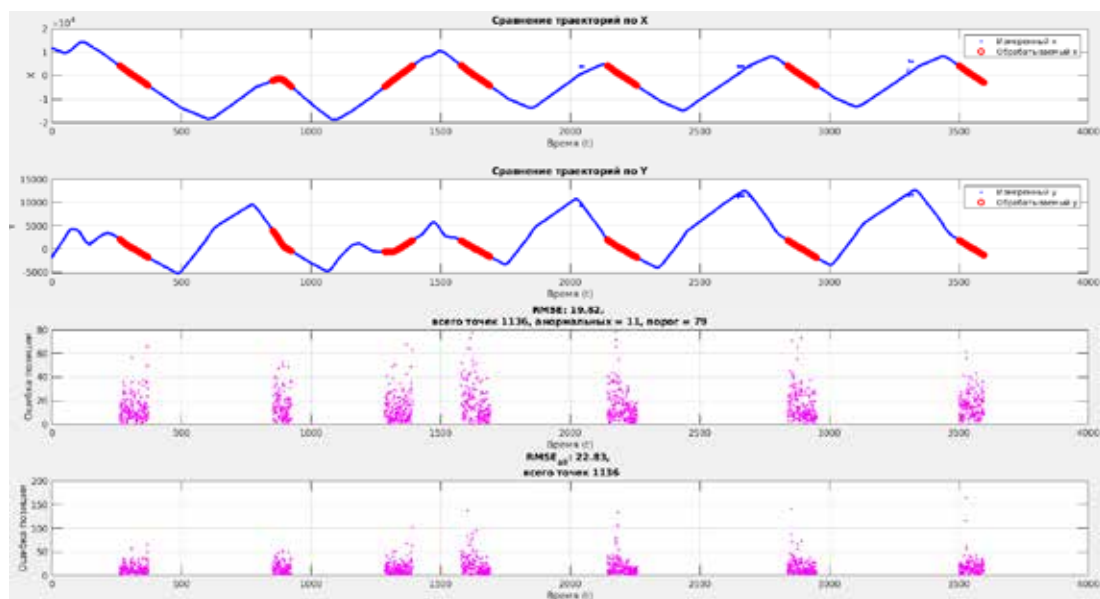


Рисунок 3 – Расчет СКО без обработки и с обработкой для зоны воздушного пространства на удалении 4,6 км от контрольной точки аэродрома

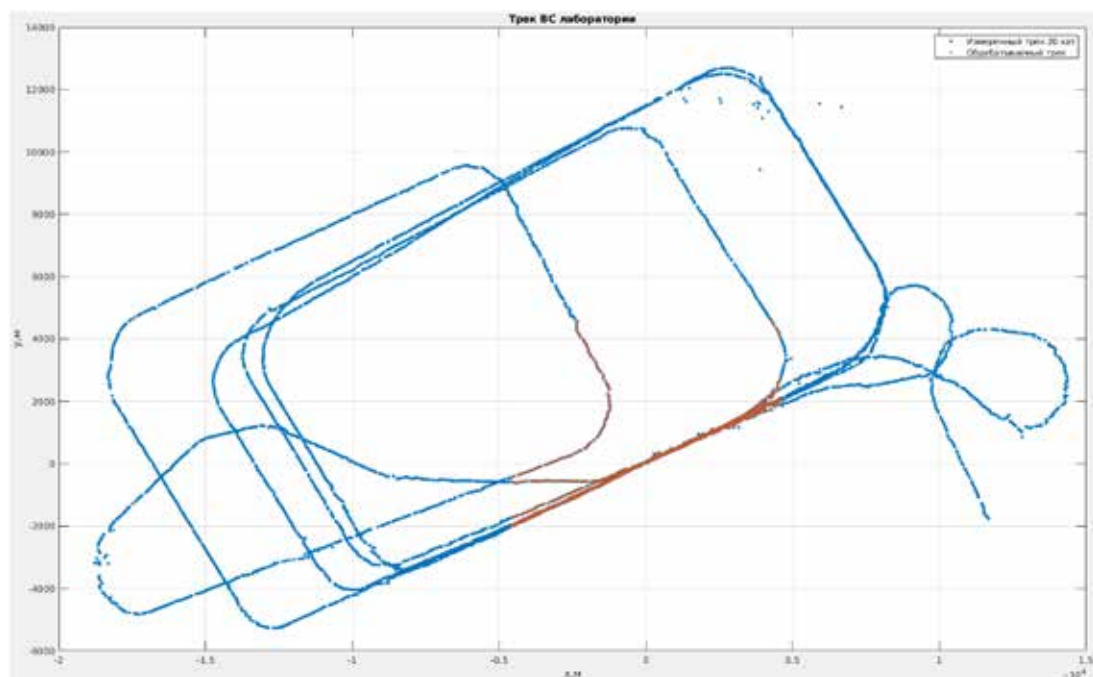


Рисунок 4 – Траектория полета на удалении 4,6 км от контрольной точки аэродрома

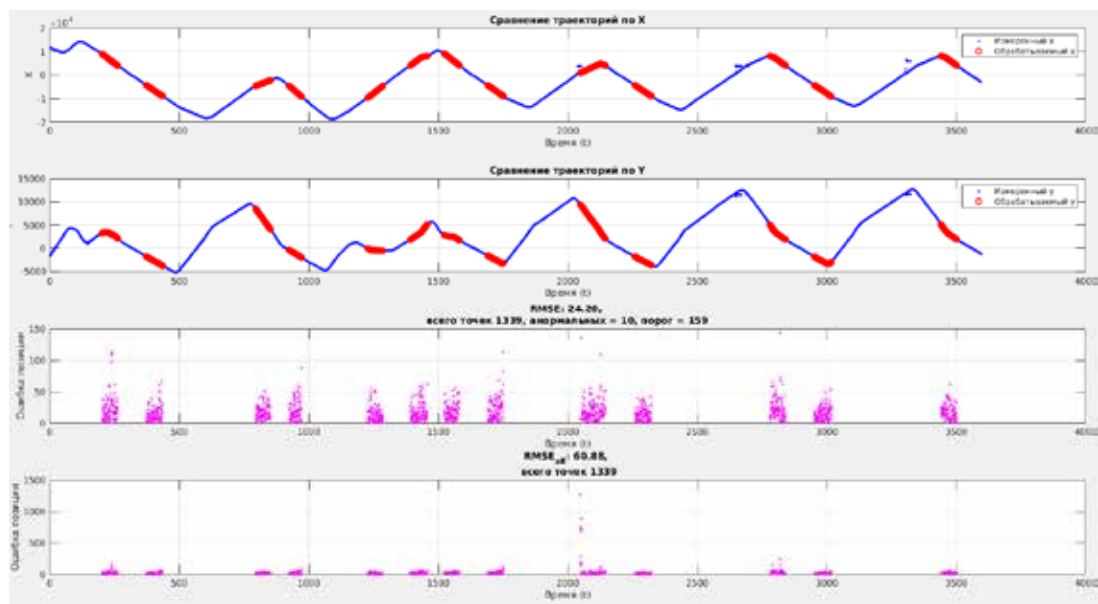


Рисунок 5 – Расчет СКО без обработки и с обработкой для зоны воздушного пространства на удалении от 4,6 до 9,6 км от контрольной точки аэродрома

Траектория полета, выделенная красным цветом, построенная по точкам с использованием методики, приведена на рисунке 6.

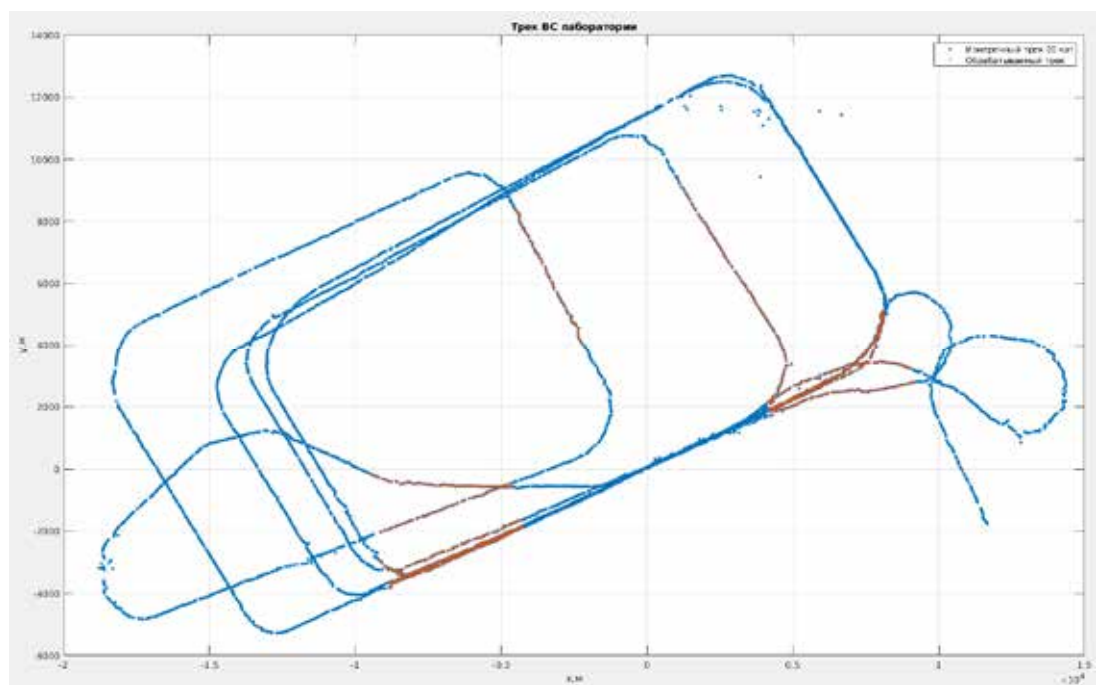


Рисунок 6 – Траектория полета на удалении от 4,6 до 9,6 км от контрольной точки аэродрома

Заключение

Для решения задачи определения погрешности местоположения летательного аппарата без использования спутниковых данных полета самолета-лаборатории, предлагается использовать новое понятие – условная погрешность. Условная погрешность (результат измерения) – разность между измеренным значением величины и условным опорным значением величины, в качестве которого используется аппроксимированный массив измеренных данных с помощью полинома 3-ей степени. Однако, необходимо отметить, что использование спутниковых данных полета самолета-лаборатории при определении погрешности все-таки наиболее предпочтительно, так как, при этом, возможно определение погрешности измерения.

Обоснованное исключение аномальных отклонений, резко отличающихся от других, принадлежащим этому массиву данных полета позволило существенно улучшить статистическую оценку математического ожидания и СКО местоположения летательного аппарата.

В результате применения предлагаемой методики условная погрешность местоположения летательного аппарата при отсутствии спутниковых данных полета самолета-лаборатории составила:

- 19,82 м для зоны воздушного пространства на удалении до 4,6 км от контрольной точки аэродрома, что не превышает допустимое значение 20 м с доверительным уровнем 95 %.

- 24,2 м для зоны воздушного пространства на удалении от 4,6 до 9,6 км от контрольной точки аэродрома, что не превышает допустимое значение 40 м с доверительным уровнем 95 %.

Предложенная методика при условии отсутствия спутниковых данных полета самолета-лаборатории позволяет объективно оценить аномальность конкретного измерения, резко отличающееся от других, с принятием решения об исключении его из массива данных полета.

Необходимо отметить, что применение данной методики при анализе результатов летной проверки изделия МПСН на одном из аэродромов РФ с учетом отсутствия спутниковых данных полета самолета-лаборатории, позволило пройти в полном объеме сертификационные испытания на соответствие предъявляемым требованиям Международного авиационного комитета (МАК).

Литература

- 1 ИКАО. Дос 9924 Руководство по авиационному наблюдению, 2010.
- 2 Федеральные авиационные правила. Нормы годности к эксплуатации аэродромов государственной авиации, приложение к приказу Министра обороны Российской Федерации от 02.11.2006 г. №455.
- 3 РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
- 4 Бараш В.Я., Третьяков О.Ю. Неопределенность и погрешность в современной метрологии // Законодательная и прикладная метрология. 2009. №5. С. 9-14.
- 5 Лобанков В.М. Неопределенность, погрешность, поправка // Фундаментальная метрология. 2015. №3, С.12-17.
- 6 Абергауз Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам / Г.Г.Абергауз, А.П.Тронь, Ю.Н.Копенин, И.А.Коровина. МО СССР: Военное издательство, 1970.

355 с.

7 Вентцель Е.С. Теория вероятностей : учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 1999.

Нестерович Андрей Владимирович – аспирант, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радионавигация, радиолокация.

Email: a.nesterovich@goz.ru

Мурсалов Дмитрий Леонидович – аспирант, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радионавигация, радиолокация.

Email: d.mursalov@goz.ru

Яковлев Виктор Тимофеевич – доктор технических наук, главный научный специалист, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радионавигация, радиолокация.

Email: v.yakovlev@goz.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

THE METHODOLOGY OF ERROR DETERMINATION AIRCRAFT LOCATIONS IN THE ABSENCE OF SATELLITE FLIGHT DATA LABORATORY AIRCRAFT

A methodology for determining the error in the location of an aircraft without using satellite data from the flight of a laboratory aircraft is presented. A solution is presented to the problem of determining the abnormality of a specific measurement that differs sharply from others belonging to this array of flight data.

Keywords: assessment of spatial distribution of aircraft positioning accuracy, multi-position radio navigation surveillance system, short-range radio navigation system, laboratory aircraft, GPS signal, spoofing.

Nesterovich Andrey Vladimirovich – postgraduate student, JSC "RPA "Obukhovsky plant", St. Petersburg.

Research interests: radio navigation, radiolocation.

Mursalov Dmitriy Leonidovich – postgraduate student, JSC "RPA "Obukhovsky plant", St. Petersburg.

Research interests: radio navigation, radiolocation.

Yakovlev Viktor Timofeevich – doctor of technical sciences, chief scientific specialist, JSC "RPA "Obukhovsky plant", St. Petersburg.

Research interests: radio navigation, radiolocation.

УДК 623.4.027

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА

Кунаев Н.А.

Представлена методика определения межрегламентного периода технического обслуживания с учетом временного фактора. Показана методика определения математического ожидания времени готовности техники к использованию по назначению с учетом надежности. Приведен анализ оптимального межрегламентного периода технического объекта.

Ключевые слова: оптимальный межрегламентный период; надежность; техническое обслуживание; критерий минимума.

Введение

Функционирование существующих организационно-технических систем (ОТС) может существенным образом зависеть от временного фактора, особенно это касается военных ОТС и в первую очередь зенитных ракетных систем, боевое применение которых, в отличие от комплексов ударного оружия, определяется действием противника. Поэтому при организации технического обслуживания (ТО) необходимо учитывать временные показатели в системе «человек-техника» не только для этапа боевого применения, но и для процесса технического обслуживания, в период которого зенитный ракетный комплекс не готов к применению по назначению.

Техническое обслуживание предназначено для поддержания техники в установленной готовности. Как правило, ТО проводится на работоспособной технике с целью недопущения отказов на предстоящем периоде эксплуатации.

Регламентированное техническое обслуживание – это «техническое обслуживание, предусмотренное нормативно-технической документацией и выполняемое с периодичностью и в объеме, установленном в ней, независимо от состояния объекта на момент начала ТО» [3].

Поэтому центральное место в повышении эффективности ТО занимает решение задачи создания сбалансированной системы с обоснованной периодичностью и объемом работ. Поиск соответствующих решений в этом направлении, несомненно, должен базироваться на научном подходе.

1 Определение рациональных межрегламентных сроков по критерию готовности к использованию по назначению

Рассмотрим решение такой задачи для модели эксплуатации с периодическими регламентными работами (РР) при отсутствии контроля за техническим состоянием в межрегламентный период (МРП). Данная модель является основной для систем вооружения, потому что функционирование данной системы – краткосрочный

промежуток времени с длинным периодом хранения в «холодном» состоянии.

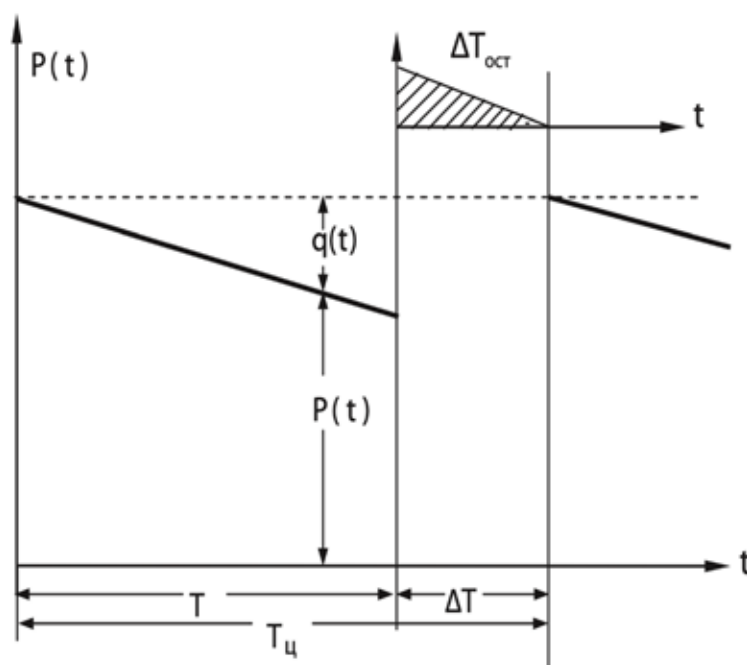


Рисунок 1 – Межрегламентный период по критерию готовности: $T_ц$ – цикл обслуживания; T – время ожидания приказа на функционирование (дежурный режим); ΔT – интервал времени ТО

Интенсивность восстановления работоспособности определяется соотношением

$$\mu = \frac{1}{m_{t_p}},$$

где m_{t_p} – среднее время восстановления (ремонта).

Количественным показателем готовности техники к использованию по назначению, является среднее время (математическое ожидание времени) готовности к работе. А оптимизация, соответственно, должна идти по критерию минимума этого времени.

На рассматриваемом интервале приказание на функционирование возможно в любое время.

Включение в работу равновероятно на интервале $T_ц$ с плотностью распределения времени включения

$$f = \frac{1}{T + \Delta T}.$$

Попадание в интервал T имеет вероятность

$$P_T = \frac{T}{T + \Delta T}.$$

Время готовности систем на данном интервале определяется системой

$$t_r = \begin{cases} 0, & \text{с вероятностью } P(t) \\ t_p, & \text{с вероятностью } q(t) \end{cases}$$

где t_p – время восстановления системы (время ремонта);

$P(t)$ – функция надежности;

$q(t) = 1 - P(t)$ – функция вероятности отказа.

Вероятность попасть в интервал ΔT равна $\frac{\Delta T}{T + \Delta T}$.

В этом случае время готовности окажется равным $\Delta T_{\text{ост}}$ – времени, оставшемуся до конца РР. Оно распределено равномерно в интервале от 0 до ΔT .

Объединим оба случая, тогда:

$$t_r = \frac{T}{T + \Delta T} [t_p q(t) + 0 \cdot P(t)] + \frac{\Delta T}{T + \Delta T} \Delta T_{\text{ост}}(t).$$

Предположим, что время ремонта и значение $q(t)$ – являются независимыми случайными величинами.

Поэтому

$$m_t = \frac{T}{T + \Delta T} MO[t_p] \cdot MO[q(t)] + \frac{\Delta T}{T + \Delta T} MO[\Delta T_{\text{ост}}(t)],$$

где $MO[t_p] = m_{t_p} = \frac{1}{\mu}$;

$$MO[q(t)] = \frac{1}{T} \int_0^T q(t) dt;$$

$$MO[\Delta T_{\text{ост}}(t)] = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} (\Delta T - \tau) d\tau = \frac{\Delta T}{2}.$$

С учетом этих соотношений

$$m_t = \frac{T}{T + \Delta T} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \int_0^T q(t) dt + \frac{(\Delta T)^2}{2(T + \Delta T)}.$$

Если закон надежности экспоненциальный

$$q(t) = 1 - \exp(-\lambda t),$$

формула преобразуется к виду

$$m_t = \frac{T}{T + \Delta T} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{\lambda T} [\exp(-\lambda T) - 1] \right\} + \frac{(\Delta T)^2}{2(T + \Delta T)}.$$

Проведем анализ этой зависимости.

- при $T \rightarrow 0$ $m_t \rightarrow \frac{\Delta T}{2}$,

- при $T \rightarrow \infty$ $m_t \rightarrow \frac{1}{\mu}$.

Зависимость $m_t(T)$ показана на рисунке 2.

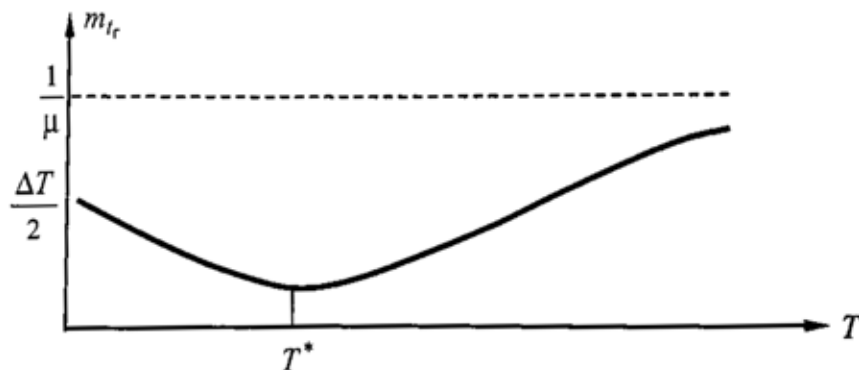


Рисунок 2 – Зависимость $m_t = f(T)$

График показывает существование минимума m_t , что соответствует оптималь-

ному межрегламентному периоду (T^*).

Воспользуемся представлением $\exp(-\lambda T)$ степенным рядом с удержанием первых трех членов

$$\exp(-\lambda T) \approx 1 - \frac{\lambda T}{1!} + \frac{\lambda^2 T^2}{2!}.$$

Это справедливо с высокой точностью для $\lambda T \leq 0,5$.

Следовательно, выражение упрощается

$$m_{t_r} = \frac{\lambda}{2\mu} \cdot \frac{T^2}{T + \Delta T} + \frac{(\Delta T)^2}{2(T + \Delta T)}.$$

Взяв частную производную от m_t по T и приравняв ее к нулю, получим:

$$T^* = \Delta T \left(\sqrt{1 + \frac{\mu}{\lambda}} - 1 \right),$$

$$T_{ц}^* = T^* + \Delta T = \Delta T \cdot \sqrt{1 + \frac{\mu}{\lambda}}.$$

Следует отметить, что оптимальное время МРП (T^*) не всегда рационально к применению. Например, если при расчете получился срок равный 3 месяца и 4 дня, то ТО будет проводиться ежеквартально. То есть берется такой период, который близок к оптимальному и удобен на практике. Такой МРП называется рациональным.

2 Пример расчета оптимального межрегламентного периода технического обслуживания

Используя методику определения оптимального МРП по показателю готовности технического объекта к применению по назначению, рассчитаем МРП для конкретного технического объекта, имеющего следующие исходные данные:

Интенсивность отказов – 0,008 единиц в год.

Интенсивность ТО (ремонта) – 0,06 единиц в год.

Интервал времени ТО – 12 часов.

Воспользовавшись формулой расчета МРП, получим

$$T^* = 12 \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{0,06}{0,008}} - 1 \right) 8 \approx 23 \text{ ч.} \quad (18)$$

Заключение

В данной работе представлена методика определения оптимального межрегламентного периода технического обслуживания по критерию готовности технического объекта к применению по назначению.

Литература

- 1 Марченко Б.И. Обеспечение надежности технических систем. СПб.: Нестор-история, 2020. 88 с.
- 2 ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения.
- 3 ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
- 4 ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.

Кунаев Никита Александрович – аспирант, АО «НПО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: вооружение и военная техника.

E-mail: nikitakunaev58965@gmail.com

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

ORGANIZATION OF THE MAINTENANCE TECHNICAL PROCESS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE TIME FACTOR

A method for determining the inter-scheduled period of technical maintenance taking into account the time factor. It shows a method for determining the mathematical expectation of the time of readiness of equipment for use as intended taking into account reliability. An analysis of the optimal inter-scheduled period of a technical object is given.

Keywords: optimal inter-regulatory period; reliability; maintenance; minimum criterion.

Kunaev Nikita Alexandrovich – postgraduate student, "Obukhov Plant", St. Petersburg.
Research interests: weapons and military equipment.

УДК 355.237

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ерошин С.Е., Савельев С.К., Сайбель А.Г., Фёдоров Д.А., Щеглов Д.К.

В статье представлена концепция проектного обучения на основе метода инженерных кейсов, разработанная в ответ на растущую потребность в современных и эффективных подходах к инженерному образованию. В условиях актуальных потребностей в подготовке инженерных кадров, а также профессиональной ориентации школьников и студентов, проектный подход вновь приобретает популярность. Концепция опирается на многолетний опыт в реализации инженерных и образовательных проектов и сочетает теоретическую подготовку с практической деятельностью. Рассматриваются основные концептуальные положения, отличающие подход авторов к разработке и проведению инженерных кейсов. Особое внимание уделяется примерам разработанных инженерных кейсов по направлению «космические технологии», наглядно демонстрирующих эффективность предлагаемого подхода.

Ключевые слова: инженерное образование; проектное обучение; концепция обучения; инженерный кейс; практическая деятельность.

Введение

Гармоничное развитие научно-технологического потенциала России требует слаженного взаимодействия научных центров, образовательных учреждений и промышленных предприятий. Движущей силой этого процесса выступают амбициозные представители научно-инженерной общественности, формирующие актуальную повестку усиления научных исследований, активного внедрения передовых промышленных технологий, реализации масштабных инновационных проектов, укрепления образовательной базы и создания благоприятных условий для инвестиций в высокотехнологичный сектор промышленности.

Воплощение перечисленных задач требует принципиально нового взгляда на подготовку инженерных кадров, особенно для промышленных предприятий, которые традиционно являются важной частью экономического и научно-технического потенциала страны. Концепция технологического развития России ориентирована на модернизацию образовательных программ среднего профессионального, высшего и дополнительного профессионального образования [1]. При этом главной целью является приведение их содержания, структуры и результатов обучения в полное соответствие с компетенциями, необходимыми для освоения критически значимых и сквозных технологий.

Системный подход к образовательным процессам предполагает непрерывное совершенствование и практико-ориентированное проектирование учебных программ [2]. Особое внимание уделяется обучению управлению проектами, предполагающими

реализацию полного жизненного цикла продукта – от зарождения идеи до ее успешной коммерциализации [3]. Такой подход обеспечивает подготовку специалистов, способных не только предлагать инновационные решения, но и эффективно воплощать их в реальной экономике.

Одним из наиболее эффективных способов подготовки востребованных технических специалистов является внедрение проектной формы обучения, которая интегрирует теоретические знания с практическим опытом, выявляя личностные качества и формируя мотивацию обучающихся. Проектный формат подразумевает моделирование полного цикла работ предприятий высокотехнологичной промышленности.

1 Актуальность внедрения проектной формы обучения

В современных экономических и геополитических реалиях предприятия сталкиваются с целым спектром вызовов, кардинально влияющих на их производственную деятельность. Обострение конкурентной среды, ужесточение требований к качеству продукции и ее сервисному обслуживанию, а также трансформация стандартов взаимодействия с заказчиками требует от предприятий сокращения сроков внедрения инноваций и освоения передовых технологий промышленного производства.

В этих условиях устойчивость и эффективность работы высокотехнологичных производств, включая предприятия ОПК, напрямую зависят от их способности наращивать научно-технический потенциал. Ключевым фактором успешной работы в этом направлении становится системное обновление кадрового состава за счет привлечения талантливых молодых специалистов, обладающих актуальными знаниями и компетенциями, способными не только поддерживать высокий уровень технологического развития, но и определять его вектор на годы вперед.

Высшие учебные заведения активно работают над удовлетворением кадровых потребностей предприятий, однако подготовка действительно востребованных инженерно-технических специалистов требует внедрения современных образовательных технологий, способных учитывать стремительное развитие научно-технического прогресса.

Зачастую выпускники вузов сталкиваются с длительным процессом адаптации к реальным условиям производства, что усиливает интерес промышленных предприятий к выстраиванию тесного сотрудничества с вузами для совместной подготовки специалистов. В связи с этим особую актуальность приобретает задача формирования устойчивых горизонтальных связей между преподавателями вузов и представителями предприятий промышленности.

Одним из наиболее востребованных в настоящее время направлений взаимодействия научно-образовательных центров, вузов и предприятий промышленности является внедрение в образовательную деятельность метода проектного обучения. Этот метод гармонично дополняет традиционные образовательные подходы и практики, позволяя повысить качество образования, а также приобрести выпускникам вузов востребованные предприятиями профессиональные компетенции.

Метод проектного обучения техническим дисциплинам интегрирует теоретические знания с практическим опытом, предоставляя возможность обучающимся применять свои знания на практике. В ходе реализации проектов обучающиеся сталкиваются с реальными задачами, которые требуют проведения инженерного анализа и

принятия обоснованных проектно-конструкторских и управленческих решений. Такой опыт способствует развитию у обучающихся критического мышления, способности к коллективной работе и умению применять приобретенные знания на практике.

Опыт внедрения инженерных кейсов описан в [4].

2 История развития проектного обучения

Понятие «проект» впервые появилось в Римской архитектурной школе XVI века, где использовалось для обозначения эскизов и планов. Со временем значение этого понятия расширилось, охватив и педагогическую сферу, где оно стало ассоциироваться с самостоятельно выполненными конкурсными заданиями учащихся [5].

В период 1765-1880 годов метод проектов стал использоваться в систематической педагогической практике, а затем распространился на американский континент, где в последующие десятилетия (1880-1915 годы) активно внедрялся в производственное обучение и общеобразовательные школы. Прогрессивное образовательное движение стремилось заменить традиционные лекционные методы более вовлекающими и практико-ориентированными подходами [6].

Параллельно с американскими разработками технология проектного обучения получила развитие и в России. В 1905 году под руководством С.Т. Шацкого была организована группа исследователей, внедряющая проектные методы в образовательный процесс.

Однако основоположником современного проектного метода считается американский педагог Дж. Дьюи, который разработал теоретические основы «активного преподавания» применительно к детскому обучению. В его концепции ключевыми постулатами являются три положения:

- ребёнок в своем развитии повторяет путь человечества в познании;
- усвоение знаний есть спонтанный, неуправляемый процесс;
- для усвоения материала ребёнок должен не просто слушать и воспринимать,

но и являться активным субъектом образовательного процесса.

Впоследствии термин «метод проектов» приобрел популярность благодаря американскому педагогу У. Килпатрику, который опубликовал одноименную книгу в 1918 году. В этом труде он развил принципы проектно-ориентированного подхода и проблемно-ориентированного обучения, предложенные его учителем Дж. Дьюи.

В 1920-1934 годах идеи Дж. Дьюи получили отражение в концепциях основоположников советской педагогической науки А.С. Макаренко и Л.С. Выготского. Они расширили представление о проектном обучении, предложив концепцию «педагогической встречи», сущность которой на современном этапе можно сформулировать как необходимость наличия устойчивой связи учитель – ученик, элементом порождения которой сможет быть заинтересованность обучающегося, формируемая учителем [7].

В начале XX века в Гарвардской школе бизнеса был разработан метод кейсов, направленный на формирование у обучающихся навыков самостоятельного анализа и принятия решений в условиях реальных практических ситуаций. Поводом для его создания стал дефицит специализированных учебных материалов, необходимых для подготовки исследователей в области бизнеса. Основу метода составляет описание конкретных кейсов, отражающих опыт реальных организаций, с последующим коллективным анализом, что позволяет выявлять критически важные факторы успеха

решения нестандартных задач в условиях неопределённости. Первый сборник бизнес кейсов (*The Case Method at the Harvard Business School*) был выпущен в 1921 году.

В инженерном образовании важную роль сыграла унификация учебных планов и систем оценивания образовательных результатов. В 1960-х годах исследования Б. Блума доказали необходимость четкого соответствия академических заданий образовательным целям, что послужило основой для повышения эффективности проектного обучения.

В связи с переосмыслением концепции проектного обучения в первой половине XX века метод проектов получил широкое распространение в Европе. С 1965 года его применение стало более универсальным, включая инженерное образование, катализатором развития которого стало формирование согласованной образовательной структуры. Это обеспечило гибкость учебных программ, интеграцию дисциплин и практическую направленность обучения.

Современные образовательные теории продолжают подчеркивать, что активное обучение повышает уровень вовлеченности обучающихся, способствуя развитию у них аналитических и творческих способностей.

Таким образом, метод проектов прошел длительный путь эволюции (рисунок 1), превратившись из инструмента архитектурного планирования в эффективную образовательную технологию, которая сегодня активно применяется в различных сферах.



Рисунок 1 – Эволюционный путь метода проектов

В современном инженерном образовании проектное обучение получило широкую поддержку благодаря междисциплинарному подходу и ориентации на решение реальных задач. Развитие цифровых технологий, распространение персональных компьютеров и повсеместного доступа в интернет позволило существенно повысить

эффективность проектного обучения, особенно в формате инженерных кейсов.

Со временем проектное обучение и метод кейсов получили широкое распространение и теоретическое обоснование, став универсальным инструментом для формирования прикладных и исследовательских компетенций.

Однако в настоящее время с переходом промышленности к технологиям Индустрии 4.0 возросла потребность в специалистах, способных решать слабоструктурированные междисциплинарные задачи. При этом для современной инженерной деятельности, особенно в высокотехнологичных отраслях промышленности, в том числе в оборонно-промышленном комплексе, требуется не только владение передовыми методами проектирования, но и умение мыслить творчески.

Ответом авторов на эти вызовы стало создание концепции проектного обучения на основе инженерных кейсов, под которыми понимается совокупность техник обучения, использующих описание реальных проектов создания сложных технических систем, реализуемых в условиях установленных ограничений на доступные ресурсы, применяемые технологии и допустимые риски.

Предлагаемый подход к обучению развивает ключевые навыки инженера XXI века – способность создавать как физические, так и цифровые модели продукта, а также проводить сравнение результатов виртуальных и натурных экспериментов. При этом инженерный кейс подразумевает не просто поиск некоторого технического решения, а поиск актуального технически реализуемого конкурентоспособного решения, которое может быть реализовано на рынке либо представлено реальному заказчику.

В самом деле, теперь за относительно короткий срок выполнения проекта (от нескольких дней до нескольких недель) группа обучающихся под руководством куратора может произвести достаточно полный объем исследований, инженерных и экономических расчетов, а также выпустить техническую, эксплуатационную и экономическую документацию, что было нереализуемо в докомпьютерную эпоху.

Высокая эффективность проектного подхода подтверждается тем, что даже школьники, работающие над инженерными кейсами, способны разрабатывать решения, которые по глубине проработки соответствуют предэскизным проектам. Например, Концерн ВКО «Алмаз – Антей» (далее – Концерн) с 2016 года использует практику проектного обучения в форме инженерных кейсов для привлечения талантливых мотивированных старшеклассников к поступлению на целевые места и базовые кафедры с дальнейшим трудоустройством на своих предприятиях. Именно высочайшая сложность технических задач, которые самостоятельно и успешно решают старшеклассники, работая над кейсами Концерна, делает данную практику эффективной.

Благодаря многочисленным научным работам, посвященным исследованию положительного и отрицательного опыта организации проектного обучения для решения широкого спектра задач, в настоящее время сложилось целостное видение места исследуемой технологии в системе образовательных концепций [8]. Впрочем, были выявлены и некоторые трудности, которые регулярно возникают при внедрении метода проектов [4].

Тем не менее, в настоящее время проектное обучение становится ключевым компонентом инженерного образования, предоставляя обучающимся возможность решать реальные задачи и готовиться к профессиональной деятельности в высокотех-

нологических отраслях промышленности.

Вместе с тем, реализация проектного обучения в образовательный процесс на практике часто сопряжена с рядом трудностей, наиболее существенными из которых являются сложности в организации учебного процесса, а также дефицит специалистов, способных формулировать задачи с учетом уровня подготовки обучающихся, задавать реалистичные проектные ограничения и допущения, грамотно распределять проектные роли и координировать работу проектной команды. Все это снижает эффективность применения проектного подхода и требует разработки системных решений.

В этой связи предлагается Концепция проектного обучения на основе метода инженерных кейсов, представляющая собой инновационный практико-ориентированный подход к инженерному образованию, при котором обучающиеся погружаются в реальные условия проектирования сложных технических систем, создаваемых с учетом ограничений на доступные ресурсы, применяемые технологии и допустимые риски. Проведенная апробация Концепции в образовательных учреждениях различных организационных форм показала высокую результативность в формировании у обучающихся различных категорий – от школьников и студентов до инженерно-технических работников – устойчивых инженерных навыков, востребованных на современных предприятиях высокотехнологичной промышленности.

3 Основные концептуальные положения

Предлагаемая Концепция направлена на преодоление классического организационного противоречия, характерного для современного инженерного образования – между подходами к обучению *«от теории к практике»* и *«от практики к теории»*. Суть этого противоречия заключается в следующем:

- с одной стороны, обучение *«от теории к практике»* обеспечивает прочную теоретическую базу и аналитический инструментарий, необходимый для решения инженерных задач. Однако избыточная абстрактность и слабая связь с реальными ситуациями могут снижать мотивацию обучающихся и ослабить их понимание практической ценности (применимости) полученных знаний;

- с другой стороны, подход *«от практики к теории»* вызывает у обучающихся высокий интерес и вовлеченность, так как позволяет сразу увидеть прикладное значение изучаемого материала. В то же время, отсутствие надлежащей теоретической подготовки может ограничивать способность обучающихся анализировать, обобщать и переносить приобретенный опыт на сложные междисциплинарные инженерные задачи.

Концепция органично сочетает преимущества обоих подходов, формируя образовательную среду, в которой теория и практика не противопоставляются, а взаимно усиливают друг друга.

Основные положения Концепции заключаются в следующем [9]:

- а) инженерный кейс представляет собой выполнение реального (или максимально приближенного к реальному) междисциплинарного проекта, в рамках которого обучающиеся решают задачи, связанные с разработкой и производством сложных технических систем;

- б) тематика инженерного кейса должна быть заведомо интересна обучающимся:

соответствовать кругу их научно-технических увлечений и интересов;

в) основная цель инженерного кейса – формирование у обучающихся навыков разработки комплексных инженерных решений, которые могут быть сопоставимы по уровню проработки с реальным предэскизным проектом;

г) инженерные кейсы обязательно охватывают несколько взаимосвязанных дисциплин, таких как механика, электротехника, программирование, экономика и управление проектами;

д) в ходе работы с кейсами обучающиеся сталкиваются с ограничениями, которые присутствуют в реальных инженерных проектах, например, ограничения по времени, бюджету и доступным технологическим возможностям;

е) работа над инженерным кейсом реализуется командной проекта, где каждый обучающийся может применить свои знания и компетенции в рамках общего проекта. От обучающихся не требуется самостоятельно каждому выполнить весь объем работы, более того – подобный подход нецелесообразен;

ж) в процессе работы команда проекта активно использует современные инструменты, такие как системы проектирования (*CAD*), системы инженерного анализа (*CAE*), системы компьютерной математики, языки программирования и другие современные инженерные средства;

з) работа над инженерным кейсом осуществляется в условиях открытого информационного доступа – обучающиеся могут свободно использовать учебники, справочники, интернет-ресурсы, а также получать экспертные консультации у специалистов из различных областей;

и) важной частью инженерного кейса является научно-техническое и финансово-экономическое обоснование проектно-конструкторских решений, а также их применимости в реальных условиях;

к) инженерный кейс включает в себя совокупность этапов работы: начиная с постановки задачи и заканчивая презентацией готового решения.

Концепция ориентирована на широкий спектр применения: от профессиональной ориентации школьников и студентов до подготовки будущих инженеров на уровнях бакалавриата, специалитета и магистратуры по техническим направлениям. Кроме того, она эффективно используется в программах повышения квалификации и переподготовки инженерно-технических специалистов.

Единственным, но весьма существенным, недостатком проектного обучения является его нетехнологичность – потенциально отсутствует возможность получения значимых результатов на основе дисциплинированной попунктной реализации утвержденного методического пособия по внедрению инженерных кейсов, содержащего сборник типовых заданий, формы представления результатов и перечень контрольных и отчетных мероприятий. Инженерный кейс предполагает вовлеченность членов реализующей команды в специфическую атмосферу приключения, имеющего целью поиск истины в виде технических решений, которые невозможно сравнить с приведенным к концу учебника правильным ответом. Сформировать эту атмосферу призван педагог-организатор, способный собрать группу, возглавить и направить ее деятельность, и своевременно отойти в сторону, дав группе свободу действий в принятии решений и самоорганизации.

Указанные особенности метода проектного обучения неоднократно в истории

образовательной деятельности приводили к выводам о его неперспективности и малоэффективности. Появление же новых энтузиастов, выбравших такой путь и получивших замечательные результаты, всегда воспринималось с большим энтузиазмом, попытками распространения и тиражирования положительного опыта с неизменно высоким процентом фиаско, обусловленного механистичностью клонирования образовательного процесса, требующего живого участия всех участников – от архитектора стратегического замысла, до каждого исполнителя рутинных обеспечивающих функций.

Из сказанного следует нецелесообразность директивного широкомасштабного внедрения данной методики, при этом без такого подхода не представляется возможным в условиях скоротечности эволюции применяемых в промышленности технологий сформировать костяк инженерного персонала, способный развивать технику и прикладную науку способами и темпами, обеспечивающими лидирующие позиции в ключевых рейтингах.

Заключение

Результаты апробации предложенной авторами Концепции стали основой для ее успешной интеграции в образовательный процесс студентов бакалавриата, специалитета и магистратуры по техническим направлениям. Также Концепция была внедрена в программы повышения квалификации и переподготовки инженерно-технических специалистов. Это позволило значительно расширить возможности обучения и практической подготовки, предоставив студентам и специалистам актуальные и востребованные знания, которые отвечают современным потребностям рынка труда.

Практическое применение метода проектного обучения на основе инженерных кейсов подтвердило высокую эффективность его использования в процессе подготовки специалистов для решения сложных междисциплинарных проектных задач, включая разработку и коммерциализацию инновационных решений. В частности, предлагаемый авторами ролевой подход к проведению инженерного кейса позволил команде старшекурсников за три недели реализовать проект по формированию концепции стратосферного запуска РН легкого и среднего классов с высоты до 20 км [10].

Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что предлагаемая Концепция продемонстрировала свою высокую эффективность. Она обеспечила формирование у обучающихся не только теоретических знаний, но и устойчивых инженерных навыков, необходимых для успешной работы на высокотехнологичных предприятиях.

Авторы уверены, что дальнейшее внедрение Концепции в образовательный процесс технических вузов и научно-образовательных центров организаций промышленности позволит улучшить качество инженерного образования, и обеспечит формирование высококвалифицированных специалистов с глубокой технической подготовкой и способностью решать сложные задачи в условиях стремительного развития науки, техники и технологий.

Литература

1 Концепция технологического развития на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р

Сайт Правительства России. URL: <http://government.ru/news/48570/> (дата обращения: 06.09.2025).

2 Бородавкин В.А., Щеглов Д.К., Охочинский М.Н., Русина А.А. Формирование компетентностно-ориентированной сферы для обучения студентов базовой кафедры предприятия оборонно-промышленного комплекса / В сборнике: Седьмые Уткинские чтения Труды международной научно-технической конференции. 2016. С. 242–251.

3 Щеглов Д.К., Ерошин С.Е. Особенности стратегического развития научно-образовательной деятельности на предприятиях высокотехнологичной промышленности // Инновации. 2021. № 9(275). С. 9–13.

4 Щеглов Д.К., Фёдоров Д.А., Сайбель А.Г., Савельев С.К., Ерошин С.Е. Анализ опыта внедрения проектной формы обучения на основе метода инженерных кейсов при подготовке инженерных кадров для предприятий оборонно-промышленного комплекса Москвы и Санкт-Петербурга // Вестник РАЕН. 2025. Т. 25. № 2. С. 198–209.

5 Горлицкая С.И. История метода проектов // Компьютерные инструменты в образовании. 2001. № 5. С. 4–6.

6 Condliffe B. Project-Based Learning: A Literature Review. May, 2016. URL: <http://1stmakerspace.com.s3.amazonaws.com/Resources/MDRC%2BPBL%2BLiterature%2BReview.pdf> (режим доступа: 06.09.2025).

7 Сайбель А.Г. Педагогическая встреча на цифровой платформе // Евразийский союз ученых. Серия: педагогические, психологические и философские науки. 2022. №7(100). С. 28–36.

9 Щеглов Д.К., Фёдоров Д.А., Сайбель А.Г., Савельев С.К., Ерошин С.Е. Концепция проектного обучения на основе метода инженерных кейсов и её практическая реализация // Современная высшая школа: инновационный аспект. 2025 Т. 17, № 3 С.83–91.

8 Щеглов Д.К., Федоров Д.А., Сайбель А.Г., Савельев С.К., Ерошин С.Е. Проектное обучение на основе метода инженерных кейсов: история и перспективы развития // ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ. 2025. № 4. С.98–109.

10 Щеглов Д.К., Фёдоров Д.А., Савельев С.К., Сайбель А.Г., Савельев С.К., Ерошин С.Е. Инженерный кейс как инструмент формирования инновационных концепций на примере проекта по созданию стратосферного ракетно-космического комплекса // Вестник РАЕН. 2025. №3. С.111–120.

Щеглов Дмитрий Константинович – кандидат технических наук, доцент, научный руководитель, АО «НПО «Обуховский завод», доцент, БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инженерные расчеты, методы проектирования сложных технических систем, системный анализ, промышленная автоматизация, управление проектами, методы и средства цифровой трансформации предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности.

E-mail: _dk@bk.ru

Сайбель Алексей Геннадиевич – доктор технических наук, доцент, профессор, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радиофизика, радиокоординатометрия, моделирование и оптимизация сложных системы, анализ временных рядов.

E-mail: saybel_ag@mail.ru

Фёдоров Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, начальник лаборатории, АО «НПО «Обуховский завод», доцент, БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инженерные расчеты, численное моделирование, механика деформируемого твердого тела, математические модели материалов, проблемы высшего технического образования и довузовской подготовки.

E-mail: telumendil@yandex.ru

Савельев Сергей Константинович – кандидат технических наук, доцент, доцент, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: энергоустановки на твердом топливе, численное моделирование, теория прогнозирования, моделирование случайных процессов, проблемы высшего технического образования.

E-mail: ssav@x-energo.com

Ерошин Сергей Евгеньевич – доктор экономических наук, кандидат технических наук, заместитель директора по научной и учебной работе, НОЦ ВКО «Алмаз – Антей» им. акад. В.П. Ефремова, г. Москва.

Область научных интересов: развитие системы науки и образования, отраслевая и региональная экономика, организация производства, анализ деятельности интегрированных производственных структур.

E-mail: s.eroshin@nocvko.ru

PROBLEM ISSUES AND WAYS TO IMPROVE TRAINING OF ENGINEERING PERSONNEL FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

This article presents a project-based learning concept based on the engineering case study method, developed in response to the growing need for modern and effective approaches to engineering education. Given the current needs for engineering training, as well as the career guidance of schoolchildren and students, the project-based approach is once again gaining popularity. This concept draws on many years of experience in implementing engineering and educational projects and combines theoretical training with practical activities. The article examines the key conceptual principles that distinguish the authors' approach to de-

veloping and implementing engineering case studies. Particular attention is given to examples of developed engineering cases in the field of space technology, clearly demonstrating the effectiveness of the proposed approach.

Key words: engineering education; project-based learning; learning concept; engineering case; practical activities.

Shcheglov Dmitriy Konstantinovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, scientific supervisor, JSC «Obukhov Plant», Associate Professor, BSTU «Voenmeh» named after. D.F. Ustinov, St. Petersburg.

Research interests: engineering calculations, methods of designing complex technical systems, systems analysis, industrial automation, project management, methods and means of digital transformation of enterprises in high-tech industries.

Saybel Aleksey Gennadievich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Scientific and Educational Center, JSC «Obukhov Plant», St. Petersburg.

Research interests: radio coordinateometry, modeling and optimization of complex systems.

Fedorov Dmitry Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory, JSC NPO Obukhovsky Zavod, Associate Professor, BSTU «Voenmekh» named after D.F. Ustinov, St. Petersburg.

Research interests: engineering calculations, numerical modeling, solid mechanics, mathematical models of materials, issues of higher technical education and pre-university training.

Saveliev Sergey Konstantinovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, BSTU «Voenmekh» named after D.F. Ustinov, St. Petersburg.

Research interests: solid fuel power plants, numerical modeling, forecasting theory, modeling of random processes, issues of higher technical education.

Yeroshin Sergey Evgenyevich – Doctor of Economics, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Research and Academic Affairs, Almaz-Antey Scientific and Educational Center for the Eastern Defense Region named after Academician V.P. Efremov, Moscow.

Research interests: development of the science and education system, industrial and regional economics, production organization, and analysis of the activities of integrated production structures.

Правила приема и оформления рукописей, направляемых для публикации в журнале «Радионавигация и время: Труды СЗРЦ Концерн ВКО «Алмаз – Антей»»

1 Журнал принимает научно-технические рукописи, не предназначенные для публикации в других изданиях.

Тематика присылаемых рукописей должна соответствовать одной или нескольким специальностям следующей группы:

- 1.3.4. Радиофизика;
- 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства;
- 2.2.16. Радиолокация и радионавигация;
- 2.9.6. Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники;
- 6.2.1. Вооружение и военная техника.

2 Рукопись должна быть направлена с сопроводительным письмом на бланке организации за подписью ее руководителя или заместителя руководителя.

К рукописи должен быть приложен акт экспертизы о возможности опубликования в открытой печати. Рукопись должна состоять из основного текста, подписанного всеми авторами, и рисунков, напечатанных на отдельных листах. При наличии в организации члена редакционной коллегии журнала может прилагаться его рецензия. К рукописи должны быть приложены сведения об авторах (на отдельном листе).

3 Представляется один экземпляр рукописи на бумаге формата А4 (по ГОСТ 9327-60), плотностью не менее 80 г/м² (по ГОСТ 27015-86), с белизной более 75% (по ГОСТ 30113-94), а также ее электронная версия.

Расстояния от краев листа до границ текста (поля) задаются по требованиям редакции. Размеры полей: верхнее – 38 мм, нижнее – 37 мм, левое – 33 мм, правое – 33 мм.

Электронная версия готовится в редакторе Word (версия не ниже Word 2000), шрифт Times New Roman без стилового оформления при использовании редактора формул Equation версии 3.0 или выше.

Выравнивание текста – по ширине страницы. Каждый абзац начинается с красной строки. Отступ 10 мм. Шрифт – Times 11. Абзац – множитель 1,1. Заголовок – Times Bold 13. Интервал между абзацами равен межстрочному.

4 Порядок расположения материалов в основном тексте (по ГОСТ Р 7.0.7-2009): индекс универсальной десятичной классификации (УДК), название рукописи с числом слов не более 10, инициалы и фамилии автора(ов), аннотация рукописи с числом строк не более 10, текст рукописи, список литературы. Объем рукописи от 3 до 10 страниц основного текста, без учета рисунков. Нумерация страниц – сквозная (располагается снизу, выравнивание по центру).

5 Аннотация оформляется одним абзацем с объемом не более 500 символов и

должна отражать постановку задачи, новизну описываемой работы, не дублировать название, введение и выводы к рукописи, а в определенной мере дополнять их. В аннотацию не следует вставлять аббревиатуры, формулы и ссылки на литературу.

6 Текст рукописи может делиться на составные части. При ссылке на части текста используются термины:

- части первого уровня (части текстового документа) – разделы,
- части второго уровня (части разделов) – подразделы,
- части третьего уровня (части подразделов) – пункты,
- части четвертого уровня (части пунктов) – подпункты.

Нумерация частей имеет вид:

1 Название раздела

1.1 Название подраздела

1.1.1 Название пункта

1.1.1.1 Название подпункта

Части ниже четвертого уровня не нумеруются.

7 В текстовом редакторе Word имеются возможности для применения несуществующих в русском языке графических знаков («•», «►», «☉», «♦» и др.). Эти знаки рекомендуется использовать в неофициальной и личной переписке. При составлении текстового документа на русском языке необходимо использовать только стандартные знаки препинания.

Для перечислений используется знак «дефис» («-»). Например:

Цвета:

- синий,
- зеленый,
- красный.

Дефис также используется в сложных словах для разделения их частей.

Знак «тире» («—») используется в предложениях.

В редакторе Word также имеется знак «длинное тире» («—»). Его наличие в тексте чаще всего свидетельствует о том, что фрагмент скопирован из формата html.

В редакторе Word в одной гарнитуре имеется до трех видов кавычек («», "», “”, ””). Необходимо использовать в тексте единый вид.

8 При подготовке рукописи необходимо обращать внимание на написание букв и слов – русские (а, б, в, ю) и греческие буквы (α , β , ξ , Ξ , Σ , $\epsilon\rho\eta\kappa\alpha$) набираются прямо, а латинские (*a*, *w*, *j*, *W*, *Q*, *left*, *interrupt*) – курсивом (кроме химических формул CuSO_4 , $\text{Ra}(\text{OH})_2$ и т. д.). Те же требования необходимо соблюдать при написании букв, индексов и степеней в формулах.

Обозначения матриц и векторов с использованием букв любых алфавитов набираются жирным шрифтом прямо (**Ω** , **Ξ** , **W** , **Q** , **q**).

Для чисел, функций и операторов (1, 252, $\cos(x)$, $\sin(y)$, $\text{rot } F$, $\exp(x)$ и т. д.) используется только прямой шрифт. Римские цифры не допускаются. Дробная часть десятичного числа отделяется запятой.

9 Вывод математических зависимостей должен быть кратким, без промежуточных преобразований. Все обозначения величин в формулах следует расшифровать (кроме общепринятых типа j , π). Формулы, на которые в тексте есть ссылки, нумеруются в круглых скобках. Нумерованная формула должна быть написана отдельной строкой, выравнивание ее номера осуществляется по правому краю. Для нумерованной формулы допускается расположение ее в тексте рукописи. Формулы, включенные в текст, следует набирать без увеличения интервала между строками, например, b/d , $\exp(x/2)$. Прописные и строчные буквы, надстрочные и подстрочные индексы в формулах должны обозначаться четко.

Индекс у индекса не допускается.

Пример оформления формул:

При моделировании исследуемого процесса использована формула

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k}, \quad (1)$$

где x – переменная, описывающая процесс;

a – еще одна переменная;

n – число итераций.

В формуле (1) используется знак суммирования.

При моделировании не использованы формулы:

$$x = 1, \quad (2)$$

$$a = 2, \quad (3)$$

где x – первая переменная,

a – вторая переменная.

10 Название таблицы должно быть точным и кратким. Содержание таблиц должно быть лаконичным и иметь только необходимые для иллюстрации текста данные, таблица не должна дублировать рисунки.

Оформление таблиц должно соответствовать ГОСТ 1.5-2001. Таблицы печатаются в общем тексте после первой ссылки и нумеруются, если их количество больше одной.

Пример названия таблицы: «Т а б л и ц а 1 – Результаты вычислений».

Положение начала слова Таблица должно совпадать с положением левой границы таблицы.

Строки в таблице не нумеруются.

11 Наименования, обозначения и единицы физических величин приводятся только в системе СИ (ГОСТ 8.417-2002). Обозначение единицы физической величины указывается после последнего числового значения диапазона, например, от 1 до 5 мм, от +10 до минус 40°C.

12 Литературные ссылки нумеруются в прямых скобках, например [1]. Список литературы составляется в соответствии с порядком ссылок по тексту.

Оформление литературных ссылок в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Для каждой литературной ссылки следует указывать автора(ов), если такие имеются, полное название работы, издательство, год издания, общее количество страниц в издании

или номера страниц при ссылках на журналы или разделы в книгах.

13 Рисунки и фотографии должны быть четкими, контрастными, желательно в альбомной ориентации и располагаться на отдельных листах.

Рисунки предоставлять в формате *.jpg с разрешением не менее 300 dpi без интерполяции.

Числовые обозначения на рисунке ставятся по часовой стрелке. Подрисуночные подписи имеют вид «Рисунок 3 – Спектр сигнала». При наличии на рисунке обозначений после подрисуночной подписи ставится двоеточие и с новой строки приводится их расшифровка.

Подрисуночную подпись разрешается размещать в тексте статьи.

14 Количество рисунков и таблиц, как и число наименований в списке литературы, должно быть не более 6 (для обзорных рукописей список литературы может быть увеличен).

15 Сведения об авторах включают фамилию, имя, отчество, ученую степень, ученое звание, место работы и должность, область научных интересов, а также контактные телефоны и электронные адреса каждого автора. Также должен быть представлен корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов). Сведения приводятся на русском и английском языках.

16 Название статьи и аннотация приводятся на русском и английском языках.

17 Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой. Ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

18 Редакционная коллегия оставляет за собой право возвращения рукописи на доработку при невыполнении указанных выше требований по ее оформлению.

**РАДИОНАВИГАЦИЯ
И ВРЕМЯ**

№18 (26) – 2025

Подписано в печать 21.11.2025 Формат 84×108 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Объем 12,6 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 300-2025

АО «Обуховский завод»
191124, Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, дом 120, литера Е.

Отпечатано в ООО «Издательство «Балтийская печать».
191119, Санкт-Петербург, ул. Звенигородская, д. 9-11, лит. К, пом. 17Н, ком. 130.